

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL PERÚ



FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

TÍTULO PROFESIONAL

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

**ESTADO DEL ARTE DEL APROVECHAMIENTO DE ENERGÍA GEOTÉRMICA
PARA CLIMATIZACIÓN DE AMBIENTES MEDIANTE LA TÉCNICA DE POZO
CANADIENSE**

**PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO CIVIL**

AUTORES: Aguirre Tapullima, Carol Danica
Ordoñez Chimbo, Roylman Beymer

ASESOR: Ing. Ulises Octavio Irigoin Cabrera

San Juan Bautista – Maynas – Loreto – Perú

2019

DEDICATORIA

Este trabajo de investigación está dedicado a nuestros padres quienes fueron el motor y motivo en el desarrollo de nuestra vida profesional.

A todas las personas que nos apoyaron en el transcurso de nuestra vida universitaria, como también a aquellas personas que de una u otra forma contribuyeron con este gran logro.

Carol Danica Aguirre
Roylman Beymer Ordoñez

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios primero que todo por la vida y permitirnos lograr esta meta.

A la Universidad Científica del Perú, por permitirnos formar parte de sus miembros y desarrollar nuestro proyecto; así como también al ingeniero Ulises Octavio Irigoin Cabrera, por su apoyo y orientación durante el periodo de elaboración del presente proyecto.

A nuestros padres por su apoyo incondicional en lo moral, educativo y económico, demás familiares y amigos que siempre estuvieron con nosotros brindándonos su apoyo incondicional en esta etapa maravillosa de nuestras vidas.

Carol Danica Aguirre

Roylman Beymer Ordoñez



Universidad Científica del Perú

**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL**

**FACULTAD
CIENCIAS E
INGENIERÍA**

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Con Resolución Decanal N° 551 -2019- UCP - FCEI del 10 de julio de 2019, la **FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL PERÚ - UCP** designa como Jurado Evaluador y Dictaminador de la Sustentación del Trabajo de Suficiencia Profesional a los Señores:

- | | |
|---|------------|
| • Ing. Carmen Patricia Cerdeña Del Águila, Dra. | Presidente |
| • Lic. Nerea Gallardo Sánchez, Mg. | Miembro |
| • Ing. Miguel Ángel Robalino Osorio | Miembro |

En la ciudad de Iquitos, siendo las 19:00 pm, del día lunes 15 de julio de 2019, en las instalaciones de la **UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL PERÚ - UCP**, se constituyó el Jurado para escuchar la sustentación y defensa del Trabajo de Suficiencia Profesional:

**“ESTADO DEL ARTE DEL APROVECHAMIENTO DE ENERGÍA GEOTÉRMICA
PARA CLIMATIZACIÓN DE AMBIENTES MEDIANTE LA TÉCNICA DE POZO
CANADIENSE”**

Presentado por los sustentantes:

CAROL DANICA AGUIRRE TAPULLIMA
y
ROYLMAN BEYMER ORDOÑEZ CHIMBO

Asesor: **Ing. Ulises Octavio Irigoin Cabrera, M. Sc.**

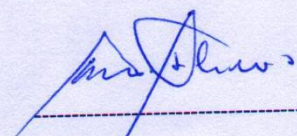
Como requisito para optar el título profesional de: **Ingeniero Civil**

Luego de escuchar la Sustentación y formuladas las preguntas las que fueron:..... *Abuelto*

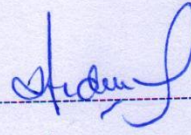
El jurado después de la deliberación en privado llegó a la siguiente conclusión:

Por lo que la Sustentación es: *Aprobado por mayoría*

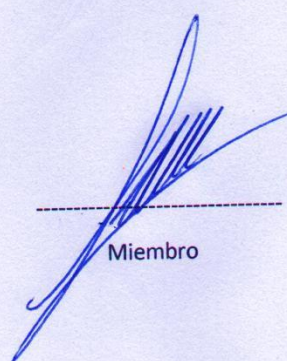
En fe de lo cual los miembros del jurado firman el acta.



Miembro



Presidente



Miembro

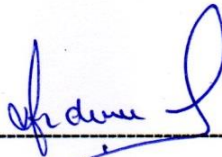
CALIFICACIÓN:

Aprobado (a) Excelencia
Aprobado (a) Unanimidad
Aprobado (a) Mayoría
Desaprobado (a)

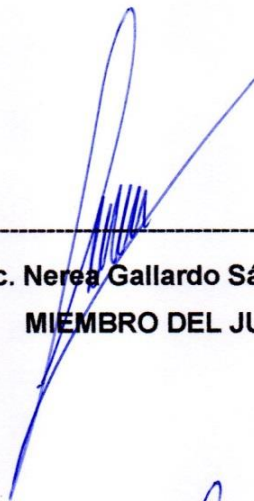
: 19 - 20
: 16 - 18
: 13 - 15
: 00 - 12

APROBACIÓN

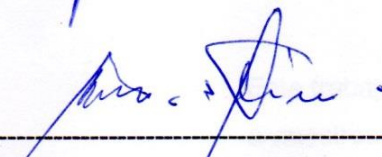
Trabajo de Suficiencia Profesional sustentado en acto público a las 19:00 horas del día
lunes 15 de julio del 2019.



Ing. Carmen Patricia Cerdeña del Águila, Dra.
PRESIDENTE DEL JURADO



Lic. Nerea Gallardo Sánchez, Mg.
MIEMBRO DEL JURADO



Ing. Miguel Ángel Robalino Osorio
MIEMBRO DEL JURADO



Ing. Ulises Octavio Irigoin Cabrera, M. Sc.
ASESOR

ÍNDICE

	pág.
Resumen	01
Abstract	02
CAPITULO I	
1. Introducción	03
CAPITULO II	
2. Antecedentes	05
2.1 Estado del Arte	10
2.1.1 El uso del suelo –Aprovechamiento de la Inercia Térmica	11
2.1.2 Propiedades Geotérmicas del suelo	11
2.1.3 Leyes de la Termodinámica	13
2.2 Diferentes Configuraciones del Sistema	13
2.2.1 Directos Aislados (Anillo)	14
2.2.2 Distribución Techelmann (rejilla)	16
2.2.3 Bloque Techelmann (bloque – rejilla)	18
2.3 Investigaciones sobre aprovechamiento de la energía geotérmica	20
2.3.1 Instalaciones existentes de almacenamiento Térmico en la actualidad.	33
2.3.2 Potencial Geotérmico Nacional	38
2.4 Bases Teóricas	43
2.4.1 Clasificación de la energía geotérmica	44
2.4.2 Alta Entalpía	45
2.4.3 Muy baja entalpía	47
2.4.4 Captación de la energía geotérmica de baja entalpía	52
2.4.5 Captación vertical	52
2.4.6 Captación horizontal	52
2.5 Pozos canadienses o provenzales	53
2.5.1 Concepto	53
2.5.2 Principios de Fundamentos – Modelo Teórico	55
2.6 Criterios para Diseñar un Sistema de Tubos Enterrados	56
2.7 Elementos de Instalación del sistema IN – SITU	58
2.8 Ventajas y Desventajas del Sistema	62
CAPITULO III	
3.1 Material Y Métodos	64
CAPITULO IV	
4. Resultados	65
CAPITULO V	
5. Discusión	66
CAPITULO VI	
6. Conclusiones	67
7. Recomendaciones	68
8. Referencias Bibliográficas	69
9. Anexos	72

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla Nº 01 Tipos de Suelo – Conductividad Térmica – Capacidad Calorífica	12
Tabla Nº 02 Instalaciones existentes en la actualidad	33
Tabla Nº 03 Bombas de calor Geotérmico en la unión europea de la energía Geotérmica.	37
Tabla Nº 04 Clasificación de la energía Geotérmica	44

ÍNDICE DE FIGURAS

		Pág.
Figura N° 1	Aprovechamiento geotérmico superficial en edificación	05
Figura N° 2	Cueva del Sacramento y Cuevas rurales de Guadix	06
Figura N° 3	Cueva de Milodón	07
Figura N° 4	Esquema ciudad subterránea Derinyuku en la Capadocia.	08
Figura N° 5	Casas-cueva en Capadocia (Turquía).	08
Figura N° 6	Casas-cueva en Guadix (Granada)	09
Figura N° 7	Distribución Directos Aislados en forma de anillo	14
Figura N° 8	Sistema de Tubos enterrados	15
Figura N° 9	Distribución Techelmann (Rejilla.	16
Figura N°10	Operación en invierno y verano	17
Figura N°11	Tipo bloque Techelmann (bloque – rejilla)	18
Figura N°12	Diagrama ventilación Villas Costozza.	23
Figura N°13	Intercambiador tierra-aire en el Hemiciclo solar	24
Figura N°14	Axonometría del intercambiador tierra-aire en el Hemiciclo solar.	25
Figura N°15	Intercambiador tierra-aire en el Centro Cultural Daoíz y Velarde.	25
Figura N°16	Estructura interna de la tierra.	43
Figura N°17	Temperatura del suelo en función de la profundidad en el hemisferio Norte	50
Figura N°18	Procedencia de la energía geotérmica de baja entalpia	50
Figura N°19	A la izquierda, método de captación vertical, a la derecha, captación horizontal	52
Figura N°20	Conductividad térmica	54

Figura N° 21	Esquema de instalación	55
Figura N° 22	Esquema básico del funcionamiento de los tubos enterrados	56
Figura N° 23	Esquema básico del funcionamiento de los tubos enterrados	57
Figura N° 24	Torre de entrada	59
Figura N° 25	Colector	59
Figura N° 26	Conjunto de tubos	59
Figura N° 27	Configuración del Sistema	61
Figura N° 28	Evacuador de Condensaciones	61
Figura N° 29	Costo De Instalación	72
Figura A	El canal Cumbemayo	38
Figura B	Ventanillas de Otuzco	39
Figura C	Templo Chavín de Huántar	40
Figura D	Machu Picchu	40

RESUMEN

Este trabajo presenta el estado del arte, o estado actual del conocimiento de los sistemas de pozos canadienses (tubos enterrados); asimismo analiza el funcionamiento de este novedoso sistema que permite sustituir la implementación de aire acondicionado dentro de viviendas y/o climatizar los ambientes, generando un ahorro en el consumo de energía eléctrica. Para su desarrollo se procedió a realizar un profundo análisis bibliográfico; a partir de fuentes primarias y secundarias, que van desde libros, tesis y publicaciones en diarios, hasta artículos relacionados con el tema de climatización de ambientes a partir del aprovechamiento de la energía geotérmica.

El funcionamiento de estos sistemas se basa en la utilización de la energía geotérmica, que consiste en hacer pasar el aire de ventilación por unos conductos enterrados consiguiendo un calentamiento en invierno y un enfriamiento en verano. Los estudios realizados permitieron conocer que actualmente existen estos sistemas instalados, ya que su implementación presenta una solución económica y energéticamente eficiente para cualquier tipo de edificación.

Palabras Clave: Energía geotérmica, Climatización, Pozo canadiense.

ABSTRACT

This paper presents the state of the art, or current state of knowledge of Canadian well systems (buried pipes); also analyzes the operation of this innovative system that allows to replace the implementation of air conditioning in homes and / or air conditioning environments, generating savings in the consumption of electricity. For its development a through bibliographic analysis was carried out; from primary and secondary sources, ranging from books, theses and publications in newspapers, to articles related to the topic of air conditioning of environments based on the use of geothermal energy.

The operation of these systems is based on the use of geothermal energy to pass ventilation air through buried conduits, achieving a warming in winter and cooling in summer. The studies carried out allowed to know that these installed systems currently exist, since their implementation presents an economical and energetically efficient solution for any type of building.

Key words: Geothermal energy, Air conditioning, Canadian well.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

El hombre, en el Perú y el mundo en general, presenta una dependencia creciente de la 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. Esto trae como consecuencia una situación de incremento (actual y pronóstico) en el consumo energético, a un ritmo aproximado del 1,8% a nivel mundial, entre los años 2000 a 2030 (Comisión Europea, 2003 en Santilli, 2014).

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. Es conocido que existe una gran variedad de energías menos conocidas que están ganando importancia, se puede nombrar entre ellas: biomasa, solar térmica, solar fotovoltaica, energía mareomotriz, la energía Geotérmica, etc. (Peiretti, 2017).

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 (Peiretti, 2017).

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 (Santilli, 2014).

Por lo expuesto anteriormente y dadas las necesidades de ahorro energético en la sociedad actual se ha intentado abordar una solución práctica para mejorar la eficiencia de las instalaciones con mayor consumo en el sector terciario. Esto es, los sistemas de climatización. Por lo tanto, se realizará el estudio de arte del aprovechamiento de la energía geotérmica basado en la climatización de ambientes con la técnica de pozos canadienses (tubos enterrados).

De las razones mencionadas anteriormente, se considera que el tema propuesto es de gran importancia ya que en esta investigación se pone en manifiesto que es posible la utilización de la energía geotérmica; además establece el estado actual del conocimiento sobre el aprovechamiento de la energía geotérmica basado en la climatización de ambientes mediante la técnica de tubos enterrados (pozos canadienses) y de esta manera en cierta medida generar conciencia de prever proyectos que sean amigables con el entorno y el medio ambiente.

La opción de llevar a cabo la revisión del estado de arte para este tema en particular, surge debido al impacto de la temperatura en nuestra ciudad que por tener un clima tropical en todo el año registra altas temperaturas en promedio que superan los 25 °C y donde la máxima temperatura absoluta supera los 35 °C. De ahí la necesidad de conocer un método para climatización de ambientes que sea económico y a la vez tenga la propiedad de reducir el consumo de energía no renovable; de esta manera se contribuya con el desarrollo sostenible de la región.

El objetivo general de este proyecto es poner de manifiesto que es posible la utilización de la energía geotérmica como una opción económica y ecológicamente amigable para la climatización de ambientes. Como objetivos específicos tenemos: estudiar e investigar el estado del arte del “sistema de pozo canadiense” para conocer el límite alcanzado en el conocimiento, así como también; promover la búsqueda de nuevas fuentes de energías renovables y sostenibles, para que constituyan la nueva potencial fuente energética en este nuevo escenario del calentamiento global.

Los resultados obtenidos en investigaciones efectuadas son satisfactorios, ya que la implementación de este tipo de sistemas presenta una solución económica y energéticamente eficiente para cualquier tipo de edificación.

El presente proyecto final de investigación tiene 4 partes: la PRIMERA PARTE: ALCANCE DEL TEMA, que integra el capítulo 1: Introducción y Resumen; la SEGUNDA PARTE: FUNDAMENTACION, que integra el capítulo 2: Marco Referencial; la TERCERA PARTE: METODOLOGIA, que integra el capítulo 3: Materiales y Métodos; la CUARTA PARTE: RESULTADOS, que integran los capítulos 4 y 5: Resultados obtenidos de la investigación, Discusión, Conclusiones, Recomendaciones, Referencias bibliográficas y los anexos.

CAPÍTULO II

2. ANTECEDENTES

El aprovechamiento de la energía geotérmica más simple viene siendo usado de forma intuitiva por el hombre desde la Prehistoria (Geoconsultores, 2008).

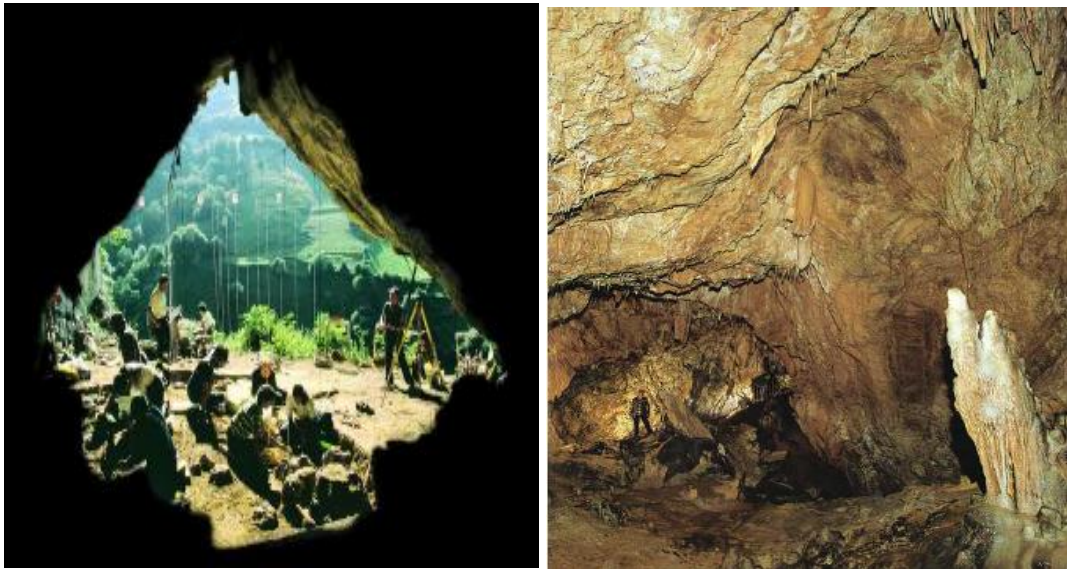


Figura N°1: Aprovechamiento geotérmico superficial en edificación

Fuente: internet

Adentrándose en casos de estudio sobre los sistemas de tubos enterrados, los refugios y las grutas naturales o excavadas en la roca blanda son parte de una forma ancestral de vida en la época neolítica. Estas cavernas fueron cobijos confortables de alta eficacia energética, y muchas han llegado hasta nuestros días. El sistema de desarrollo de cuevas se basó en el uso correcto de las características climatológicas del lugar. Una correcta orientación con referencia al sol, el viento y la lluvia fue la clave que les permitió subsistir (Cabezas, 2012).

Las cuevas garantizan una temperatura de partida habitable, a la que se suman otros métodos de control energético. Estos métodos y sistemas de climatización los podemos encontrar en Granada. 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).

Entre las diferentes cuevas encontradas podemos citar:

- Sacramento Granada: ha sido sin duda el núcleo más importante de cuevas en toda la península hispánica. Se conoce que el barrio de Sacromonte es una montaña llena de cuevas. Las características del suelo y la facilidad para excavar permitieron construir verdaderas obras de arte que tres siglos después sirvieron de refugio a familias gitanas (Farfán, 2009).
- Peña de los gitanos: a seis kilómetros al noreste de Montefrío se albergan estas cuevas. Fueron abrigos naturales en su época, habitables para los primeros hombres de esta zona. Su uso data de la época del Neolítico final. Son cinco las cuevas en las que se han hallado diferentes piezas líticas y óseas del neolítico tardío. Están compuestas por una cámara, y algunas con un pasillo (Farfán, 2009).

