

## Ventilación mecánica acondicionada por geotermia: confort y eficiencia energética para un ambiente sostenible

### Mechanical ventilation conditioned by geothermal energy: comfort and energy efficiency for a sustainable environment

*Ms. Arq. Alejandro Rodriguez, Arq. Guillermo Eberhardt, Arq. Federico Raviol, Mg. Arq. Sebastián Puig*

Cátedra de Instalaciones A, Laboratorio de Técnicas y Materiales (LATMAT), Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo, Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe, Argentina

arodrig@fadu.unl.edu.ar

#### RESUMEN

La investigación aborda la influencia de las condiciones ambientales en la vida humana, destacando el aumento de costos energéticos y la importancia de encontrar alternativas arquitectónicas para mejorar el confort y la eficiencia energética.

Se identifican cuatro elementos clave para el confort higrotérmico en edificios: temperatura, humedad, velocidad y calidad del aire. La ventilación, esencial para la calidad del aire, adquiere mayor importancia debido a la pandemia de COVID-19.

Se estudia la implementación del sistema de Ventilación Mecánica con intercambio de calor geotérmico diseñado para ajustarse a algunas localidades ubicadas la región central de la República Argentina. Se detallan sus componentes, criterios de diseño y aplicación en diversos proyectos analizando sus ventajas y dificultades en su ejecución.

Luego de realizar siete proyectos piloto con éxito, se ha podido demostrar la viabilidad tanto técnica como económica del sistema, garantizan un caudal adecuado y reduciendo notablemente el consumo energético.

#### ABSTRACT

The research addresses the influence of environmental conditions on human life, highlighting the increase in energy costs and the importance of finding architectural alternatives to improve comfort and energy efficiency.

Four key elements for hygrothermal comfort in buildings are identified: temperature, humidity, air velocity and air quality. Ventilation, essential for air quality, becomes more important due to the COVID-19 pandemic.

The implementation of a Mechanical Ventilation system with geothermal heat exchange designed to suit some locations in the central region of Argentina is studied. Its components, design criteria and application in different projects are detailed, analysing its advantages and difficulties in its implementation.

After carrying out seven successful pilot projects, it has been possible to demonstrate the technical and economic viability of the system, guaranteeing an adequate flow rate and significantly reducing energy consumption.

**PALABRAS CLAVE:** DISEÑO, VENTILACIÓN MECÁNICA, CALIDAD DEL AIRE, GEOTERMIA

**KEYWORDS:** DESIGN, MECHANICAL VENTILATION, AIR QUALITY, GEOTHERMAL

**FECHA DE RECEPCIÓN:** 10/05/2024 | **FECHA DE ACEPTACIÓN:** 25/05/2024

**DOI:** <https://doi.org/10.30972/arq.237662>

## INTRODUCCIÓN

Las condiciones ambientales, en general, y las climáticas, en particular, influyen y determinan de múltiples maneras la vida humana. Los hábitos contemporáneos de movilidad, confort, trabajo y producción requieren de una gran cantidad de energía, generada especialmente a partir de la utilización de combustibles fósiles, con el consiguiente aumento de las concentraciones de gases de efecto invernadero.

Actualmente los costos de la energía en nuestro país, Argentina se han incrementado exponencialmente, y la tendencia actual es que sigan aumentando durante los próximos meses en virtud de los reajustes de precios presentes.

Este escenario tiene un impacto directo en el presupuesto de los usuarios residenciales, lo que hace indispensable buscar alternativas ligadas al diseño arquitectónico que aporten a una mejora significativa en el confort de los usuarios minimizando el costo energético requerido y ayudar al cuidado del medio ambiente.

Se establecen cuatro condiciones elementales para que una persona se encuentre confortable dentro de un ambiente: la temperatura, la humedad relativa, la velocidad del aire y la calidad del aire. Habitualmente al momento de diseñar un sistema de acondicionamiento para los espacios habitables, se consideran solo las temperaturas de los escenarios de invierno y verano como así también la velocidad del aire cuando se encienden los ventiladores, pero no se considera la variable CALIDAD DEL AIRE.

¿Qué es ventilar? es renovar el aire interior de los ambientes, permitiendo que el aire fresco entre y el aire viciado salga de manera tal de diluir los contaminantes u olores de los espacios interiores, proporcionando un entorno más saludable y confortable para quienes lo ocupan. La pandemia de COVID, iniciada a finales de 2019, dejó su huella en muchos los aspectos, en este caso revaloriza la importancia de la ventilación de los ambientes.