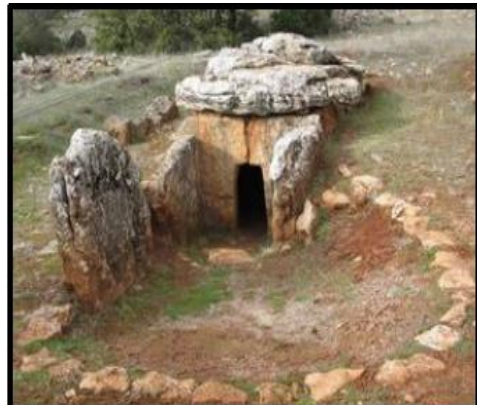


Figura Nº 2: Cueva del Sacramento y Cuevas rurales de Guadix

Fuente: Internet

La reflexión sobre el estudio de construcción ancestral, y la concienciación 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).

Como ya se ha citado los intercambiadores geotérmico actuales son una mejora técnica de múltiples sistemas que se han utilizado a lo largo de la historia. Es por ello que para entender el funcionamiento de los conductos enterrados hoy en día debemos realizar un estudio de la utilización de la energía térmica del subsuelo para acondicionar los espacios interiores. Los primeros “intercambiadores” los observamos en la prehistoria con el uso de las cuevas naturales, estos refugios presentan unas condiciones térmicas bastante aceptables, frescas en verano y protegidas del frío en invierno. Este podría ser el primer paso a la hora de utilizar las propiedades térmicas del terreno (Díaz, 2018).



Figura N°3: Cueva de Milodón

Fuente: expedia.com

Más adelante surgen las casas-cueva, unas viviendas trogloditas excavadas artificialmente en el terreno. El principal ejemplo lo encontramos en Turquía en las cuevas de la Capadocia, un paisaje formado por explosiones volcánicas que dan un terreno óptimo para su excavación. Se llegaron a construir 36 ciudades subterráneas a lo largo de los siglos en las que se disponía de todas las estancias necesarias para la vida diaria, pozos de agua y chimeneas de ventilación. La inercia del terreno otorgaba una confortable estabilidad térmica correspondiente a la media del día frente a la variación del exterior (Díaz, 2018)



Figura N°4: Esquema ciudad subterránea Derinyuku en la Capadocia.

Fuente: expedia.com



Figura N°5: Casas-cueva en Capadocia (Turquía).

Fuente: expedia.com

Este mismo tipo de casas cueva las encontramos en Guadix (España) donde se excavaron alrededor de 2000 viviendas en el suelo arcilloso. Muchas de ellas continúan habitadas por la temperatura estable entre 18 y 20°C. La construcción

de estas cuevas se realiza alrededor de los siglos XV y XVI con paredes de más de un metro de espesor, estancias de unos tres metros de diámetro y techos abovedados (Díaz, 2018).



Figura Nº 6: Casas-cueva en Guadix (Granada)

Fuente: losviajesdemargalliver.com

El uso de este sistema en el acondicionamiento térmico de edificios se ha extendido en los últimos años, haciéndose particularmente útil en invernaderos. Los datos muestran que en muchos casos el sistema permite un ahorro de más del 45% de los requerimientos energéticos (Brunat & Escuer, 2010).

Estos sistemas son utilizados para el acondicionamiento directo de la temperatura interior de las construcciones. Los conductos enterrados funcionan en un sistema cerrado con el espacio a climatizar, y su principio se basa en utilizar el suelo como fuente calorífica (Brunat & Escuer, 2010 en Cabezas, 2012).

Los estudios de la variabilidad mínima de la temperatura del suelo a una profundidad mayor a 2m es la razón principal para implementar esta técnica que acondiciona el aire a las diferentes temperaturas según las estaciones, es decir se calienta en invierno y se enfría en verano. Este proceso tiene una mayor eficiencia cuando el aire está relativamente seco (Cabezas, 2012).

2.1 ESTADO DEL ARTE

Según Ana María, (2012) en su tesina de master cita: **“La energía menos contaminante es la que no se usa”**. En teoría, las energías renovables pueden llegar a satisfacer las necesidades energéticas de la humanidad. El sol proporciona un flujo de energía muy superior al consumo humano. El problema radica en cómo usar, distribuir, almacenar y transformar esta energía para minimizar el consumo de combustibles fósiles. Hoy en día, lo primordial al diseñar y construir una edificación es minimizar el consumo de energía utilizando sistemas pasivos de mínimo costo energético (Cabezas, 2012).

Existe un grupo limitado de profesionales que han desarrollado y utilizado nuevos sistemas de ahorro energético en las edificaciones, lo cual se ha dado por la creciente concienciación del cuidado del medio ambiente y por las exigencias medioambientales. Entre los sistemas desarrollados tenemos los “conductos enterrados”, o también llamados “pozos canadienses - pozos provenzales” que hace uso de la energía geotérmica para su funcionamiento. Este generó interés en la última década de los años setenta y primeros ochenta, aunque no alcanzaron una amplia aceptación (Cabezas, 2012).

En la construcción, los tubos que se entierran en el subsuelo son intercambiadores de calor tierra-aire, que se utilizan con el objetivo de enfriar y calentar una corriente de aire que circula a través de estos. El propósito de dichos tubos es enfriar el aire que ingresa en la construcción durante el verano y calentarlo durante el invierno. Estos sistemas son utilizados para el acondicionamiento directo de la temperatura interior de las construcciones. Los conductos enterrados funcionan en un sistema cerrado con el espacio a climatizar, y su principio se basa en utilizar el suelo como fuente calorífica (Brunat & Escuer, 2010).

Tomando en cuenta la base de la utilización de los conductos enterrados como elementos de acondicionamiento ambiental, se encontró una posible solución a los problemas actuales. Aprovechar las características del suelo, es decir, su inercia térmica y su termodinámica de intercambio de calor (Cabezas, 2012).

El estudio de estos elementos en la construcción radica en los principios utilizados a continuación:

2.1.1 El uso del suelo - aprovechamiento de la Inercia Térmica

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, e invierno o en verano (Cabezas, 2012).

Pese a la globalidad que se ha enunciado para la disponibilidad de esta energía, su rendimiento puede ser muy diverso, según la temperatura de la que se disponga. Es evidente que el comportamiento de los terrenos en cuanto a la transmisión del calor a través de ellos y a su capacidad de almacenarlo, condicionarán en gran medida el rendimiento de los aprovechamientos de este tipo de energía (Santilli, 2014).

2.1.2 Propiedades Geotérmicas del suelo

La energía geotérmica es la base para la utilización de tubos enterrados como sistema de climatización porque permite utilizar al suelo como sistema de intercambio de calor. Las características térmicas de un suelo están influenciadas por el contenido volumétrico de agua del suelo, la fracción del volumen del aire y la fracción de volumen de los sólidos del suelo, pero también se relaciona con la profundidad. Estudios demuestran que a mayor profundidad mayor es la temperatura (2000 m – 100°C). En el sistema de tubos enterrados, se trabaja con profundidades maniobrables en las que el terreno se mantiene a una temperatura constante a lo largo del año. Investigaciones realizadas en Kusuda en EEUU (1965), determinaron que la temperatura a una profundidad mayor a 2 m ya no presenta variabilidad y corresponde a la media de la temperatura anual (Baver, et al., 1991 en Cabezas, 2012).

La transferencia del calor dentro de un medio, como lo es el suelo, está definida por dos propiedades: la conductividad térmica y la capacidad calorífica, que son la base fundamental para el funcionamiento de tubos enterados.

- **La conductividad térmica (λ):** Propiedad intrínseca del suelo que está relacionada con su habilidad para conducir calor y con el movimiento de la energía del calor a través del suelo. El calor se mueve de un área de alta temperatura a un área más fría, distribuyéndose a sí mismo para llegar a un equilibrio, donde éste es distribuido uniformemente a través de la sustancia. Cuando la conductividad térmica de un suelo es alta, las variaciones de temperatura en la superficie son menores, además ésta se incrementa con el contenido de humedad. Por lo tanto, un suelo arcilloso y húmedo permite una mejor transmitancia térmica que un suelo duro. Los suelos rocosos, arenosos o volcánicos, por el tamaño de las partículas que lo conforman producen espacios vacíos que generan un menor intercambio de calor (Cuevas & González Penella, 2008 en Cabezas, 2012).
- **Alta capacidad calorífica:** Es la propiedad térmica del suelo para almacenar calor si cambia la temperatura, pero sin cambiar de fase. La variación de rangos se define en la Tabla N°1, pero se observa que es un buen acumulador de calor (Cuevas & González Penella, 2008 en Cabezas, 2012).

Tomando en cuenta estas dos propiedades se puede establecer que, a determinada profundidad, tanto la penetración y enfriamiento del suelo es lento. En la Tabla N°1 se establecen los diferentes tipos de suelos versus la conductividad térmica y capacidad calorífica (Cabezas, 2012).

Material	Conductividad Térmica ($J^{\circ}/C/s$)	Capacidad Calorífica ($J^{\circ}/cm^3/s$)
Suelos arenoso húmedo	0.017	1.68
Arena	0.003	1.26
Arcilla	0.0025	1.26
Orgánico	0.0126	2.39
Nieve compacta	0.0029	0.92

Tabla N°1: Tipos de Suelo – Conductividad Térmica – Capacidad Calorífica
Fuente: Cabezas, 2012.

Como ya se mencionó, la masa de suelo posee la capacidad de conservar la energía térmica recibida e ir liberándola progresivamente, es decir posee una gran inercia térmica. Por lo tanto, el suelo es usado como acondicionador térmico de edificaciones (Russel, 1992).

Al conocer las propiedades del suelo, el sistema se basa en un fenómeno físico por el que el aire solo necesita unos instantes para atravesar el dispositivo (tubo), y sale con una temperatura adecuada dependiendo de la época del año (Cabezas, 2012).

2.1.3 Leyes de la Termodinámica

A continuación, se realiza una descripción de las dos leyes de la termodinámica que proporcionan un concepto básico para entender el intercambio de calor entre el aire que pasa a través de los tubos y el suelo (Posada, 2008).

Principios físicos:

Primera Ley: También conocida como principio de conservación de energía. Propuesta por Antoine Lavoisier, establece que, si se realiza trabajo sobre un sistema, o bien éste intercambia calor con otro, entonces la energía interna del sistema cambiará. Visto de otra forma, esta ley permite definir el calor como la energía necesaria que debe intercambiar el sistema para compensar las diferencias entre trabajo y energía interna. La aplicación práctica de esta ley es el balance de energía para un sistema. Como se mencionó antes, el calor es el tipo de energía que interviene en este balance. Es decir, el calor es la energía que entra o sale de un sistema debido a las diferencias de temperatura entre la pared del sistema y el ambiente (Posada, 2008).

Segunda Ley: Esta ley regula la dirección en la que deben llevarse a cabo los procesos termodinámicos y, por lo tanto, la imposibilidad de que ocurran en el sentido contrario. También establece, en algunos casos, la imposibilidad de convertir completamente toda la energía de un tipo en otro sin pérdidas. De esta forma, La Segunda Ley impone restricciones para las transferencias de energía que hipotéticamente pudieran llevarse a acabo, teniendo en cuenta sólo el Primer Principio. La transferencia de energía puede darse por diferentes procesos como: conducción, convección y radiación térmica (Posada, 2008).

2.2 Diferentes Configuraciones del Sistema

Existen varias empresas que se dedican al cálculo, implementación y mantenimiento de dichos sistemas. La configuración del sistema de tubos enterrados a implementar dentro de una construcción depende de los requerimientos del proyecto, es decir: el uso del mismo, la superficie a aclimatar,

el espacio disponible en donde se vaya a colocar el sistema, la cuantía de calefacción y refrigeración que se exija, y el caudal del aire demandado del espacio a climatizar. Después del análisis de algunos proyectos, y tomando en cuenta la descripción de los diferentes tipos de configuración de sistemas dados por la empresa REHAU, se ha llegado a determinar tres tipos diferentes de configuración de sistemas de tubos enterrados: tipo bloque Techelmann (bloque – rejilla), distribución Techelmann (rejilla) y directos aislados (anillo). Estos tipos de distribución varían entre sí por el número, y la distribución de los de los tubos horizontales (Rehau, 2012).

2.2.1 Directos Aislados (Anillo)

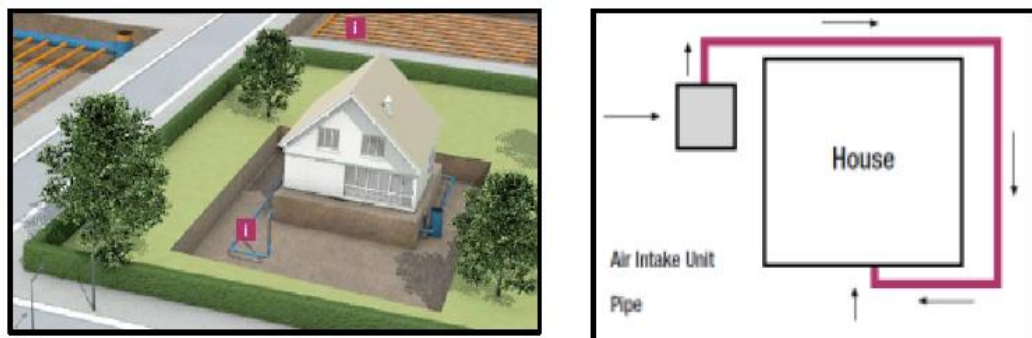


Figura N°7: Distribución Directos Aislados en forma de anillo

Fuente: (Rehau, 2012).

- **Aplicaciones:** Su mayor aplicación es en viviendas familiares y/o construcciones pequeñas. No obstante, ha sido utilizado en escuelas, auditorios, naves industriales, etc. Se aplica este diseño porque resulta rentable y se puede economizar al poder utilizar trincheras existentes en vez de re-excavar (Rehau, 2012).
- **Características:** Se necesita de un área grande para su instalación puesto que el sistema utiliza un único tubo como sistema de intercambio de calor. La profundidad de colocación varía entre 1.5 y 3 m. El tubo, dependiendo el caudal necesario de intercambio, puede tener diámetros pequeños y/o de gran tamaño. El flujo de aire es entre 150 - 300 m³/h, (Rehau, 2012).
- **Sistema constructivo:** Su instalación está formada por uno o dos tubos, que están direccionados hacia la 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. El material de los tubos puede ser de PVC con chapa de acero (Rehau, 2012).

- **Caso de Estudio:** Casa BASF, University off Nottingham

Descripción del Proyecto:

Todos los sistemas y diseños de la vivienda fueron pensados en un contexto de sostenibilidad y contemplan las siguientes categorías: eficiencia energética (CO₂), uso eficiente del agua, usos eficientes de materiales, gestión de Agua Superficial, gestión de residuos del sitio y polución (University of Nottingham, 2008). La casa tiene una superficie compacta y el diseño se basó en otro diseño solar pasivo extremadamente simple. La construcción tiene fachadas hacia el norte, este y oeste, y está muy bien aislada con el número mínimo indispensable de aperturas para proveerla de luz natural. La fachada sur es totalmente acristalada con un cristal doble capa. Esta abertura permite calentar la vivienda en época de invierno. Toda la construcción cuenta con sistemas de ventilación cruzada, y tubos enterrados para un correcto funcionamiento dependiendo la época del año (University of Nottingham, 2008), (Cabezas, 2012).

Descripción del sistema de tubos enterrados:

- Flujo de aire: 174 m³/ h
- Torre: 1 de ingreso del aire y 2 de salida del aire.
- Ductos: Tubos enterrados - AWADUKT Thermo de 200/250 OD. Con una longitud de 34 m, (The Building Center, 2008).



Figura N°8: Sistema de Tubos enterrados

Fuente: University of Nottingham, 2008

2.2.2 Distribución Techelmann (rejilla)

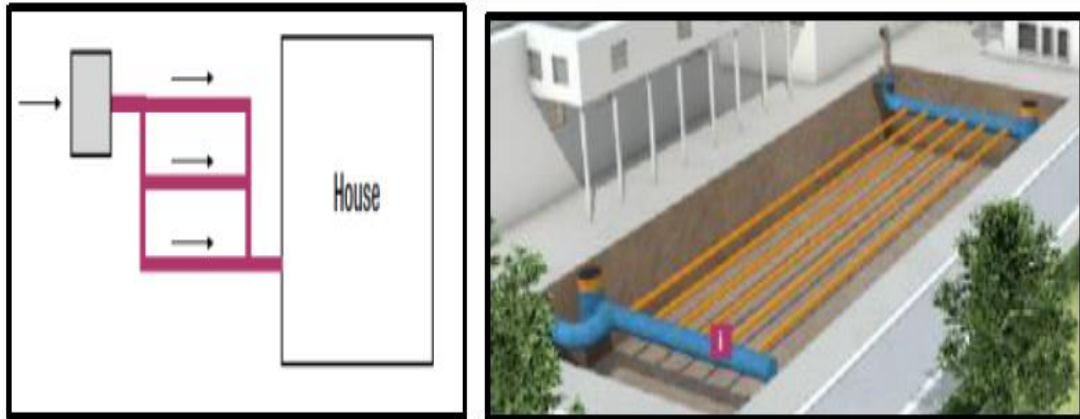


Figura N° 9: Distribución Techelmann (Rejilla)

Fuente: (Rehau, 2012)

- **Aplicaciones:** Es utilizado cuando la distribución tipo aislada no se puede realizar debido a que la longitud total de los tubos es muy grande porque existe un mayor volumen de flujo requerido, renovaciones y confort térmico (Rehau, 2012).
- **Características:** como su nombre lo indica, los tubos se colocan en forma de una rejilla y están unidos a dos cámaras de aire (ingreso y salida de aire). Las tuberías de ingreso de aire (superficiales) son de grandes diámetros, mientras que los tubos enterrados, por lo general a 3.0 m de profundidad, tienen un diámetro menor para lograr disminuir la velocidad de paso del fluido y maximizar el intercambio de energía. Se utiliza cuando el flujo de aire supera los 300 m³/h (Rehau, 2012).
- **Sistema constructivo:** el material utilizado para los tubos verticales (ingreso y salida del aire) y los que conforman la rejilla varía dependiendo de los requerimientos del proyecto, pero por lo general pueden ser de PVC y/o de hormigón. Este tipo de sistemas son colocados en edificaciones de gran escala, y por esta razón es muy importante tomar en cuenta que las galerías de ingreso y salida del aire deben tener un sistema de evacuación de agua (sea por infiltración del terreno o condensaciones de la tubería). 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, (Rehau, 2012).

- **Caso de Estudio:** TESCO supermercado en Polonia

Descripción del Proyecto:

Tiene un consumo anual de 46.320 kWh, y el diseño del intercambiador de calor tierra-aire proporciona un ahorro en consumo de calefacción en 20.500 kWh por año, que en cuantía de dinero es 2.000 €. También, el sistema genera un ahorro en refrigeración de 1.000 €. Para comprobar los valores calculados, la empresa REHAU ha optado por llevar a cabo un proyecto de investigación de un año en relación al sistema y en cooperación con la Universidad Técnica de Posen (The Building Center, 2008), (Cabezas, 2012).

Descripción del sistema de tubos enterrados:

- Flujo de aire: 2700 m³/ h
- La energía de calefacción en invierno: 20.500 kWh / año
- La energía de refrigeración en verano: 10.700 kWh / año
- Ductos: Tubos enterrados - AWADUKT Thermo de 200. Con una longitud de 700m. Tubos de distribución – AWADUKT Thermo 500 OD. Con una longitud de 50 m.

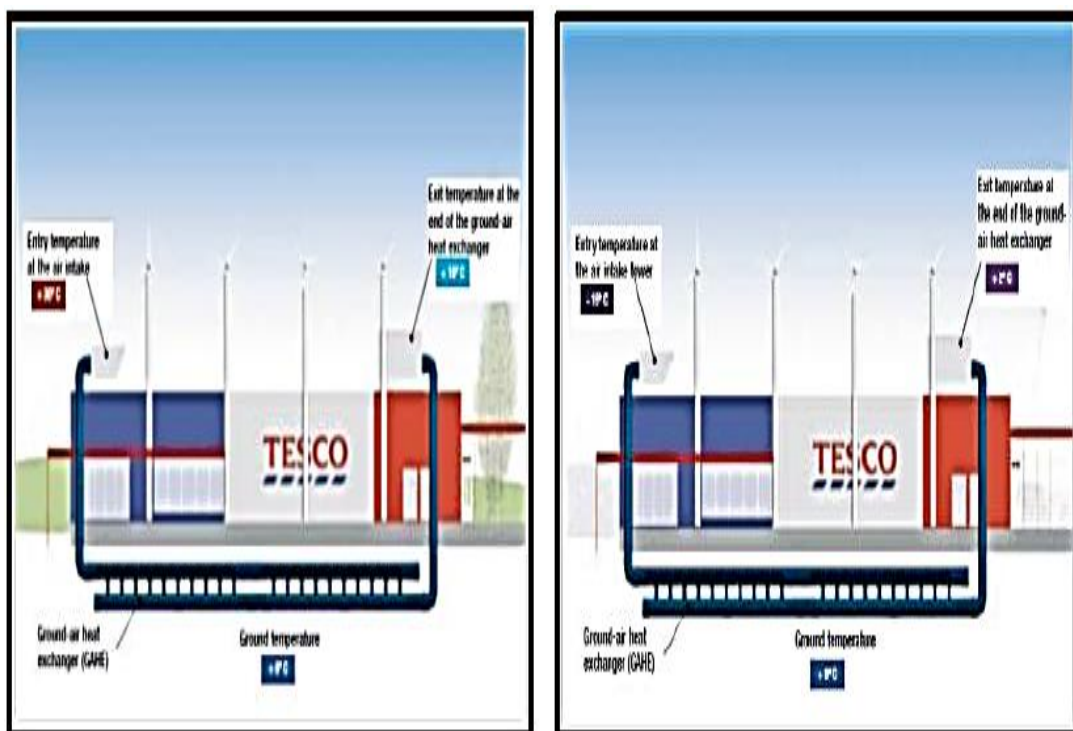


Figura N°10: Operación en invierno y verano

Fuente: The Building Center, 2008

2.2.3 Bloque Techelmann (bloque – rejilla)

Este sistema conjuga los dos métodos antes descritos, pero implementándolos en un espacio limitado; por esta razón se construye su sección como un bloque 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 (Cabezas, 2012).

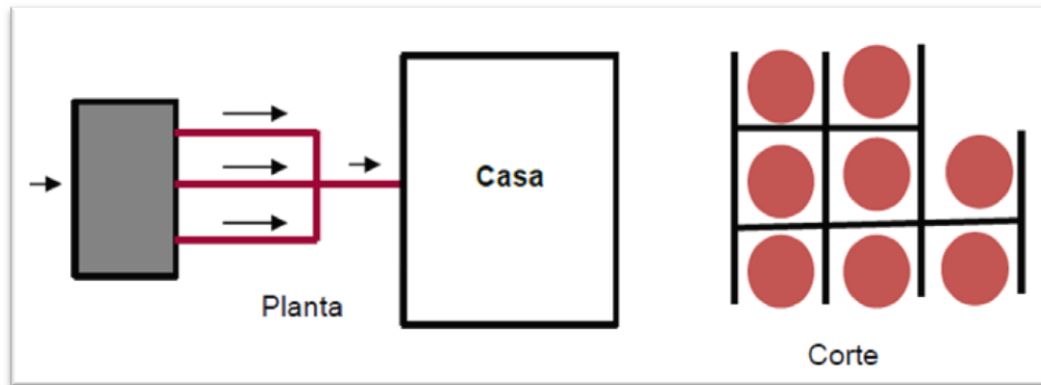


Figura N°15: Tipo bloque Techelmann (bloque – rejilla)

Fuente: (Rehau, 2012)

- **Aplicaciones:** entre las primeras aplicaciones del sistema estuvieron la renovación del aire, la refrigeración en periodos de verano y el precalentado en invernaderos y naves de cría durante el invierno; en donde se logró evitar pérdidas de las cosechas, disponer de mejores condiciones para para los animales, y así mejorar la salud y la productividad. En la actualidad este sistema también es utilizado en viviendas o naves industriales, siempre y cuando los caudales o las exigencias de temperatura sean bajas y la superficie de instalación limitada (Cabezas, 2012).
- **Características:** requiere poco espacio para su instalación debido a su configuración. La profundidad de instalación es entre 1.5 a 2 m, y en algunos casos utiliza un pequeño extractor de aire para la circulación del aire con un mínimo de consumo energético (Cabezas, 2012).
- **Sistema constructivo:** se instalan los tubos en diferentes capas, los mismos que quedan embebidos en el relleno. Este relleno debe ser macizo y puede ser de hormigón como el propio terreno. El sistema cuenta con una cámara de entrada en un extremo en donde se encuentra el ventilado y filtros de insectos para la impulsión de aire, y otra en el extremo opuesto de la salida (Cabezas, 2012).

- **Caso de Estudio:** Edificio de 38 pisos, para personas mayores Palma de Mallorca

Emplazamiento:

Está ubicado en Ciudad de Palma de Mallorca, a unos 500 metros del mar, en el interior de una manzana típica del ensanche. El clima es templado en invierno con temperaturas medias de 10.7°C, (AR Networks, 1999). El verano es caluroso, pero no en exceso. La temperatura media es de 24°C. Las brisas son habituales en verano, con una frecuencia del 75% de los días (dirección Norte durante el día y Sur durante la noche). Con menor frecuencia sopla el viento del Este. En invierno las componentes dominantes son el Norte y el Oeste (Cabezas, 2012).

Descripción del Edificio:

Es un cuerpo aislado de geometría sencilla con un patio en su interior. Incluye 38 apartamentos para personas mayores distribuidas en tres plantas, y una serie de espacios comunes situados en planta baja (AR Networks, 1999). La comunicación horizontal se realiza a través de una galería acristalada que rodea el patio y da acceso a los apartamentos. Estas galerías son el principal mecanismo de captación energética y protección solar. Todas las unidades y espacios comunes cuentan con ventilación cruzada, potenciada por la propia forma del edificio (abierto a las brisas y de alto factor de forma). En las horas centrales del día, cuando la temperatura es excesivamente alta, no es deseable un intercambio de aire con el exterior; es por esto que las ventanas permanecen cerradas y se recurre al sistema de pre - refrigeración por conductos enterrados para proveer el confort climático necesario (Cabezas, 2012).

Descripción del Sistema:

El sistema conjuga dos tipos diferentes de material (PET y PVC) en la composición de los tubos enterrados y así delimitar la eficiencia del material (Cabezas, 2012).

- Flujo de Aire: 700-900 m³/h
- Velocidad: 0.75 – 3 m/s
- Longitud del sistema: 30 m

- Ductos: Tubos enterrados – polietileno (PET) PE100DN de 200 mm. Conductividad térmica de 0.37 kcal m/m² h °C. Tubos enterrados PVC de 20mm. Conductividad térmica de 0.13 kcal m/m² h °C. Ductos de distribución – de PVC aislados con camisa de 3 cm de lana roca.
- Ordenamiento de los ductos: tres capas situadas a 3.5 (PET), 4.5 (PET) y 5.5 (PVC), separadas mínima entre tubos 0.9 m, entre sí.

2.3 Investigaciones sobre aprovechamiento de la energía geotérmica

Actualmente existen trabajos de investigación con respecto al aprovechamiento de la energía geotérmica, donde se llegaron a interesantes conclusiones:

Susan Aquino, (2018). En su tesis: Aplicación de Sistema de Ventilación Natural para el Confort Térmico en los Ambientes de una Vivienda Unifamiliar Distrito de la Merced. Hace mención a Wieser Rey, Martin. Las Teatinas de Lima. Tesis Doctoral (Análisis energético ambiental y perspectivas de uso contemporáneo). España: Universidad Politécnica de Cataluña, Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona Departamento de Construcciones Arquitectónicas. El objetivo de la investigación es evaluar el desempeño energético de las teatinas limeñas y valorar sus cualidades frente a la posibilidad de un eventual uso contemporáneo. Y la hipótesis de la investigación sería las funciones principales de las teatinas fueron tanto la iluminación como la ventilación natural de los ambientes ubicados debajo de ellas. En cuanto a la muestra se tomaron diez fichas siendo suficientes para levantar noventa y cuatro teatinas, ubicadas en los edificios. Conclusiones más relevantes de la investigación (Aquino, 2018):

- Las teatinas en un tiempo llegaron a cumplir con requerimientos de confort para los usuarios, especialmente con características climáticas y lumínicas (Aquino, 2018).
- Las ventajas de la teatina, logran la captación y la distribución del viento al interior del ambiente, y permite un mejor control acústico en relación a los ruidos exteriores (Aquino, 2018).

- Se concluye que las teatinas resultan un referente valido y la elección correcta de tal manera llegando a ser espacios confortables en edificaciones energéticamente eficientes (Aquino, 2018).

Susan Aquino, (2018). En su tesis: Aplicación de Sistema de Ventilación Natural para el Confort Térmico en los Ambientes de una Vivienda Unifamiliar Distrito de la Merced. Hace mención a Oropeza Pérez, Iván. Potencial Estimado para el Aprovechamiento de la Ventilación Natural para la Climatización de Edificios en México. Tesis (Maestría en Ingeniería de Energía - Diseño Bioclimático de Edificaciones). México: Universidad Autónoma de México, Instituto de Ingeniería, 2008. 119 pp. El objetivo de esta investigación es mostrar los aspectos relacionados a la ventilación natural como un método pasivo de climatización de edificios en México. Y la hipótesis consiste en el adecuado estudio de la ventilación natural de los espacios que permita la climatización para evitar el sobrecalentamiento, así como mejorar la calidad del aire al permitir su renovación. La metodología usada el análisis de la ventilación natural, se encuentra horas con confort existente, se aplicará un modelo matemático para calcular un factor de ahorro, para obtener el ahorro de electricidad en cuanto a la ventilación natural en cada una de las ciudades. Conclusiones relevantes de la investigación (Aquino, 2018):

- En la región cálida seca y muy seca, donde el aire caliente aumenta la temperatura dentro del ambiente. En cambio, en las regiones cálido - húmedo y subhúmedo ocurre lo contrario el aire en movimiento evita la sensación de calor (Aquino, 2018).
- Es por esto que un sistema tan sencillo como la circulación natural de aire en el interior de un edificio debe ser visto ya en estos tiempos como una solución real a los problemas que tienen con búsqueda en un confort térmico (Aquino, 2018) (Aquino, 2018).

Susan Aquino, (2018). En su tesis: Aplicación de Sistema de Ventilación Natural para el Confort Térmico en los Ambientes de una Vivienda Unifamiliar Distrito de la Merced. Hace mención a VIDAL, Ana y VASQUEZ, Guillermo. Diseño de una Modelo de Vivienda Bioclimática y Sostenible. Universidad Tecnológica de El Salvador: San Salvador, 2011 (Aquino, 2018).

La investigación se basa en un problema general basado en criterios arquitectónicos y ambientales, y las técnicas apropiadas, que podrían resolver eficiente el diseño de la vivienda, en cuanto a las condicionantes climáticas imperantes del lugar. El objetivo de esta investigación es retroalimentar el diseño de vivienda planteado en la Fase I de la investigación, formulando una base científica para cada uno de los 20 componentes de esta, de manera que puedan sentarse las bases para la construcción de una vivienda a escala real que pueda ser presentada a distintas instituciones u organizaciones, de manera que el modelo pueda establecerse como una nueva solución habitacional en el país. Conclusiones relevantes de la investigación (Aquino, 2018):

- Los elementos y los factores climáticos funcionan como un sistema, cuyos elementos se interrelacionan y en general determinan mutuamente. Debido a esto, deben de ser estudiados y tratados como tal. Es esta otra de las razones por la cual la aplicación de elementos bioclimáticos en una edificación demanda un análisis integral de las condiciones particulares de cada sitio.
- El modelo de vivienda propuesta se recomienda para zonas de carácter semiurbano donde la temperatura del ambiente oscile entre los 28 y 32 °C, ubicadas en terrenos relativamente planos, y dispuestas de tal manera que se permita la circulación libre del aire entre las fachadas este y oeste (Aquino, 2018).

Susan Aquino, (2018). En su tesis: Aplicación de Sistema de Ventilación Natural para el Confort Térmico en los Ambientes de una Vivienda Unifamiliar Distrito de la Merced. Hace mención al BOLETIN Mensual del Laboratorio de Acondicionamiento Ambiental, Lima: Arq. Armando Deffis Caso, enero 2012 (Fecha de consulta: 20 de octubre del 2017). En el país se vive un incremento en el sector de la construcción muy acelerado, estando de la mano con la tecnología como son los sistemas de climatización artificial, sistema de ahorro energético, sistemas de vidriados especiales, sistemas domóticos para elaborar edificios con gestión energética, con el fin de satisfacer las necesidades del usuario. La oportunidad de diseñar ambientes con un bienestar global (iluminación, temperatura y ventilación), se desarrolló anteriormente en el Perú y en los demás países. De esta manera ya existía esta arquitectura llamada

actualmente arquitectura bioclimática, se desarrolló en el mundo soluciones de acuerdo al lugar e integrando de manera estética a la naturaleza. La obligación de hacer arquitectura es que esta se integre a la naturaleza, de tener en cuenta en el siglo XXI es la crisis climática y energética mundial (Aquino, 2018).

Existen muchas edificaciones donde se han implantado este tipo de sistemas, y se ha visto su eficacia, pero aún no se ha podido determinar una metodología de diseño específica, ni tampoco la cuantificación de la eficiencia higrotérmica del edificio. Este hecho se ve ligado a que existen innumerables factores que influyen en su actuación, entre ellos se incluyen los diferentes climas, geotérmica, usos de la edificación etc. (Cabezas, 2012).

Un ejemplo del aprovechamiento térmico del terreno lo encontramos en las **Villas Costozza en Italia**, estas construcciones de mediados del siglo XVI están situadas en una ladera sobre unas grandes cuevas naturales. Estas oquedades del terreno estaban conectadas con el exterior por unas aberturas en la colina y, a su vez, conducían hasta unas rejillas en el suelo de los sótanos de las villas, esto genera unos túneles de viento en las cuevas. El aire entraba con la temperatura exterior, se enfriaba de forma espontánea y a través estos túneles de viento climatizaba el interior de las viviendas (Díaz, 2018).



Figura N°12: Diagrama ventilación Villas Costozza.

Fuente: Arquitectura bioclimática en un entorno sostenible.

Este mismo principio con un grado más de tecnificación lo encontramos en los pozos provenzales o pozos canadienses. Llamados así por su origen y utilizados para calentar o enfriar respectivamente. A pesar de su diferencia de nombre la construcción es exactamente la misma. Su origen se basaba en la construcción

de una canalización en piedra enterrada en el flanco de una colina con una abertura en su inicio y que desembocaba en el interior de las construcciones. El uso de los pozos canadienses o provenzales se ha ido desarrollando hasta la actualidad, denominándose intercambiadores de calor tierra-aire, por el proceso físico que se genera en ellos. La construcción de estos intercambiadores se basa en la colocación de uno o varios conductos enterrados a cierta profundidad conectados al interior de los edificios y con unas rejillas de captación de aire. De esta manera se hace pasar por los conductos enterrados el aire de ventilación necesario por normativa, éste adquiere la temperatura del terreno y se impulsa al interior, consiguiendo una reducción en el gasto energético al disminuir el salto térmico (Díaz, 2018).

A pesar de su aparente utilidad, este sistema no está siendo utilizado de manera usual en la arquitectura, ya que requiere espacio suficiente para poderse instalar. Sin embargo, encontramos grandes ejemplos de aplicación. El más representativo dentro de esta corriente es **el Hemiciclo Solar de César Ruiz Larrea**, un proyecto de viviendas situado en Móstoles que relaciona varios sistemas bioclimáticos para conseguir un gasto casi nulo. El intercambiador se compone de dos galerías subterráneas, una de admisión y otra de impulsión conectadas por una serie de conductos paralelos donde se realiza la transferencia de calor (Díaz, 2018).



Figura N°13: Intercambiador tierra-aire en el Hemiciclo solar

Fuente: RLA.