Esta necesidad, que se encuentra reflejada en códigos y reglamentos constructivos municipales a modo de exigencia donde el requisito está dado por el tamaño de la ventana en relación a las dimensiones del ambiente que se desea ventilar. Existen recomendaciones sobre su uso, pudiendo encontrarse términos como la denominada “ventilación cruzada”, que se define como la situación en que se encuentran aberturas opuestas en un ambiente o zona térmica. Este tipo de soluciones pasivas permiten un flujo de aire y ahorran energía pero no aseguran el caudal necesario porque dependen de la velocidad del viento, de las temperaturas externas, de las costumbres del usuario y del uso de los equipos de acondicionamiento ambiental. Para el caso de que las temperaturas desciendan o se encuentren por encima de las variables de confort y se requiera el uso de equipamiento para acondicionar los ambientes será necesario cerrar las aberturas para no perder o ganar calor por infiltración, perdiendo la ventaja de la estrategia pasiva mencionada. No obstante, si el usuario decide ventilar, estará haciendo que el sistema sea menos eficiente desperdiciando energía. A esta situación descrita, se destaca que los equipos de acondicionamiento ambiental carecen de sistemas de ventilación (calefactores a gas y equipos de aire acondicionado tipo Split), planteando un escenario complejo al momento de ventilar los ambientes y obtener condiciones de confort higrotérmico.

La necesidad de asegurar caudal en la ventilación de los ambientes, se encuentra en forma de leyes, normas, o recomendaciones, como las normas ASHRAE 61.2 “Ventilación para una Calidad Aceptable de Aire Interior”, o si los espacios son utilizados para trabajo, es necesario estudiar El Decreto 351/79, que en su capítulo 11 establece los requisitos y medidas para garantizar condiciones adecuadas de ventilación en entornos laborales.

## MÉTODO Y ESTUDIOS

Ante los desafíos destacados, surge la necesidad de recuperar o rediseñar técnicas que faciliten la ventilación de los espacios, reduciendo al mínimo las pérdidas o ganancias de calor. Esto se hace con el objetivo de mejorar la eficiencia de los sistemas de climatización ambiental. A tal fin, se propone una metodología de investigación tecnológica y cuali-cuantitativa, en tanto se busca resolver un problema de la realidad a través del análisis empírico y su conocimiento teórico, a la vez que presenta una instancia descriptiva e interpretativa, contrastando los modelos teóricos con la realidad registrada. Para ello se evaluaron dos sistemas posibles en donde la ventilación mecánica sea más eficiente en el intercambio térmico: la recuperación entálpica aire-aire y el sistema geotérmico de baja entalpia conocido también como “pozo canadiense o pozo provenzal”.

Se optó por estudiar el sistema geotérmico y verificar si era posible adaptarlo a las condiciones locales, tanto por la situación del entorno, como la disponibilidad de elementos y partes constructivas que permitan su implementación.

Los diversos proyectos que se han podido llevar adelante han permitido avanzar significativamente en varios aspectos, como la distribución, la comparación de distintos sistemas de cálculo, la disposición de las piezas y el análisis de suelos en diferentes regiones. Estos esfuerzos han llevado a descubrir soluciones precisas para los desafíos que plantea esta técnica de ventilación acondicionada.

## DESARROLLO

### Objetivos del estudio del sistema

Desde el Laboratorio de Técnicas y Materiales (LATMAT) se comenzó la investigación sobre esta técnica de manera teórica y como un desprendimiento del proyecto de investigación denominado Arquitectura Sustentable, desarrollo experimental de un módulo habitacional con consumo de energía “0”.