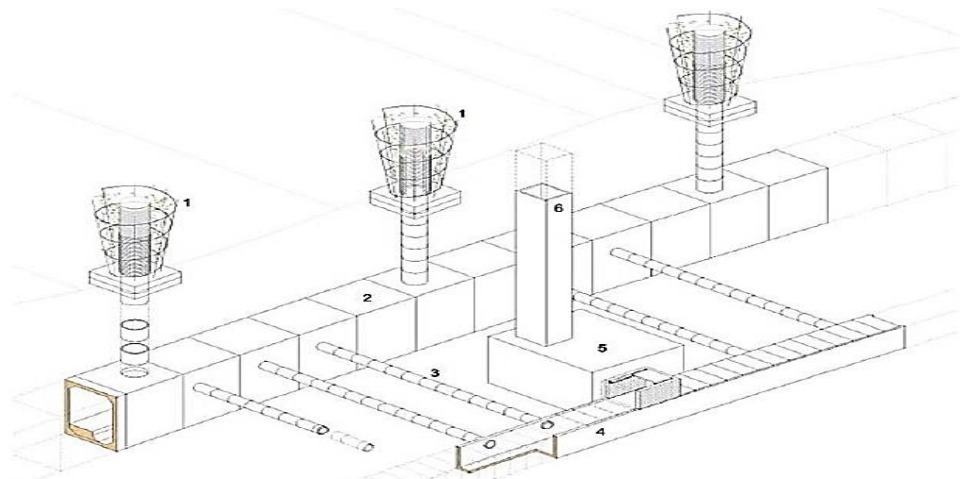


Figura Nº 14 Axonometría del intercambiador tierra-aire en el Hemiciclo solar.
Fuente: RLA.

Otro ejemplo que utiliza este sistema es el **Centro Cultural Daoiz y Velarde de Rafael de la Hoz**. En este caso el proyecto es la rehabilitación de un cuartel militar en el que se mantiene la fachada y se modifica el interior. Los conductos geotérmicos horizontales de aire se complementan con un uso de energía geotérmica en profundidad (Díaz, 2018).

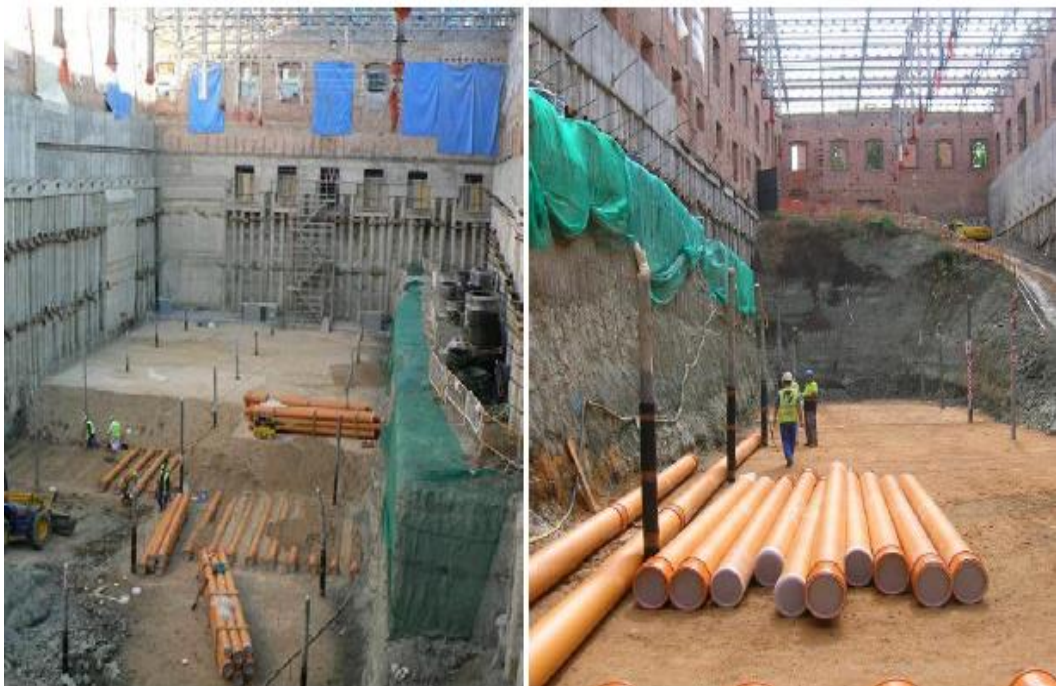


Figura Nº15: Intercambiador tierra-aire en el Centro Cultural Daoíz y Velarde.
Fuente: aislo.com

Cano Molina, Jesús (2013). **ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA TÉCNICA GREB Y LA IMPLEMENTACIÓN DEL POZO CANADIENSE, COMO ALTERNATIVAS A SISTEMAS CONSTRUCTIVOS Y DE CLIMATIZACIÓN CONVENCIONAL.**

Conclusiones relevantes de la investigación:

- El estudio realizado de la aportación del pozo canadiense a la vivienda Greb, como aproximación a los 20 °C de confort. Premisa cumplida.
- Reducción de un 20% de descuento las emisiones de CO2 como Plan de acción 2012-2020. Premisa cumplida.
- Tener en cuenta las condiciones climáticas del entorno del edificio para aprovechar el mismo de forma eficiente y sostenible.
- Alcanzar un equilibrio entre las inversiones realizadas y los costes ahorrados a lo largo del ciclo de vida del edificio.
- Desarrollar un método comparativo para calcular niveles óptimos de rentabilidad con respecto a los requisitos mínimos de eficiencia energética establecidos.

Knie C., Belmonte A., Berthomieu B. & Madrid S. (2010). **DISEÑO DE UN EDIFICIO AUTOSUFICIENTE Y "LOW COST" PARA AUTOCONSTRUCCIÓN.**

Conclusiones relevantes de la investigación:

- Energías renovables: se ha diseñado el sistema energético (tanto térmico como eléctrico) con energías renovables y se ha comprobado mediante cálculos de dimensionamiento que se cubren totalmente las necesidades energéticas de la casa. En el ámbito eléctrico, cabe destacar cómo la configuración del sistema hace que esta funcione como un “riñón energético”, absorbiendo energía procedente mayoritariamente de combustibles fósiles y devolviendo a la red energía limpia en cantidades mayores a la recibida.
- Una consecuencia de todo este proceso, es que la casa que se obtiene como resultado es, además, saludable. La casa dispone de ventilación natural, con una humedad relativa controlada por la absorción de las paredes. Dicha humedad relativa se mantendrá siempre entre el 40-50%. Además, no hay puentes térmicos por la gran inercia térmica, lo que asegura la ausencia de moho potencialmente tóxico. El uso de materiales naturales asegura una baja cantidad de tóxicos. Adicionalmente, el hecho de que la calefacción de

la casa sea por radiación en lugar de aire asegura que no se levantará polvo, con lo que se evitarán afecciones respiratorias. Finalmente se deben nombrar las ventajas que aporta una radiación constante y bien repartida a bajas temperaturas por parte del suelo radiante: hay una baja ionización electrostática de partículas en suspensión y se reduce la prevalencia de enfermedades respiratorias leves (resfriados, etc.).

Medina Córdoba, L., Vélez Orrego, A.C. & Yucuma Hoyos, A. (2015). **DISEÑO DE HABITACIONES DE UN ECO-HOTEL EN EL MUNICIPIO DE NARIÑO ANTIOQUIA A PARTIR DE LA ESTRATEGIA: ACONDICIONAMIENTO TÉRMICO.** Conclusiones relevantes de la investigación:

- Comparando ambas temperaturas (la del Sensor ubicado en la entrada del tubo y la del Sensor ubicado a la salida) se observa que la temperatura de entrada fue la que obtuvo mayores variaciones frente a la temperatura del tubo de salida, la primera temperatura estuvo desde las 10 a.m. hasta la 1 p.m. al límite de los 35° C y entre las 12m y 12:30 m. subió a los 37.5° C, alcanzando el nivel más alto en temperatura, por el contrario la temperatura del tubo de salida fue bastante estable, pues se mantuvo entre los 25°y los 28°, debido a que el tubo al estar enterrado conservaba la estabilidad térmica del suelo.

Por otro lado, cuando subió la temperatura del sensor de la entrada, disminuyo la humedad del mismo, teniendo variaciones de 9 a.m. a 2 p.m., por el contrario, la temperatura del tubo de salida se mantuvo estable la humedad durante toda la medición, permaneciendo en un promedio de 19°, teniendo una diferencia entre ambos sensores de 15°.

- Comparación temperatura y humedad interna bahareque con pozo canadiense con ventilación cruzada y bahareque sin pozo canadiense con ventilación cruzada. El módulo de bahareque con pozo canadiense fue el que demostró una mayor eficiencia debido a que en la gran mayoría del tiempo en el que se tomó las pruebas para el estudio estuvo por debajo de la temperatura y la humedad con respecto al modelo de bahareque sin pozo canadiense y de la temperatura ambiente.

- Comparación temperatura y humedad interna porón con pozo canadiense con ventilación cruzada y porón sin pozo canadiense con ventilación cruzada. El modelo de porón con pozo canadiense fue el que demostró una mayor eficiencia debido a que en la mayor parte del tiempo estuvo por debajo la temperatura y la humedad del modelo de porón sin pozo canadiense y de la temperatura ambiente, sin embargo, desde las 1:30 p.m. hasta finalizando la tarde estuvo estable tanto la temperatura como la humedad en los dos módulos y en el ambiente interno. Al obtener una mayor eficiencia de los modelos con sistema de pozos canadienses, estos fueron comparados para evaluar cuál de los modelos tiene una mayor eficiencia según su materialidad.

- Comparación temperatura y humedad interna del modelo en bahareque con ventilación cruzada más pozo canadiense y temperatura ambiente. Se pudo deducir que la temperatura y la humedad dentro del modelo en bahareque fueron inferiores a la temperatura y humedad del ambiente exterior. Adicional a esto se evaluó la efectividad del bahareque con y sin pozos canadienses y de la temperatura ambiente con la carta psicrométrica la cual nos indica si los espacios son confortables o no.

- Comparación temperatura y humedad interna del modelo en bahareque con ventilación cruzada más pozo canadiense y carta psicrométrica. Se infirió que los modelos en bahareque fueron en su gran mayoría de tiempo confortables, pero el que tenía el sistema de pozos canadienses y ventilación cruzada se ubicó en todo momento en la zona de confort de acuerdo a la carta psicrométrica.

- Se hace necesario para próximas investigaciones indagar y profundizar en el cálculo exacto de las dimensiones de los tubos, tanto en la longitud como en el diámetro, de acuerdo a lo establecido por la metodología de Ana María Cabezas, ya que en la presente investigación se hizo a manera de esquema en concordancia con el diseño de la habitación. Variables:
 1. La temperatura de la tierra a la profundidad donde estará enterrados los tubos
 2. La temperatura de entrada y salida del aire en los tubos

3. Número de renovaciones del aire para el espacio
4. Humedad relativa de la zona específica.
5. Coeficiente de transmisión suelo/aire
6. Energía de intercambio
7. Pérdida de energía en el intercambiador

Peiretti, Agustina Sol (2017). **GEOTERMIA DE BAJA ENTALPIA EN SUELOS LOESSICOS: CASO DE ESTUDIO.** Conclusiones relevantes de la investigación:

- Como primer punto se puede señalar, la importancia de buscar nuevas tecnologías que pueden ser aplicadas con el fin de satisfacer necesidades de la sociedad y a su vez hacer uso de un recurso natural y renovable como lo es la energía geotérmica.
- El uso de energía geotérmica por medio de un sistema de tubos enterrados puede utilizarse en cualquier lugar del mundo, solo hay que conocer algunas características del lugar de emplazamiento y las características del suelo.
- A diferencia de las otras fuentes de energía, la geotermia ofrece un flujo constante y uniforme independientemente de variaciones estacionales ya sean lluvias, sol, viento, etc.
- Cabe destacar que los pozos provenzales/canadienses por sí solos resultan muy eficientes en la refrigeración en verano, haciendo que puedan sustituir perfectamente a los convencionales sistemas de aire acondicionado. La comparación del gasto de energía que tienen los pozos provenzales (un extractor de poco consumo cuando el sistema de extracción es mecánico) con los grandes costos que tienen los aires acondicionados, decantan claramente la balanza a favor de los primeros.
- En invierno, en cambio, los pozos pueden resultar insuficientes por si solos para aportar el calor necesario para la climatización de un edificio dependiendo de la latitud. Sin embargo, pueden ofrecer un importante precalentado del aire lo que supondrá un sustancial ahorro, ya que el salto térmico que tendrá que aportar el sistema de climatización artificial se verá reducido.

Seisdedos Sáez, Marco Antonio (2012). **CLIMATIZACIÓN DE EDIFICIOS POR MEDIO DEL INTERCAMBIO DE CALOR CON EL SUBSUELO Y AGUA SUBTERRÁNEA.** Conclusiones relevantes de la investigación:

- La implementación de sistemas geotérmicos es perfectamente factible desde un punto de vista técnico en la ciudad de Santiago.
- La geotermia para la climatización de edificios es una excelente herramienta, es una tecnología probada exhaustivamente a nivel mundial, que es rentable por sí misma y es factible de ser utilizada en prácticamente en todo el territorio nacional.

Díaz, Sergio Martín (Madrid, enero de 2018). **EL TERRENO COMO INTERCAMBIADOR, ENFRIAMIENTO PASIVO APLICADO A UN EDIFICIO DE NUEVA PLANTA.** Conclusiones relevantes de la investigación:

- El aspecto económico es el más limitante en cuanto a la utilización del sistema, en ciertos casos el coste de la instalación y del mantenimiento es mayor o igual que una instalación de ventilación convencional, por lo que por sencillez se recurre a lo que está más extendido. Este tipo de problemas se da principalmente en edificios que no prevean una ventilación mecánica, por lo que tendrían que introducir a mayores todos los aparatos relacionados con el sistema. En cambio, en edificios de uso terciario, industrial o vivienda unifamiliar en los que sí que haya ventilación mecánica o climatización todo aire es altamente recomendable el uso de un intercambiador de calor tierra-aire.
- También dentro del ámbito económico, para aquellos edificios que dispongan de sótanos o construcciones enterradas la instalación de estos sistemas resulta más económica. Cuando ya existe una previsión de movimiento de tierras la implantación del sistema supone una extensión de una partida de obra ya existente y no la creación de una nueva.
- La zona climática en la que se sitúe la instalación también afecta a la viabilidad de la instalación. En climas templados, como el español, el aire pretratado por los conductos con un ligero aporte de energía alcanza fácilmente la temperatura de confort, tanto en verano como en invierno. En zonas con temperaturas más extremas la utilización del terreno es claramente insuficiente y, aunque mejore significativamente las temperaturas exteriores de partida, es necesario un gran aporte de energía para alcanzar una temperatura adecuada. De este modo, la utilización del sistema es preferible en climas templados, donde en ciertos momentos puede ser suficiente para la climatización interior.

- Como ya se ha mencionado en el trabajo el terreno es el factor más limitante para realizar el intercambio térmico, por lo que es necesario realizar un estudio geológico para demostrar su viabilidad. Además, dentro de todos los tipos de terreno con los que podemos actuar son mejores aquellos que están húmedos o saturados de agua. Por lo que su situación bajo el nivel freático o en lugares donde la lluvia o el riego mantengan el terreno húmedo es una buena opción, siempre y cuando se garantice la estanqueidad del interior del conducto.
- Por último, el aspecto ambiental que ha sido el promotor del trabajo. Ha quedado perfectamente demostrado los beneficios que supone la utilización del intercambiador de calor tierra-aire, tanto térmicos como de reducción de consumo. Y a pesar de eso, en la inmensa mayoría edificios prima ante todo el factor económico, sin importar las consecuencias ambientales. Con los alarmantes datos de contaminación y falta de recursos, es necesario priorizar el aspecto ambiental por encima de cualquier otro. La legislación relativa al acondicionamiento de los edificios debe ser más exigente y no permitir que sea la economía la que marque que se puede o no hacer. De esta forma se cambiará la forma de proyectar, incluyendo los sistemas de acondicionamiento pasivos y sostenibles desde el inicio del proyecto y no acoplándolo en el último momento.

Vegas Barbado, Sandra (Valladolid, julio 2016). **ESTUDIO ENERGÉTICO DE UN RECUPERADOR DE ENERGÍA GEOTÉRMICA APLICADO A UN EDIFICIO UNIVERSITARIO.** Conclusiones relevantes de la investigación:

- El presente trabajo ha llevado a cabo distintos análisis de carácter tanto experimental como de simulación sobre la operación de un sistema de pre acondicionamiento del aire de ventilación basado en unos pozos canadienses (intercambiador tierra-aire).
- A partir de esta selección de parámetros, se han comparado los resultados del modelo de TRNSYS con medidas experimentales realizadas in situ en un edificio universitario. En todo caso, se observa que el modelo capta las tendencias en la temperatura de salida de los pozos de forma bastante satisfactoria, con diferencias máximas en torno a 1 C.

- Haciendo uso de este modelo, la simulación de un intercambiador tierra-aire en distintas zonas climáticas de la geografía española hace posible obtener conclusiones sobre cuáles son los lugares y qué condiciones deben darse para que estos sistemas puedan ser más eficientes y se obtenga un mayor aprovechamiento de su instalación.

Cabezas, Ana María (Barcelona, octubre 2012). **EFICIENCIA ENERGÉTICA ATRAVÉS DE UTILIZACIÓN DE POZOS CANADIENSES CON EL ANÁLISIS DE DATOS DE UN CASO REAL “CASA POMARET”**. Conclusiones relevantes de la investigación:

- Los datos almacenados de la monitorización fueron graficados, para poder visualizar la variabilidad de la temperatura. Obteniendo resultados en invierno, de temperaturas de hasta 27° C, entre las 14:00 y 16:00 horas. La mínima, se presenta en las primeras horas de la mañana, entre las 5:00 - 8:00 am, con una temperatura de 19° C. En el verano, el aumento de temperatura es mayor a los 28° C, entre las 16:00 – 20:00 horas, y con una temperatura mínima de 20° C a las 6:00 – 9:30 am. También, se observó picos de aumento de temperatura, que se asumen que son por la insolación directa del ventanal central, la porque esto no cuenta con protección en el momento y por la mala utilización de la calefacción, ventilación natural y pozos.
- Se logró determinar que la variación de la temperatura interior de la vivienda es influenciada de entre 1°C y 4°C al encender el pozo.
- La temperatura del aire que ingresa al pozo en invierno nunca fue menor a 16 ° C, por eso si se observó intercambio del calor con el subsuelo, logrando ingresar a la vivienda con una temperatura entre 17 ° C y 19° C. La transferencia de calor entre el pozo y el subsuelo fue entre 1 ° y 3 °C. El uso del pozo es nulo al ser la temperatura exterior menor a 16° C, porque el subsuelo se encuentra a 15° C, esto no permite un intercambio de calor correcto. En verano, el promedio la temperatura del aire que ingresa al pozo es de 24 ° C y sale entre 21° C. En verano, se percibe mejor la trasferencia del calor en el pozo. Si la temperatura exterior es mayor a 31° C en verano, el pozo no realiza ningún trabajo y más bien el aire que ingresa en la vivienda la recalienta.

- El uso del pozo tiene mayor influencia en verano, siempre y cuando sea accionado antes de alcanzar el máximo de temperatura interior y se ayude con ventilación natural. También se observó, que los pozos permiten mantener la temperatura interna constante, si la exterior no presenta una variación muy elevada. No se pudo conocer cómo actúa el pozo según las condiciones de humedad, por no contar con el registro de datos.
- La variabilidad de la temperatura interior de la vivienda con respecto al exterior, tanto para verano como para invierno, es muy baja. Más es admirable, que en verano el diseño de sombra, ventilación natural, aislamiento y uso de sistemas de tubos enterrados ve innecesario el uso de aire acondicionado, durante la época de verano. Por lo tanto, en verano es básico que el uso de tubos enterrado en conjunto con ventilación natural, y así alcanzar a ser agentes de climatización muy adecuados y que se usaron para llegar al confort total.
- Es de suma importancia que la calefacción no sea accionada en horas de media mañana y media tarde, para que la vivienda no se recaliente demasiado. Esto sucede, porque la vivienda fue diseñada para que el sol ayude a mantener su temperatura y disminuir el consumo de calefacción.

2.3.1 Instalaciones existentes de almacenamiento Térmico en la actualidad

En la actualidad, existen miles de instalaciones con almacenamiento térmico en la corteza terrestre para aumento del rendimiento del sistema de climatización. En la Tabla siguiente son mostradas las principales instalaciones existentes y sus características más destacadas (Domínguez, 2011).

INSTALACIÓN	AÑO	TIPO DE INSTALACIÓN	CARACTERÍSTICAS
Polideportivo de Alfaro (La Rioja, España)	-	Circuito cerrado, Red vertical	60 kW para suministro de ACS.
Hotel Moderno de Alfaro (La Rioja, España)	-	Circuito cerrado, Red vertical	Instalación de 75 kW de almacenamiento térmico.
Colegio en Wahpeton, North Dakota (EE.UU.)	1988	Circuito cerrado, Red vertical	286 perforaciones, área utilizada de 17 km ² . Instalación 418 000 \$.
Little Red School House,	1992	Circuito cerrado, Red	560 perforaciones de 15 metros de profundidad.

Onamia (Minnesota, EE.UU.)		vertical	110 907 MJ/año de energía térmica transferida al terreno.
Mc Donald's Pensacola, Florida (EE.UU.)	-	Circuito cerrado, Red vertical	55 perforaciones de 105 metros de profundidad.
The Neft Elementary school, Lancaster (Pennsylvania)	1995-96	Circuito cerrado, Red vertical	Intercambiador geotérmico de 140 perforaciones de 87 metros de profundidad y una capacidad de almacenamiento de 1.3 MW térmicos. Ahorro anual: 37 000 \$.
Cameron Middle School, Cameron (Missouri)	1992	Circuito cerrado, Red vertical	En la actualidad cuenta con una bomba de calor geotérmica con 257 perforaciones, ahorrando anualmente 20 000 \$.

Tabla N°2: Instalaciones existentes en la actualidad

Fuente: (Domínguez, 2011)

Seguidamente se realiza la descripción de diferentes instalaciones de almacenamiento térmico, en configuración de circuito cerrado, de las que se dispone de más cantidad de información. De modo general, de cada instalación se indica: una descripción de la instalación, su modo de operación y los datos de operación más relevantes, (Domínguez, 2011).

▪ Edificio de oficinas en Santander.

Esta obra está destinada a un edificio de oficinas en el Parque Científico y Tecnológico de Cantabria, en Santander. Las necesidades de climatización del edificio se ubican alrededor de unos valores de potencia para calefacción de 130 kW y para refrigeración de 106 kW, siendo el tiempo anual de funcionamiento de 1 170 horas y 769 horas, respectivamente. En cuanto a la captación, se utilizan sondas en doble U de 32 milímetros de diámetro, de polietileno de alta densidad de 16 atm. La conductividad térmica de la zona, determinada según datos bibliográficos, alcanza un valor medio de 2,2 W/(m·K) para este tipo de rocas, lo que supone un campo de captación de 17 sondeos

de 120 metros para cubrir la demanda del edificio. Esto ofrece una ratio de extracción de 63 W/m para calefacción y 52 W/m para refrigeración. La configuración final proyectada se reduce a 13 sondeos de 120 metros de profundidad (Domínguez, 2011).

- **Hotel en Sanxenxo.**

El edificio destinado a Apartamentos turísticos tiene una superficie aproximada de 1000m² dividida en tres plantas y 13 apartamentos, en los cuales se ha instalado un sistema de climatización mediante fan-coils a 2 tubos, distribuidos en cada apartamento y zonas comunes. Los datos de demanda térmica para el edificio son: 125.114,45 MJ/año para ACS, 285.473,06 MJ/año para calefacción y 63.418,98 MJ/año para refrigeración. La instalación cuenta con una bomba de calor condensada por agua para climatización con una potencia calorífica y frigorífica de 52.7 kW y 45.6 kW, respectivamente, y para cubrir la demanda de ACS una potencia calorífica de 23.2 kW. Durante la perforación de los últimos pozos, se hizo imposible llegar a las cotas de profundidad proyectadas debido a los elevados caudales surgentes de aguas subterráneas. Para solucionar este problema se procedió al replanteo in situ de la profundidad de estos pozos y compensación de la energía captada en esos metros con un nuevo sondeo. Finalmente se ejecutaron 14 sondeos, nueve de ellos de 90 metros y cinco de 65 metros (Domínguez, 2011).

- **Colegio Richard Stockton en New Jersey.**

Este colegio cuenta con una de las instalaciones de tubos enterrados, de lazo cerrado en configuración vertical, más larga existente en el mundo para sistemas de climatización. La capacidad térmica de almacenamiento instalada supera los 6 MW para un proyecto diseñado con 400 pozos de 130 metros de profundidad. La superficie en planta ocupada es de 3.5 hectáreas, estando localizado en su mayoría bajo el aparcamiento de coches, lo que da lugar a un menor impacto en el desarrollo normal de las actividades del campus. En cuanto a la distribución de las perforaciones cabe destacar que son de 31 milímetros de diámetro ocupadas por un tubo en U de polietileno de alta densidad (Domínguez, 2011).

- **Daniel Boone High School, Tennessee (Washington County).**

Inicialmente contaba con un sistema tradicional de refrigeración y una caldera de gas natural y resistencias eléctricas adicionales para la generación térmica. Desde 1992 se instaló una bomba de calor geotérmica en configuración en lazo cerrado de red vertical de tubos en U, con 257 perforaciones, llevándose a cabo un ahorro monetario anual alrededor de los 20 000\$, respecto de la situación inicial. El sistema cuenta con bombas de calor situadas en los distintos locales de manera que, en invierno el agua que circula por los tubos absorbe la energía térmica del terreno, mientras que en verano sucede lo contrario (Domínguez, 2011).

- **Edificio de viviendas en Morella, Castellón.**

Ha sido implantado en un edificio residencial de Morella (Castellón) un sistema de climatización geotérmica. Esta instalación dota de calefacción y agua caliente a un edificio que consta de un local comercial, tres viviendas y un altillo. La instalación cuenta con tres perforaciones de 100 metros cada una por las que discurre una tubería simple U de polietileno de alta densidad PN SDR 11 de 40 milímetros de diámetro. La separación entre perforaciones es de seis metros y medio. Cuenta con una bomba de calor agua-agua de 26.3 kW térmicos. Con la introducción de la bomba de calor geotérmica se ha conseguido un ahorro de 800 euros al año, respecto de la situación convencional (Domínguez, 2011).

- **Veinticuatro viviendas unifamiliares en Tudela, Navarra.**

Las viviendas expuestas son edificios de tres plantas más sótano. Cada una posee 130m² climatizados y existen dos configuraciones diferentes de vivienda, en función de su orientación: norte o sur. La instalación geotermia se encuentra equipada con dos bombas de calor geotérmicas, una de 40 kW trabajando como maestra, y otra de 20 kW, trabajando como esclava. Estos equipos cuentan con COP superior a 5 en algunos casos. El campo de captación geotérmico proyectado fue de diez sondeos verticales de 100 metros de profundidad, cada uno de ellos equipados con sondas doble U y separados

una distancia aproximada de 7 metros, ubicados en el garaje mancomunado de las viviendas (Domínguez, 2011).

En resumen, la Unión Europea es una de las principales potencias del mundo en el desarrollo de las bombas de calor geotérmicas, estimándose su instalación en más de 455 000 unidades que, traducido a energía primaria, representa unas 580 000 tep. Suecia, con más de 220 115 unidades y una potencia acumulada de 2 016.9 MWt es el primer país de Europa en la utilización de estas aplicaciones. Le siguen Alemania y Francia a mucha distancia, tanto en número de instalaciones como en lo referente a la potencia de las mismas. La Unión Europea cuenta con 150 MW térmicos instalados en nuestro país. Las instalaciones existentes en la actualidad en la Unión Europea están cuantificadas en la Figura (Domínguez, 2011).

BOMBAS DE CALOR GEOTÉRMICAS EN LA UNIÓN EUROPEA (AÑO 2005)		
	Nº de unidades	Capacidad total (MW)
SUECIA	220.115	2.016,9
ALEMANIA	61.912	804,8
FRANCIA	67.820	746
AUSTRIA	35.847	716,1
FINLANDIA	33.500	335
PAÍSES BAJOS	1.600	235,5
ITALIA	6.000	120
POLONIA	8.100	104,9
DINAMARCA	6.700	80,4
BÉLGICA	5.000	60
REPÚBLICA CHECA	3.727	61
IRLANDA	1.500	19,6
ESTONIA	2.190	20,7
LITUANIA	4	13,6
REINO UNIDO	550	10,2
GRECIA	319	4
HUNGRÍA	230	6,5
ESLOVENIA	300	3,4
ESLOVAQUIA	10	1,6
PORTUGAL	1	0,2
LETONIA	10	0,2
TOTAL UNIÓN EUROPEA	455.435	5.379

Tabla N°3: Bombas de calor Geotérmico en la unión europea
Fuente: (Domínguez, 2011)

2.3.2 Potencial Geotérmico Nacional

La energía geotérmica es un recurso benigno y renovable, que va de acuerdo con el control del medio ambiente y que asegura una buena conservación del mismo (Córdova, 2007). Y en nuestro país; nuestros ancestros no han sido ajenos a usar antiguamente esta energía para múltiples usos en sus vidas diarias, existen evidencias del uso de la energía geotérmica de aquella época en nuestra actualidad. A continuación, podemos citar algunos de los más representativos:

Cajamarca:

El Canal de Cumbemayo: El canal Cumbemayo es parte de una de las obras hidráulicas más importantes de la época pre inca. El canal se encuentra a 3 600 msnm, a 7.5 km de la ciudad de Cajamarca. Se alimenta de aguas pluviales almacenadas en las laderas occidentales cordilleranas (Wikipedia).



Figura A: El canal Cumbemayo

Fuente: Internet

Ventanillas de Otuzco: Se trata de un cementerio construido, A una altura de 2850 metros sobre el nivel del mar y hubiera sido construida en los primeros siglos de nuestra era. Es Considerado Patrimonio Cultural del Perú (Wikipedia).



Figura B: Ventanillas de Otuzco
Fuente: Internet

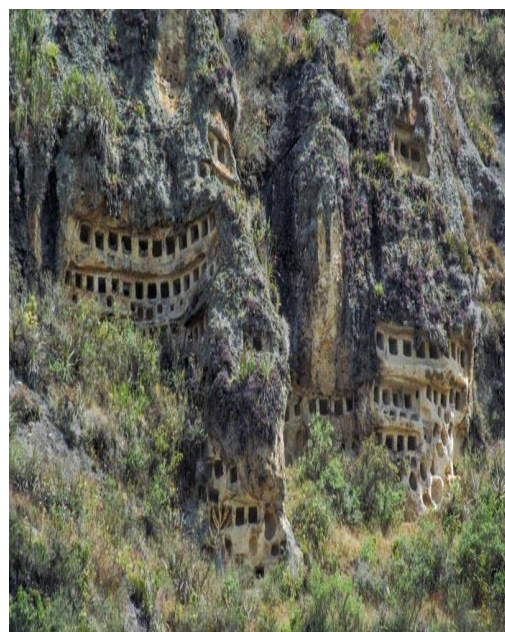
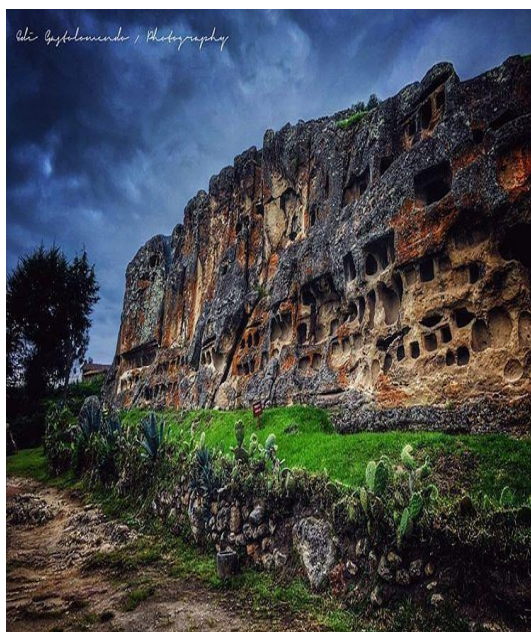


Figura B: Ventanillas de Otuzco
Fuente: Internet

Huaraz:

Templo de chavín de Huántar: Fue el centro administrativo y religioso de la cultura chavín, construido y ocupado aproximadamente entre los años 1500 y 300 a. C. (Wikipedia).

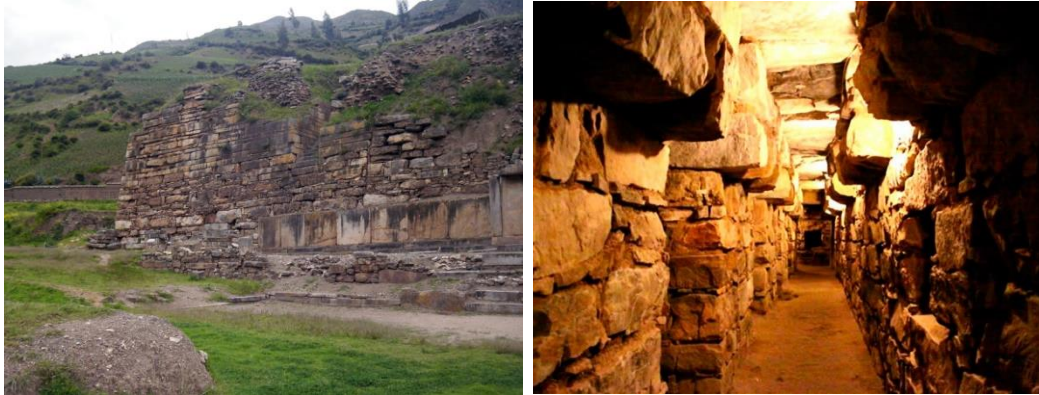


Figura C: Templo de Chavín de Huántar

Fuente: Internet

Cuzco:

Machu Picchu: [ˌmotʃu ˈpiktʃu] en quechua, «de la Vieja Montaña») es el nombre contemporáneo que se da a una llaqta —antiguo poblado incaico andino— construida antes del siglo XV, ubicada en la Cordillera Oriental del sur de Perú, en la cadena montañosa de Los Andes a 2430 m.s.n.m. Machu Picchu es considerada, al mismo tiempo, una obra maestra de la arquitectura y la ingeniería (Wikipedia).



Figura D: Machu Picchu

Fuente: Internet

El aprovechamiento de este recurso permitirá tener una fuente más de generación de energía que favorecerá al desarrollo de diversas regiones de extrema pobreza. La energía geotérmica se puede aplicar en la industria, comercio y el sector domiciliario, para la generación de electricidad o el calentamiento de agua y calefacción de ambientes (Córdova, 2007).

Además, se han realizado los siguientes avances en lo que corresponde al aprovechamiento de la energía geotérmica:

- En 1975, la empresa estatal MINERO PERU efectuó estudios de exploración preliminar de las manifestaciones geotermales de Calacoa y Salinas en Moquegua (Córdova, 2007).
- En 1976, Geothermal Energy Research del Japón, efectuó trabajos de exploraciones preliminares en la cuenca del Vilcanota en Cusco (Córdova, 2007).
- En 1977, el INIE efectuó el primer censo de manifestaciones geotermales (Córdova, 2007).
- En 1978, el INGEMMET elaboró un inventario y agrupación geográfica de afloramientos geotermales, se identificaron las siguientes regiones geotérmicas en: Cajamarca, Huaraz, Churín, Central, Cadena de conos volcánicos, Puno y Cusco (Córdova, 2007).
- Con la iniciativa del Ministerio de Energía y Minas y el apoyo de la Cooperación Técnica Italiana (CTI) en la década de los ochenta se contrató a la empresa consultora CENERGIA para estudios preliminares de los recursos geotérmicos en nuestro país (Córdova, 2007).
- En 1979-1980, INGEMMET y AQUATER de Italia efectuaron estudios de reconocimiento geotérmico de la Región V, identificando las áreas de interés Tutupaca, Calacoa, Challapalca, Salinas, Chachani y Chivay (Córdova, 2007).

- En 1980, Geothermal Energy System Ltd. hizo estudios de reconocimiento geotérmico de las zonas de Calacoa, Tutupaca y las Salinas en Moquegua (Córdova, 2007).
- En el año 1986, ELECTROPERÚ con asistencia técnica de la Organización Internacional de Energía Atómica (OIEA) y las Naciones Unidas realizaron investigaciones geoquímicas en la Región V, entre Tacna y Moquegua (Córdova, 2007).
- En 1997, CENERGÍA con el apoyo del IIE de México efectuó la evaluación de la información, estudios disponibles, realizados por INGEMMET, ELECTROPERU, CENERGÍA, Proyecto Especial Tacna, IPEN y la Cooperación Internacional (Córdova, 2007).

El Perú tiene 186 zonas geotérmicas identificadas (39% en Sudamérica). El territorio peruano forma parte del denominado Círculo de Fuego del Pacífico, caracterizado por la ocurrencia de movimientos sísmicos, fenómenos tectónicos y elevada concentración de flujo tectónico. En el país se han reconocido más de doscientas vertientes de agua caliente, así como fumarolas y algunos geysers. Según los estudios realizados, de acuerdo a la temperatura, las mejores perspectivas de aprovechamiento geotérmico para generación eléctrica se ubican por el momento en la Región V, Conos Volcánicos y la Región II, Callejón de Huaylas (Córdova, 2007).

2.4. Bases Teóricas

Geotermia

Es una palabra de origen griego que se deriva de “geos” que quiere decir tierra, y de “thermos” que significa calor: el calor de la Tierra. Se emplea indistintamente para designar tanto a la ciencia que estudia los fenómenos térmicos internos del planeta como al conjunto de procesos industriales que intentan explotar ese calor para producir energía eléctrica y/o calor útil al ser humano (Seisdedos, 2012).

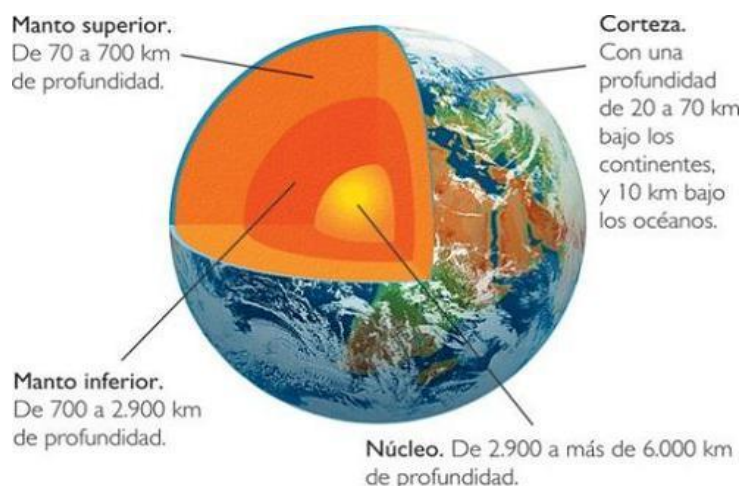


Figura N°16: Estructura interna de la tierra.

Fuente: Internet

El calor es una forma de energía, y la energía geotérmica es, literalmente, el calor contenido en el interior de la tierra, la cual genera un fenómeno geológico a escala planetaria (Santilli, 2014).

La valoración de recursos geotérmicos puede definirse como la estimación de recursos de energía geotérmica que pueden llegar a estar disponibles para ser utilizados, dadas determinadas suposiciones razonables sobre tecnología, economía, política, y contrastes ambientales. Esta valoración implica no únicamente determinar cómo está distribuida, sino también cuanta de esta energía puede ser extraída para ser utilizada por el hombre. El recurso propiamente dicho, es la energía térmica ubicada a profundidades que sean lo suficientemente someras como para poder acceder a ellas mediante perforaciones de manera tecnológica, legal y económicamente viables; sin contaminar en medio ambiente (Santilli, 2014).

Debido a que la preocupación sobre el impacto que tienen las actividades humanas sobre el ambiente ha crecido, es que hay un aumento en el foco que se hace en el papel que juegan las energías de fuentes renovables para proveer energía limpia. La energía geotérmica es una de las mejores alternativas a las energías de fuentes tradicionales, debido a que es renovable, una fuente energética casi infinita y es independiente de las fluctuaciones estacionales o las condiciones climáticas (Santilli, 2014).

2.4.1 Clasificación de la energía geotérmica

Por su temperatura o entalpía la energía geotérmica se puede clasificar de la siguiente manera:

Tipo de Yacimiento	Rango de temperatura (°C)	Uso principal	Tecnología
Muy baja entalpía	5 a 25	Climatización	Bomba de calor
Baja entalpía	25 a 100	Balnearios, climatización	Bomba de calor, uso directo
Media entalpía	100 a 150	Electricidad	Ciclo binario
Alta entalpía	mayor a 150	Electricidad	Ciclo binario, uso directo

Tabla N° 4: Clasificación de la energía Geotérmica

Fuente: Santilli, 2014

La entalpía, la cual puede ser considerada más o menos proporcional a la temperatura, es utilizada para expresar el calor (energía térmica) contenido en los fluidos, y da una idea aproximada de su valor (Santilli, 2014).

Según la Real Academia Española, la entalpía es una magnitud termodinámica de un cuerpo, igual a la suma de su energía interna más el producto de su volumen por la presión exterior (RAE, 2014). Además, se la puede expresar como la cantidad de energía térmica que un fluido, o un objeto, puede intercambiar con su entorno. (Santilli, 2014).

Debido a que no existen aparatos que determinen directamente la entalpía de un fluido en el subsuelo, pero si existen sondas térmicas que miden la temperatura,

y como la entalpía y la temperatura pueden considerarse, más o menos, proporcionales, la práctica habitual ha generalizado el empleo de las temperaturas de los fluidos geotermales en lugar de su contenido calorífico, pues, al fin y al cabo, son las temperaturas las que determinan su futura aplicación industrial. El uso directo del calor, es una de las más viejas, versátiles y comunes formas de uso de la energía geotérmica. Hay varios usos, actuales y futuros, para esta energía alrededor del mundo, algunos de ellos son el calentamiento de ambientes y comunas enteras, aplicaciones en agricultura, acuicultura y usos industriales. Muchos de los conceptos relacionados con la energía geotérmica, corresponden a la energía geotérmica de alta entalpía, debido a que esta es la más conocida, y por ende aprovechada, a nivel mundial. A continuación, se describe la misma a fines de terminar de comprender el concepto de energía geotérmica y poder discriminar entre las dos grandes clasificaciones (y usos): alta y baja entalpía, y finalmente dedicarnos íntegramente a las investigaciones realizadas, las cuales corresponden a la rama de la geotermia de muy baja entalpía (Santilli, 2014).

2.4.2 Alta entalpía

En algunas zonas del planeta podemos encontrar (con relativa facilidad y dependiendo de la topografía) que esta energía calórica afecta a grandes volúmenes de suelo o napas de agua. En algunos casos el agua entra en ebullición y encuentra escape a la superficie como grandes chorros de vapor. En otros casos el calor está almacenado en la tierra y las piedras, y para extraerlo se inyectan toneladas de agua que se evaporan y vuelven a la superficie con un gran nivel energético (Santilli, 2014).

La zona geotérmica es una definición geográfica, que usualmente indica un área con actividad geotermal en la superficie terrestre. En casos sin actividad superficial, este término se puede utilizar para indicar el área de la superficie que corresponde al reservorio geotermal que se encuentra debajo. La presencia de volcanes, aguas termales, y otros fenómenos térmicos deben haberles dado la pauta a nuestros ancestros que ciertas zonas del interior de la tierra eran calientes. Sin embargo, no fue hasta un período entre los siglos XVI y XVII, cuando las primeras minas fueron excavadas a unos pocos cientos de metros debajo del nivel del suelo, que el hombre dedujo, por una simple sensación física, que la temperatura de la tierra incrementaba con la profundidad. Las

primeras medidas con termómetro fueron realizadas en el año 1740, pero recién en el siglo XX, con la comprensión del papel que juega el calor radiológico, se pudo entender completamente el fenómeno del balance de calor y la historia térmica de la tierra (Santilli, 2014).

Continuamente se genera calor por el decaimiento de los longevos isotopos radioactivos de Uranio (U^{238} , U^{235}), Torio (Th^{232}) y Potasio (K^{40}), presentes en la tierra. Además del calor radiológico, en proporciones inciertas, se encuentran otras fuentes potenciales de calor, como es la energía primordial existente desde la formación del planeta tierra. En la década de 1980 se demostró que no hay un equilibrio entre el calor radiológico generado en el interior de la tierra y el calor disipado al espacio desde la tierra, y que nuestro planeta se está enfriando muy lentamente ($350\text{ }^{\circ}\text{C}$ en tres billones de años, permaneciendo en $4000\text{ }^{\circ}\text{C}$). Teniendo en cuenta un promedio de temperatura asumida para la superficie, de $15\text{ }^{\circ}\text{C}$, la tierra posee una cantidad de energía correspondiente a los $12,6 \times 10^{24}$ MJ, de los cuales hay $5,4 \times 10^{21}$ MJ en la corteza. Dicho esto, la energía térmica de la tierra es inmensa, pero solo una porción puede ser utilizada por el hombre, al menos hoy en día. Hasta ahora el uso que le damos a esta energía ha sido limitado a áreas donde las condiciones geológicas permiten el uso de un portador (agua en fase líquida o vapor) para transferir el calor desde las zonas profundas y calientes hasta la superficie o cerca de ella, permitiendo de esta manera que la energía geotérmica sea un recurso (Dickson, 2004).

El recurso geotérmico de alta entalpía se puede aprovechar por utilización directa del calor para calefaccionar, o por medio de la generación de electricidad a partir del uso del vapor en turbinas. En el caso de la generación de energía eléctrica, las instalaciones son similares a las de las centrales térmicas, la diferencia es que el vapor no se genera quemando derivados del carbón, petróleo o gas, sino que se obtiene directamente de la energía geotérmica. Para poder considerar al recurso geotérmico como una fuente de característica renovable la extracción nunca debe superar el valor de la recarga natural de agua que alimenta el acuífero (Santilli, 2014).

Un uso sustentable requiere un manejo eficiente con el fin de evitar una sobreexplotación, la cual suele suceder cuando hay falta de conocimientos y un

bajo nivel de comprensión, así como en situaciones cuando hay varios usuarios utilizando el mismo recurso, sin un manejo en común. Realizar un uso eficiente de la energía disponible, así como un cuidadoso monitoreo y modelización, son ingredientes esenciales en un manejo sustentable. La reinyección del agua extraída como vapor, es algo esencial para un aprovechamiento sustentable de los sistemas geotérmicos, los cuales son virtualmente cerrados y con una recarga limitada, y la misma permite mantener el agua y por ende la presión del reservorio en niveles adecuados (Santilli, 2014).

Existe en la actualidad un creciente interés en la exploración y el desarrollo de nuevas plantas de generación de electricidad basadas en este tipo de energía. Las principales ventajas de la explotación de este tipo de energía son (Santilli, 2014):

- Ahorro en el uso de combustibles fósiles
- Produce 1/6 de emanaciones de CO₂/kWh en relación a una central térmica a gas natural
- Es una fuente inagotable de energía (en la escala temporal de la humanidad)
- No provoca contaminación ambiental
- Produce mínimo impacto visual y auditivo
- Se traduce en enormes cantidades de energía eléctrica
- La inversión necesaria es relativamente baja
- No tiene ciclos de actividad y reposo, como ocurre con la energía eólica o solar

2.4.3 Muy baja entalpía

En esta categoría se encuentra el foco del presente proyecto de investigación, de ahora en adelante al hablar de energía geotérmica se estará refiriendo a energía geotérmica de muy baja entalpía. La temperatura dentro de los primeros metros debajo de la superficie del suelo, suele estar alrededor de los 15°C, y en promedio corresponde a la temperatura media ambiental (Dickson, 2004).

Esta energía térmica, ubicada a pocos metros debajo de la superficie del suelo, tiene el potencial de ser utilizada como energía geotérmica, inclusive si esta se

encuentra solo aproximadamente entre 3 a 15 °C. Este sistema está basado en la estabilidad térmica del suelo a pequeñas profundidades (el límite suele estar a los 400 metros de profundidad). En la mayoría de los casos se requiere una bomba de calor, la cual ayuda a aumentar o disminuir la temperatura según lo requiera el sistema, y se puede tanto proveer calor como refrigeración (Santilli, 2014).

Prácticamente la totalidad de la corteza terrestre del planeta constituye un extenso yacimiento de recursos geotérmicos de muy baja temperatura o entalpía, que se ve interrumpido por la presencia de masas de agua continentales o marinas. Debido a que el terreno sirve, por así decirlo, de acumulador de energía solar, la energía geotérmica propiamente dicha no reviste más que un papel secundario pero importante (Santilli, 2014).

Otro término que se puede encontrar en la literatura y en páginas web relacionadas es el de geotermia solar. Este término se usa para definir la geotermia de baja entalpía debido a que es el sol el que calienta la capa terrestre (Santilli, 2014).

Las propiedades térmicas del suelo hacen que las variaciones diurnas de la temperatura no penetren más allá de 0.5 m, pero las variaciones anuales de temperatura llegan hasta una profundidad de unos 2 m aproximadamente. Más allá de estas profundidades, la temperatura de la tierra se mantiene constante todo el año, y la misma es muy cercana a la temperatura de confort (Santilli, 2014).

La aplicación más común que se le da a la energía geotérmica en la agricultura, es para el calentamiento de invernaderos. El cultivo de vegetales y flores fuera de estación, o en un clima que no es similar a su clima natural, ahora puede realizarse gracias a una amplia y experimentada tecnología. La utilización de la energía calórica geotérmica en el calentamiento de invernaderos, obteniendo la temperatura óptima de crecimiento, puede reducir considerablemente los costos de operación, los cuales en algunos casos corresponden al 35% del costo del producto (vegetales, flores, plantas domésticas y plántulas de árboles) (Dickson, 2004).

Sin embargo, la competencia en el sector energético puede ser considerada bastante injusta con los combustibles fósiles aun recibiendo subsidios, y es requerido apoyo financiero en este mercado emergente. Además de climatizar hogares, invernaderos, edificios residenciales, industriales y comerciales, esta

energía se puede aprovechar para acuicultura, crianza de animales, secado de alimentos y maderas, descongelar caminos, entre otros (en Santilli, 2014).

Con sistemas muy simples y de una estructura adecuada, es posible aprovechar el potencial de este reservorio térmico para construir un acondicionador de aire natural, haciendo circular aire a través de tubos enterrados, antes de llegar al interior del ambiente a climatizar, reduciendo de esta manera el uso de energía convencional y las emisiones de gases de efecto de invernadero, generando ambientes confortables térmicamente tanto en invierno (calefacción) como en verano (enfriamiento). Además de las ventajas ambientales, su utilización puede ser un aporte interesante para disminuir nuestras importaciones de energía y preservar nuestros recursos naturales. La implementación de medidas de eficiencia energética podría reducir y hasta eliminar la necesidad de importar gas, generando un importante desarrollo industrial en el país, con la generación de empleos (Santilli, 2014).

Si hacemos un estudio de la temperatura que tiene el subsuelo a medida que profundizamos en diferentes épocas del año, obtendremos un gráfico como el de la figura N°17. En él observamos cuatro curvas (Girodgeotermia, 2008):

- **Azul:** En invierno, a medida que profundizamos, la temperatura va aumentando hasta alcanzar un valor fijo de 10 °C.
- **Roja:** En verano ocurre lo contrario; a medida que profundizamos la temperatura desciende hasta los 10 °C.
- **Verde y amarilla:** En primavera y otoño las variaciones son menores, llegándose a alcanzar, en profundidad, el mismo valor de 10 °C.

A continuación, se observa el esquema Temperatura del suelo en función de la profundidad:

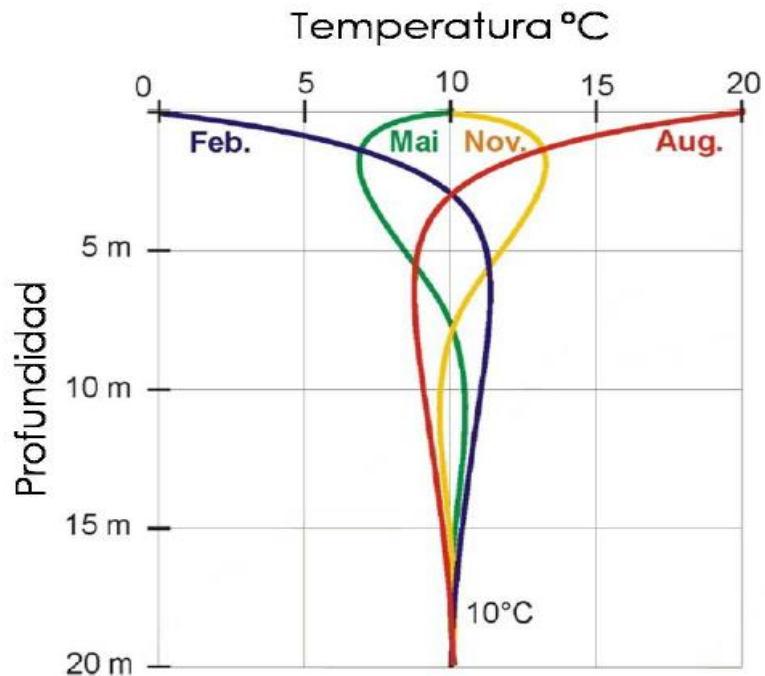


Figura N°17: Temperatura del suelo en función de la profundidad
Fuente: (Girodgeotermia, 2008)

Este hecho es sumamente importante porque quiere decir que, a partir de una determinada profundidad, la temperatura del subsuelo es constante, e independiente de la estación anual en la que nos encontremos y por supuesto, independiente de la hora del día o de la noche. Disponemos por ello, a unos pocos metros de nosotros, de una fuente de energía constante a lo largo de todo el año y accesible en todos los lugares (Girodgeotermia, 2008).

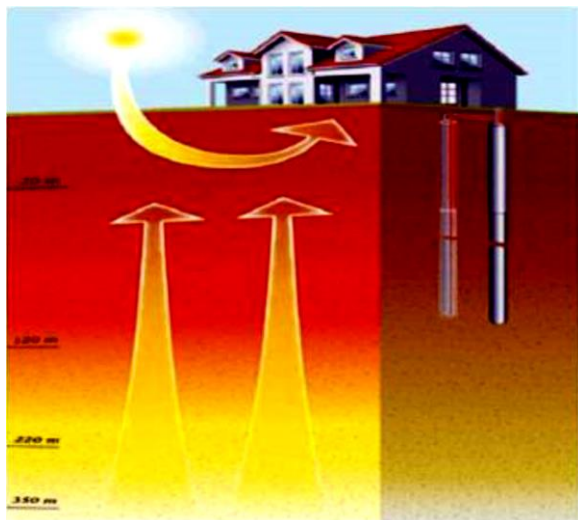


Figura N°18: Procedencia de la energía geotérmica de muy baja entalpia
Fuente: (Girodgeotermia, 2008)

Tal como se observa en la imagen anterior (figura 18), existen dos grandes fuentes de energía calórica que mantienen dicha temperatura constante, una de ellas es la energía procedente del sol, la cual aporta $1,74 \times 10^{17} \text{ J/(m}^2\text{s)}$, y la otra es la energía terrestre (desintegración isotópica, calor inicial de la formación del planeta tierra, movimientos diferenciales) que aportan $4,2 \times 10^{12} \text{ J/(m}^2\text{s)}$. A medida que se profundice, mayor importancia adquiere la energía procedente del interior de la tierra. Además, la humedad aportada al terreno aumentará su capacidad de conducción térmica, favoreciendo el intercambio entre captadores y terreno (Girodgeotermia, 2008).

Los mecanismos por los que se propaga el calor en cualquier medio son (Santilli, 2014):

- **Conducción:** es la transferencia de calor a través de un medio por interacción entre partículas adyacentes. Puede tener lugar en sólidos, líquidos y gases, aunque suele ser característica de los sólidos, puesto que en gases y líquidos siempre se producirá convección simultáneamente (Santilli, 2014).
- **Convección:** es el modo por el que se transfiere la energía térmica entre una superficie sólida y un fluido adyacente (líquido o gas). Comprende los efectos combinados de la conducción y el movimiento del fluido provocado por las diferencias de densidad del mismo. Las partículas más calientes del fluido y, por tanto, menos densas, ascienden, desplazando a las más frías, que se hunden por gravedad, dado que son más densas, y éstas, posteriormente, al calentarse, son empujadas otra vez hacia arriba. Cuanto más rápido es el movimiento del fluido, mayor es la transferencia de calor por convección (Santilli, 2014).
- **Radiación:** es la emisión de energía en forma de ondas electromagnéticas, como resultado de cambios en las configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas. Radiación térmica es la radiación emitida por los cuerpos debido a su temperatura. Todos los materiales a temperatura superior al cero absoluto emiten radiación térmica. Los más calientes radian más que los más fríos. Cuando radiación electromagnética choca con un material, sus moléculas se mueven más deprisa, calentando el material (Santilli, 2014).

2.4.4 Captación de la energía geotérmica de baja entalpía

Al momento ya sabemos que disponemos de una fuente de energía renovable, al alcance de todos y durante todo el año. Una de las formas de aprovecharla es gracias a la colocación en el terreno de unos captadores de energía por los cuales circulará un fluido (líquido o gaseoso), normalmente agua con anticongelante, que, al ponerse en contacto con el subsuelo, captarán o cederán energía como consecuencia de una diferencia de temperatura entre el fluido y el terreno (Girodgeotermia, 2008). Algunos de los sistemas empleados en la captación de la energía geotérmica son los siguientes (Santilli, 2014):

2.4.5 Captación vertical

Consiste en la ejecución de una o varias perforaciones en las cuales se introducirán los captadores de energía. Su longitud varía entre los 50 m aproximadamente hasta los 200 m. Tienen la ventaja de que ocupan poco espacio y proporcionan una gran estabilidad de las temperaturas. Por el contrario, su ejecución es más cara que otros sistemas de captación (Girodgeotermia, 2008).

2.4.6 Captación horizontal

La captación horizontal consiste en la ejecución de una serie de zanjas en las cuales se colocan los colectores de energía. Su profundidad está comprendida entre los 0,6 m a 1,5 m aproximadamente. Se trata de un sistema más económico que las perforaciones que sin embargo presenta el inconveniente de requerir bastante superficie de terreno, sobre el cual no se podrán plantar árboles de profundas raíces que puedan romper en un futuro los captadores energéticos ni construir plataformas o soleras (Girodgeotermia, 2008).



Figura N°19: A la izquierda, método de captación vertical, a la derecha, captación horizontal

Fuente: (Girodgeotermia, 2008)

2.5 Pozos canadienses o provenzales

Este sistema se puede definir como un intercambiador energético aire-tierra. El mismo consta básicamente de un tubo que tiene una salida al interior del ambiente a climatizar y otra al exterior. Este tubo se encuentra enterrado, en contacto con la tierra, con lo cual se extrae aire desde el exterior, haciéndolo pasar por el largo del tubo, calentando o enfriándolo dependiendo del período, por ende, de la diferencia de temperatura, para luego inyectarlo en el ambiente objetivo (Santilli, 2014).

En Provenza, Francia, se utilizaba este método para refrigerar las casas, al ingresar, de manera forzada, el aire exterior dentro de túneles, los cuales se encontraban a una temperatura inferior y luego ingresar en el ambiente a climatizar. El mismo método se utilizaba en Canadá, pero con el fin inverso, es decir, calefaccionar el ambiente, cuando el aire exterior se encontraba a una temperatura inferior a la de las tuberías o túneles construidos bajo la superficie del suelo; y de allí proviene su denominación (Santilli, 2014).

Dicho lo anterior, este sistema se puede utilizar también durante todo el año, para calefaccionar en invierno y para refrigerar en verano, siempre y cuando haya un diferencial de temperatura entre el ambiente externo y el sistema subterráneo de intercambio energético.

2.5.1 Concepto

El “pozo canadiense” es sencillamente un intercambiador tierra-aire, que utiliza el subsuelo para el calentamiento y enfriamiento de una corriente de aire que circula a través de tubos enterrados para tal propósito contribuyendo a aumentar la temperatura del aire que ingresa en los edificios en invierno, y reduciéndola en verano (Knie & Belmonte & Berthomieu & Madrid, 2010).

Este sistema permite compensar de manera notable la pérdida de calor inducida por los caudales de ventilación impuestos por el CTE. En verano, permite reducir la temperatura máxima en algunos grados. El sistema debe ser desactivado durante las temporadas medias, con el fin de no enfriar la casa de manera indeseada (Knie & Belmonte & Berthomieu & Madrid, 2010).

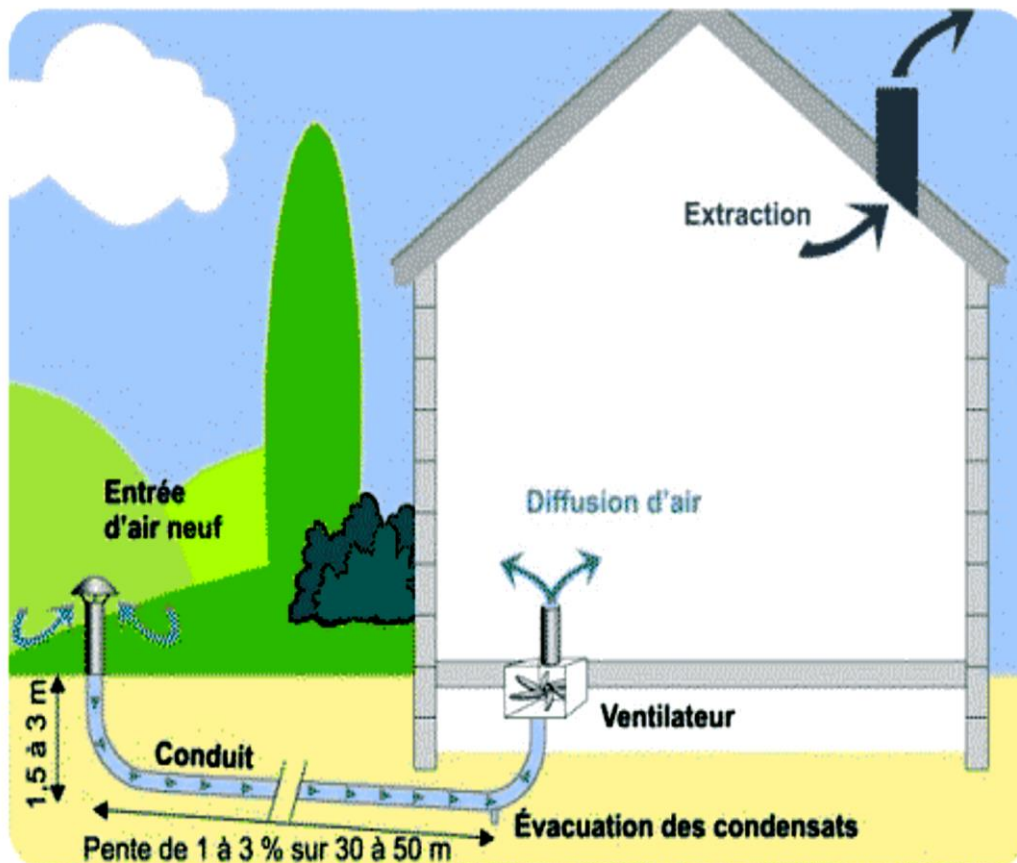


Figura N°20: Conductividad térmica

Fuente: Knie & Belmonte & Berthomieu & Madrid, 2010

Las ventajas del pozo canadiense son numerosas. Requiere una inversión mucho menor que una climatización reversible convencional, especialmente si el diseño del edificio ya contempla dicha posibilidad, y por otra parte los requerimientos energéticos son completamente marginales, implicando asimismo un mantenimiento muy sobrio. Debe destacarse que el sistema es especialmente duradero y completamente sostenible y ecológico (Knie & Belmonte & Berthomieu & Madrid, 2010).

Es importante proteger la instalación contra entradas de agua, polvo, insectos y roedores, protegiendo la entrada, asegurando una correcta estanqueidad y filtrando el aire antes que penetre en la vivienda. Para evitar la proliferación de bacterias patógenas debe preverse un sistema de evacuación del agua de condensación (Knie & Belmonte & Berthomieu & Madrid, 2010).

Asimismo, la tubería deberá seguir una inclinación de 1~2 grados para permitir canalizar estos condensados.

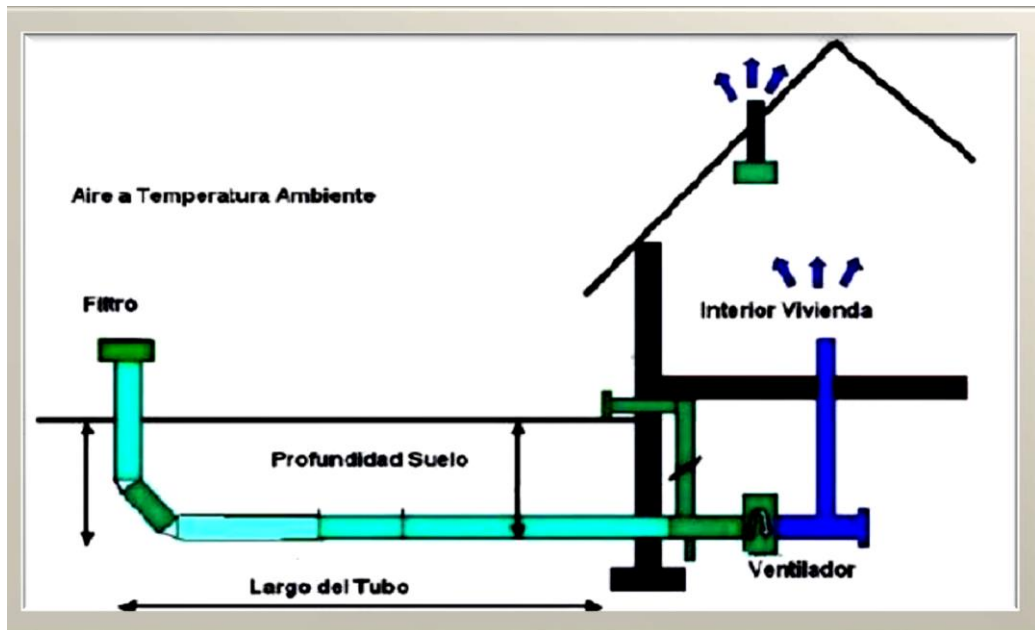


Figura N°21: Esquema de instalación

Fuente: Internet

2.5.2 Principios de Fundamentos – Modelo Teórico

Los pozos canadienses (o tubos enterrados) se basan 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. El aire que ingresa presenta un mayor grado de confort térmico porque se obtiene un aire más cálido del habitual en tiempo frío y más fresco en tiempos cálidos. El criterio de utilización de este sistema se basó en extensas mediciones en campo, a diferentes profundidades terrestres y en varios lugares. Estudios demuestran que el suelo a profundidades mayores a los 2 m mantiene constante su temperatura (15° C) durante todo el año. Al suponer que la temperatura del suelo es una pura función armónica, el suelo muestra perfiles de temperatura que pueden ser representados matemáticamente en función del tiempo (Cabezas, 2012).

Para definir el sistema de tubos enterrados, se ha determinado que el equilibrio del calor para cada volumen de control (la pérdida de calor / ganada por el aire es igual al calor ganado / perdida de la tierra) permite predecir la salida de la

temperatura del aire al ingresar a la casa y una fracción del caudal de entrada a la vivienda (uno por ventilación e infiltración), es decir, el caudal que accede por los tubos (Brunat & Escuer, 2010).

El aire que penetra dentro del tubo, por una toma de aire debidamente protegida, circula por la canalización enterrada gracias a un sistema de impulsión; y se reparte por las estancias del edificio a climatizar, asegurando un aporte de aire nuevo en toda la construcción. Uno de los mayores problemas que tenía el sistema eran las condensaciones, pero en la actualidad se ha mejorado; así como también la optimización de la regulación térmica mediante el reparto de aire a cada pieza o volumen individual, y también un correcto tratamiento del nivel sonoro del soplo del aire dentro del pozo (Brunat & Escuer, 2010).

La Figura 22 muestra el proceso de intercambio de calor entre el suelo y el flujo circulante.

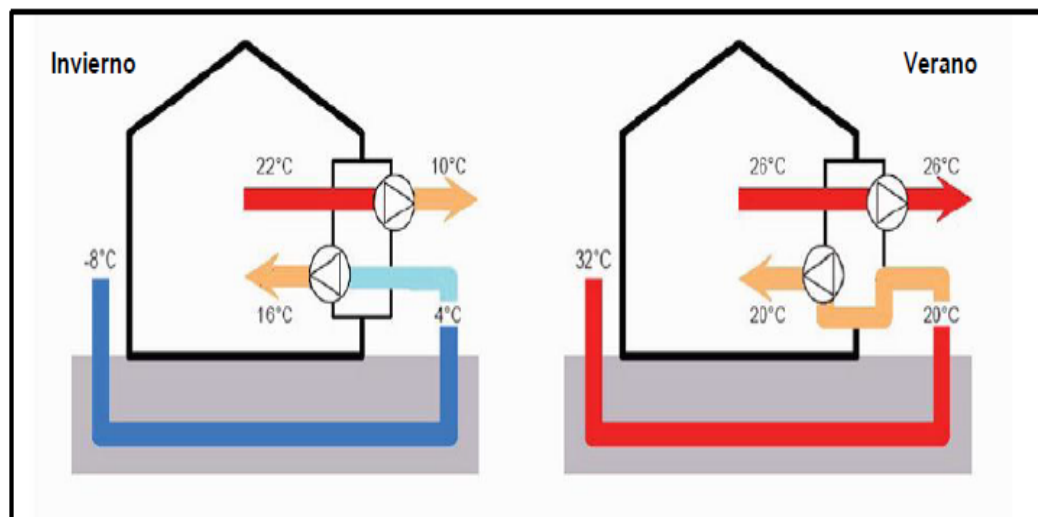


Figura N°22: Esquema básico del funcionamiento de los tubos enterrados
Fuente: Cabezas, 2012

2.6 Criterios para Diseñar un Sistema de Tubos Enterrados

Un buen diseño contempla los siguientes criterios (Cabezas, 2012):

- Diseñar el uso que queremos dar al sistema en función del espacio a ventilar o “climatizar” (cálculo de cargas).
- Definir el caudal de aire necesario.

- Analizar la temperatura media del lugar.
- Definir el material del tubo
- Calcular la extensión en metros de los tubos (conductos).

Además, una reducción de temperatura del flujo de aire será mayor si se toma en cuenta lo siguiente (Cabezas, 2012):

- Mayor sea el recorrido del aire dentro del tubo.
- Menor sea el diámetro del tubo.
- Menor sea la velocidad del aire dentro del tubo.
- Mayor sea la diferencia de temperatura.

En general, las posibilidades de utilizar tubos enterrados dependerán del tamaño y el tipo del terreno, que incidirá directamente en la facilidad de incorporar tubos a diferentes profundidades y con la extensión adecuada (Cabezas, 2012).

En primera instancia, se debe asegurar que dentro del tubo se den condiciones de flujo turbulento y/o laminar, dependiendo el caso, y que el periodo de permanencia del flujo sea el suficiente para lograr el intercambio de calor entre el aire aspirado y el subsuelo. También, es de suma importancia la velocidad del aire dentro del tubo del intercambiador geotérmico aire – tierra, varios expertos aseguran que debe situarse entre 1 y 4 m/s (Vidal & Vidal, 2011). La Figura N° 23 muestra un esquema del funcionamiento.

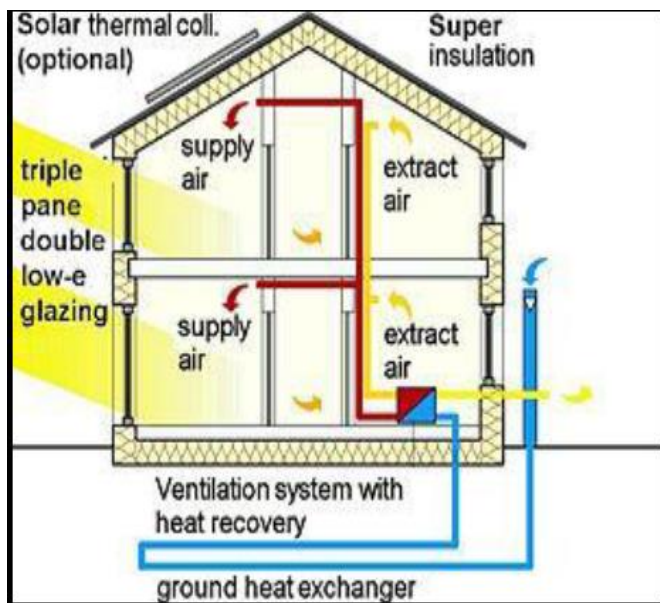


Figura N°23: Esquema básico del funcionamiento de los tubos enterrados

Fuente: Internet

Cálculos del Sistema

El cálculo de sistemas de tubos enterrados se fundamenta en determinar la superficie total de transferencia necesaria para el intercambio de calor, jugando con los valores como la sección y diámetro de la tubería, velocidad del aire y el caudal de circulación. Todos estos parámetros están ligados al volumen del espacio a ventilar (Cabezas, 2012).

Para dimensionar un sistema de intercambio de energía geotérmica es importante tener en cuenta la conductividad térmica del terreno, ya que la potencia de extracción debe ser proporcional a la misma, a la humedad del suelo, ya que mejora la conductividad térmica, y a la presencia o ausencia de aguas subterráneas (Santilli, 2014).

2.7 Elementos de Instalación del sistema IN – SITU

Se distinguen de todos los casos de estudio algunos elementos comunes que componen el sistema de tubos enterrados, así como distintas configuraciones en su diseño dependiendo del tipo y uso de la edificación a condicionar y/o climatizar (Cabezas, 2012).

Tomando en cuenta los distintos sistemas de conductos, al igual que su dependencia con el país, tipo de clima, ambiente, y tipo de vivienda donde se va acondicionar, la mayoría de ellos se componen de las siguientes partes (Cabezas, 2012):

1. Torre de entrada del aire (toma de aire): Conducto vertical de admisión de aire exterior. El aire exterior es aspirado hasta el intercambiador aire-tierra por medio de una torre de aspiración (Rehau, 2012).

Por defecto se efectúa una depuración previa del aire aspirado mediante un filtro grueso o fino. La mayor parte de las partículas sólidas y el polen son retenidos, con lo cual se minimiza la contaminación del tubo del intercambiador geotérmico aire-tierra (Rehau, 2012).



Figura N° 24 Torre de entrada
Fuente: Internet

2. **Colector:** Se encuentra conectado directamente a la torre de entrada. Recoge el flujo de aire y lo distribuye a los ductos transversales los cuales se encargan de realizar el intercambio (Rehau, 2012).



Figura N° 25: Colector
Fuente: Internet

3. **Conjunto de conductos horizontales enterrados:** Por donde circula el aire y se realiza el intercambio de calor.

Son tubos macizos, de gran rigidez longitudinal, que se fabrican para satisfacer específicamente los requerimientos que impone un sistema de intercambiador geotérmico aire-tierra (Rehau, 2012).

Deben ser de elevada eficiencia al suministro de aire fresco higiénico, a la estanqueización fiable y a la evacuación segura de los condensados. Además, deben permitir todas las intervenciones de mantenimiento y reparación. Es importante, de ser factible, que contengan una capa interior antimicrobiana, por lo general compuesta por partículas de plata, y cuyo resultado es un aire fresco higiénico. Cabe mencionar que es importante que los tubos estén impermeabilizados ante el radón (Rehau, 2012).



Figura N° 26: Conjunto de tubos

Fuente: Internet

4. **Sistema mecánico de impulsión de aire mediante ventilador:** Sirve para conseguir el ingreso del caudal de aire necesario, en algunos casos incluido en la máquina de climatización utilizada (Rehau, 2012).
5. **Distribución a los recintos:** En cada ambiente mediante conductos y rejillas (Rehau, 2012).

6. Sistemas de extracción de aire: para asegurar la renovación de aire, (Rehau, 2012).

La Figura N° 27 muestra el esquema de todo el sistema.

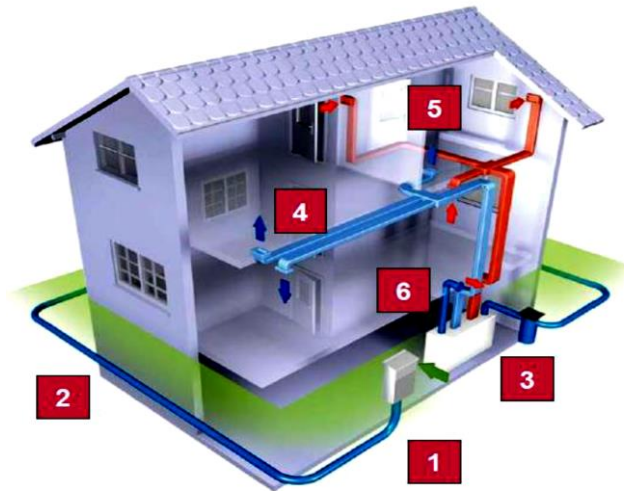


Figura N° 27: Configuración del Sistema

Fuente: (Rehau, 2012)

Existen dos elementos que no se encuentran localizados en la Figura N° 27, pero son muy importantes y deben ser mencionados (Rehau, 2012).

7. Evacuador de condensados: En verano se puede formar en el sistema de tubos agua de condensación, a causa del enfriamiento del aire aspirado. Para asegurar la operatividad a largo plazo del intercambiador geotérmico aire-tierra y evitar la formación de olores, es preciso evacuar el condensado de forma definida. Dependiendo del sistema que se ocupe, se mencionan dos (Rehau, 2012).:



Figura N° 28: Evacuador de Condensaciones

Fuente: Rehau, 2012

8. Depósito colector de condensados para edificaciones sin sótano: En las construcciones sin sótano hay que evacuar el agua de condensación a un depósito colector con bomba. Este colector descansa sobre un suelo plano. Para prevenir la entrada de aire no filtrado en el sistema de tubos a través de dicho depósito colector, éste queda hermetizado mediante una envoltura de fundición que estanca al aire. El agua de condensación se conduce desde el tubo del intercambiador geotérmico aire - tierra hasta el depósito colector de condensados por medio de una derivación. A continuación, se bombea el agua de condensación hacia el exterior con una bomba sumergible (Rehau, 2012).

Desagüe de condensados para edificaciones con sótano: Si la construcción tiene sótano, se puede conducir el agua de condensación hasta el colector de evacuación de la propia edificación a través de un desagüe. La conexión se realiza mediante una derivación para condensados, que se monta en el punto más bajo de la tubería del intercambiador geotérmico. Para prevenir la formación de olores desagradables, se intercala un sifón con esfera entre el desagüe para condensados y el colector de la red de evacuación del edificio (Rehau, 2012).

Filtros: Permiten retener las impurezas aspiradas del aire que ingresan al sistema (Rehau, 2012).

2.8 Ventajas y Desventajas del Sistema

Las ventajas de los tubos enterrados son numerosas:

- La inversión inicial es mucho menor que la de un sistema de climatización convencional, especialmente si el diseño de la estructura ya contempla dicha posibilidad. Por otra parte, los requerimientos energéticos son completamente marginales, implicando la utilización del sistema y el mantenimiento (Ruiz Muñoz, 2009 en Cabezas, 2012).
- Se destaca que el sistema es especialmente duradero, y completamente sostenible y ecológico (Ruiz Muñoz, 2009 en Cabezas, 2012).

Como todo sistema, también presenta ciertas desventajas que se resumen a continuación:

- Las funciones de precalentamiento en invierno y refrigeración en verano están afectadas por dos desfases, uno diario y otros estacionales dados por la inercia térmica del subsuelo (Cabezas, 2012).
- Esta inercia térmica condiciona un desfase temporal, alcanzando el subsuelo inmediato los valores más frescos por la mañana en primavera, y los valores más cálidos por la tarde en otoño (Cabezas, 2012).
- Se observa que el rendimiento del sistema (diferencial de temperatura obtenido) no es constante, siendo esta función de la temperatura de entrada (la temperatura de salida del aire por los difusores se mantiene prácticamente constante, mientras la temperatura exterior fluctúa (Cabezas, 2012).

CAPÍTULO III

3. MATERIALES Y MÉTODOS

En primer lugar, se procedió a hacer un profundo análisis bibliográfico de la energía geotérmica y sobre su uso con la técnica de pozo canadiense (tubos enterrados) para climatizar ambientes en una vivienda, todos sus posibles usos y las experiencias a nivel nacional e internacional. Dicha información fue obtenida a partir de fuentes primarias y secundarias, que van desde libros, tesis y publicaciones en diarios, hasta artículos relacionados con el tema de climatización de ambientes a partir del aprovechamiento de la energía geotérmica.

La información fue procesada en forma computarizada utilizando el paquete computacional MICROSOFT OFFICE WORD.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS

- A pesar de lo útil que resulta este sistema, no está siendo utilizado de manera usual en la arquitectura y por ende en la construcción de edificaciones, ya que requiere espacio suficiente para su instalación. Así como también el aspecto económico es otro factor limitante en cuanto a la utilización del sistema, en ciertos casos el coste de la instalación y del mantenimiento es mayor o igual que una instalación de ventilación convencional, resultando ser más sencillo y como consecuencia es el más utilizado. Este problema se da principalmente en edificios que no prevean una ventilación mecánica, en cambio, en edificios de uso terciario, industrial o vivienda unifamiliar en los que sí que haya ventilación mecánica es recomendable el uso de este sistema.
- Como ya se ha mencionado en el párrafo anterior, el terreno es un factor limitante para realizar la instalación del sistema, por lo que es necesario realizar un estudio geológico y proveer el área donde se ejecutara para demostrar su viabilidad. Además, dentro de todos los tipos de terreno con los que mejor se puede actuar son aquellos que están húmedos o saturados de agua, siempre y cuando se garantice la estanqueidad del interior del conducto.
- Por último, en el aspecto ambiental que es de mucha importancia considerar en todo proyecto de construcción a elaborar en la actualidad; queda perfectamente demostrado los beneficios que supone la utilización del sistema pozo canadiense (tubos enterrados), tanto térmicos como de reducción de consumo de energías no renovables, y que efectivamente son amigables con el entorno y el medio ambiente

CAPÍTULO V

5. DISCUSIÓN

En la ciudad de Iquitos los sedimentos predominantes son del tipo arena fina y arcilla, por debajo de los cuales se encuentra una arcilla preconsolidada. En la ciudad de Iquitos no se observan afloramientos rocosos, ni material del tipo de agregado grueso (Bustamante, 2000).

Debido a la fuerte precipitación pluvial en Iquitos y a que el nivel freático no se encuentra en la mayoría de los casos muy profundo, las arenas arcillosas y las arcillas superficiales se encuentran saturadas (Bustamante, 2000).

En la evaluación de los suelos de Iquitos se ubicaron dos sectores dominantes de la ciudad, como son: el sector Iquitos y el sector San Juan. Una vez analizadas las propiedades físico-mecánicas del subsuelo, se llega a la conclusión de que ambos sectores presentan propiedades relativamente similares (Bustamante, 2000).

Por la información mencionada anteriormente y si analizamos la siguiente tabla:

Material	Conductividad Térmica (J°/C/s)	Capacidad Calorífica (J°/cm³/s)
Suelos arenoso húmedo	0.017	1.68
Arena	0.003	1.26
Arcilla	0.0025	1.26
Orgánico	0.0126	2.39
Nieve compacta	0.0029	0.92

Se considera que nuestro suelo de la ciudad de Iquitos tiene buena conductividad térmica y alta capacidad calorífica; que son características fundamentales de un suelo donde se puede implementar la técnica del sistema de pozo canadiense.

CAPÍTULO VI

6. CONCLUSIONES:

- La energía geotérmica para climatizar ambientes por medio del sistema de pozo canadiense puede utilizarse en cualquier parte del mundo, según los estudios realizados que ponen en manifiesto su eficacia, aunque aún no se ha podido determinar una metodología de diseño específico; según el estado del arte es necesario conocer las características del clima y del suelo en un estrato no menor a 3m del lugar donde se llevara a cabo la instalación. Además, el estudio de sus elementos para ser ejecutados en la construcción radica básicamente conocer: el uso del suelo, las propiedades geotérmicas del suelo, la conductividad térmica (λ), la alta capacidad calorífica y el nivel freático.
- Como medidas de adecuación al calentamiento global esta técnica en futuro se convertirá en uso frecuente; reduciendo sus limitaciones y desventajas, pero se hace necesario para próximas investigaciones que quieran indagar y profundizar en la técnica antes mencionada que se enfoque en el cálculo exacto de las dimensiones de los tubos, tanto en la longitud como en el diámetro y si se considera posible el área del terreno que se necesita para una instalación ideal.
- De los resultados evaluados en el trabajo de investigaciones similares y de proyectos ejecutados con esta tecnología, todos coinciden que es fundamental el área del lote en la que se edifica la fábrica; debiendo quedar un área libre mínima de 50m². Áreas libres de esta magnitud se tendrían que proveer para próximas urbanizaciones; de lo contrario no será posible la instalación de esta tecnología. Aunque muy aparte de la limitante antes mencionada es sabido que actualmente, en la mayoría de construcciones de edificaciones prima ante todo el factor económico, sin importar las consecuencias ambientales que esta pueda causar en el entorno.

7. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda para próximas investigaciones indagar y profundizar en la técnica antes mencionada, así enfocarse en el cálculo exacto de las dimensiones de los tubos, tanto en la longitud como en el diámetro y el área mínima del terreno que se necesita para una instalación ideal.
2. Se recomienda continuar con proyectos que nos permiten obtener datos referentes a nuestra ciudad, desarrollando estudios de nuestros suelos y analizando el clima; y continuar con esta línea de investigación: “Ingeniería de los materiales y construcción de infraestructura”, que corresponde a la Facultad de Ciencias e Ingeniería de la Universidad Científica del Perú.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Apesteguía, X. A & Ezcurra, J. O. (2013). Estudio Comparativo entre un Sistema de Biomasa y uno de Geotermia para la Producción de A.C.S. y Calefacción de un Unifamiliar. Pamplona: Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales y de Telecomunicación.
- Aquino Aquino, S. I. (2018). Aplicación de Sistema de Ventilación Natural para el Confort Térmico en los Ambientes de una Vivienda Unifamiliar Distrito de la Merced. Huancayo: Universidad Continental.
- Aulí, E. (2005). Construcción Sostenible. Primera ed. Barcelona: Planeta de Agostini Profesional y Formulación, S.L.
- ADCA, OLMJ & PJLF (2012). Diseño de la automatización y control de un sistema de ventilación natural forzada a partir de tubos enterrados para espacios interiores en el edificio de Eléctrica II de la Universidad Industrial de Santander. Colombia: Universidad Industrial de Santander.
- Bustamante Chacón, A (2000). Características Geotécnicas del Suelo de Iquitos, Perú. Universidad Nacional de Ingeniería.
- Brunat, L & Escuer, J. (2010). Intercambiadores Tierra-Aire y Técnicas Emparentadas. Ejemplos y Experiencias. Pozos provenzales y técnicas emparentadas., Geoconsultores técnicos y ambientales, S.L.
- 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. Colombia: Universidad Politécnica de Cartagena.
- Cabezas, A. M (2012). Eficiencia Energética a través de Utilización de Pozos Canadienses con el Análisis de Datos de un Caso Real “Casa Pomaret”. Barcelona: Universidad Politécnica de Catalunya.

- Cañada Cubo, J. A. (2016). Cálculo de una Instalación de Climatización por Geotermia de una Nave Industrial. España: Universidad de Jaén.
- Córdova Zapata, L. F. (2007). Diseño de una Planta Geotérmica de Generación Eléctrica de 50MW. Perú: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Díaz, S. M. (2018). El terreno como intercambiador: Enfriamiento Pasivo aplicado a un Edificio de Nueva Planta. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- Domínguez de la Cuesta, J. L. (2011). Análisis de un Sistema de Tubos Enterrados para la Gestión Térmica de un Sistema de Climatización. Sevilla: Universidad de Sevilla.
- Dickson, M.H. (2004) What is Geothermal Energy? - Instituto de Geociencia y Recursos Geológicos, CNR, Pisa, Italia.
- Farfán, P. (2011). Bioclimática Tradicional. [En línea] Available at: <http://www.farfanestella.es/bioclimatica/?p=2086>.
- Girodgeotermia (2008) Qué es la energía geotérmica - [En línea] - http://www.girodgeotermia.com/index.php?option=com_content&view=article&id=209&Itemid=134.
- Geoconsultores Técnicos y Ambientales, S.L. (2008). Intercambiadores tierra-aire en la Climatización de Construcciones: Pozos provenzales y técnicas emparentadas. España: Empresa Independiente de Consultoría.
- Knie C., Belmonte A., Berthomieu B. & Madrid S. (2010). Diseño de un edificio autosuficiente y "Low Cost" para autoconstrucción. Barcelona: Universidad Politécnica de Catalunya.
- Medina Córdoba, L., Vélez Orrego, A.C. & Yucuma Hoyos, A. (2015). Diseño de habitaciones de un eco-hotel en el municipio de Nariño Antioquia a partir de la estrategia: Acondicionamiento Térmico. Colombia: Universidad de San Buenaventura Seccional Medellín.

- Peiretti, A. S. (2017). Geotermia de baja entalpia en suelos Loessicos: Caso de Estudio. Argentina: Universidad Nacional de Córdoba.
- Posada, E. (2008). Repaso de termodinámica. [En línea] Available at: http://www.uam.es/personal_pdi/ciencias/jgr/fisest0506/RepasoTermo.pdf.
- Russel, E. J. (1992). Las condiciones del suelo y el desarrollo de las plantas según Russel. Once ed. Madrid: Mundo- Prensa.
- Rehau, (2012). Intercambiador aire-tierra para ventilación controlada. [En línea] Available at: www.rehau.com.
- Seisdedos Sáez, M. A. (2012). Climatización de Edificios por medio del Intercambio de Calor con el Subsuelo y Agua Subterránea aspectos a considerar en el contexto Local. Chile: Universidad de Chile.
- Santilli, F. A. (2014). Energía Geotérmica de Baja Entalpía: Comprobación de Presencia y Análisis Conceptual de Aprovechamiento. Argentina: Universidad Nacional de Cuyo.
- Vegas Barbado, S. (2016). Estudio Energético de un Recuperador de Energía Geotérmica Aplicado a un Edificio Universitario. Valladolid: Universidad de Valladolid.

9. ANEXOS

1. Presupuesto de la instalación del pozo canadiense para edificación de 110 m2

Presupuesto					
Presupuesto	1302001 "INSTALACIÓN DE POZO CANADIENSE EN EL DISTRITO DE SAN JUAN BAUTISTA-MAYNAS -LORETO"				
Subpresupuesto	001 "INSTALACIÓN DE POZO CANADIENSE EDIFICACION DE 110 M2"				
Cliente	MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE SAN JUAN BAUTISTA			Costo al 31/05/2019	
Lugar	LORETO - MAYNAS - SAN JUAN BAUTISTA				
Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
01	TRABAJOS PRELIMINARES				196.20
01.01	LIMPIEZA DE TERRENO MANUAL	m2	30.00	4.05	121.50
01.02	TRAZO NIVEL Y REPLANTEO	m2	30.00	2.49	74.70
02	TRANSPORTE DE MATERIALES				200.00
02.01	TRANSPORTE DE HERRAMIENTAS Y MATERIALES	ton	1.00	200.00	200.00
03	MOVIMIENTO DE TIERRA				5,616.84
03.01	CORTE DE TERRENO MANUAL	m3	45.00	50.67	2,280.15
03.02	RELLENO COMPACTADO CON MATERIAL PROPIO	m3.	43.53	74.17	3,228.62
03.03	ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE A 50 M.	m3.	1.47	18.62	27.37
03.04	REFINE NIVELACION Y APISONADO MANUAL	m2	30.00	2.69	80.70
04	POZO CANADIENSE				1,613.13
04.01	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE TUBERIAS	und	1.00	1,613.13	1,613.13
Costo Directo					7,626.17
IGV (18%)					1,372.71
					=====
PRESUPUESTO TOTAL					8,998.88
SON : OCHO MIL NOVECIENTOS NOVENTIOCHO Y 88/100 NUEVOS SOLES					
Fecha :				18/06/2019	

Figura N° 29: Costo De Instalación

Fuente: Elaboración Propia