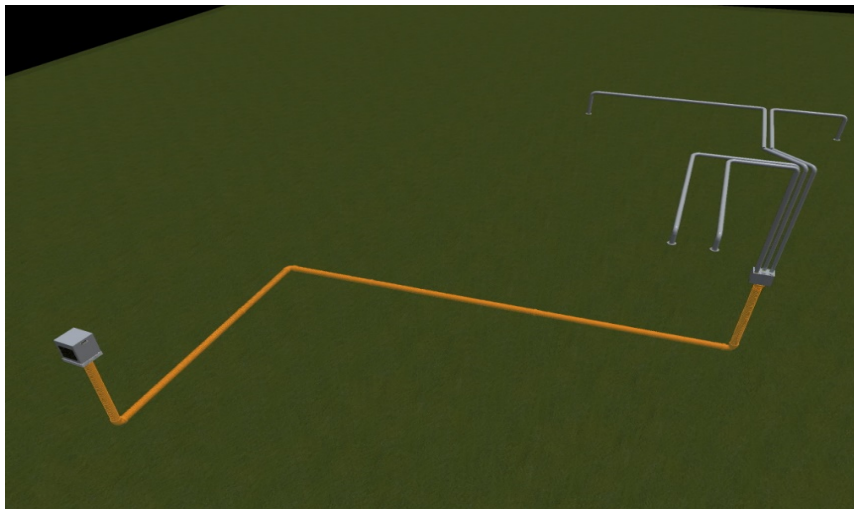
La vasta información disponible sobre geotermia en las edificaciones, como ser los trabajos de Dickson (2004) en su libro *What is Geothermal Energy?*, Cuevas y González Penella (2008) en su paper *Propiedades térmicas de los suelos para el dimensionado y diseño del sistema subterráneo mejorando la eficiencia energética de sistemas geotérmicos en climatización geotérmicos en climatización*, Ernesto, Hoboica y Segura (2009) con su *Proyecto de climatización pasiva por conductos Enterrados* y Lannelli (2012) actuaron como disparador e interesaron a distintos profesionales para verificar la factibilidad de implementación en la región central de Santa Fe.

Este proceso, resultó en un interesante intercambio que culmina con la transferencia de la técnica investigada, en formatos de proyectos que se realizaron junto a un equipo de expertos y pasantes del LATMAT. Asimismo, las diferentes experiencias permitieron retroalimentar las ideas originales y lograr avances significativos en cuanto a la dificultad de conseguir los materiales localmente, el estudio de las características del suelo y la capacidad máxima de intercambio que podíamos alcanzar en nuestra región.

El objetivo principal propuesto para la investigación fue el de optimizar la ventilación para asegurar un flujo de aire adecuado, mejorando el confort térmico y la eficiencia energética en los espacios interiores. En consecuencia, como objetivos específicos se planteó la posibilidad de poder evaluar la viabilidad técnica y económica de implementar el sistema en su máxima capacidad utilizando materiales y elementos constructivos de fácil adquisición local y mano de obra poco especializada.

El sistema desarrollado consta de tres partes: la impulsión mecánica del aire, el intercambiador tierra – aire y la distribución del aire. “Figura 1”

Conscientes de que la eficiencia en el movimiento del aire aumenta al comprimirlo, se diseñó una cabina externa para alojar el filtro de partículas y el motor. En la mayoría de los proyectos que se han llevado adelante, se ha contado con espacio suficiente para instalar los tubos de intercambio y ubicar la cabina al final del sistema, alejada de la vivienda. Esta decisión, permite reducir el ruido en los espacios habitados al alejar la fuente de ruido a una distancia considerable. El dimensionamiento del impulsor se basa en el caudal de aire requerido para la ventilación de los ambientes. El resultado es un forzador muy económico y cuyo consumo eléctrico es de 250 w/h.



**Figura 1: Esquema completo del sistema diseñado. Cabina de impulsión, tubería de intercambio geotérmico y tuberías de distribución. Fuente: Elaboración propia.**

El diseño del intercambiador se ha estructurado cuidadosamente con tubos de 160 mm o 200 mm de diámetro, seleccionados conforme a los cálculos realizados. En los proyectos, se ha priorizado evitar longitudes excesivas o rutas tortuosas para minimizar las pérdidas de carga del fluido.

La energía geotérmica de baja entalpía aprovecha la estabilidad térmica del suelo, que mantiene una temperatura constante a unos 3,00 metros de profundidad durante todo el año. Con esta premisa, se enterraron los tubos para forzar el paso del aire que ventilará la vivienda antes de ingresar. Este sistema facilita un intercambio eficiente de calor entre el aire y la tierra a lo largo de su recorrido. Los diferentes proyectos que se han llevado adelante, la longitud de las cañerías han variado entre 14,00 y 22,00 m de intercambio efectivo, es decir el tramo que se mantiene a profundidad.

El sistema de ventilación se puede utilizar durante todo el año, en invierno aumenta la temperatura del aire de ingreso y en verano reduce la misma, con lo que se requiere menor energía para acondicionar los ambientes cuando las temperaturas no logran estar dentro de los parámetros de confort para la época del año.

Los proyectos realizados se ubican dentro de la Región Central de la República Argentina y los resultados respecto de las temperaturas obtenidas, son mejores en el escenario verano, disminuyendo la temperatura del aire impulsado y reduciendo simultáneamente la humedad por condensación.

Para dimensionar la longitud de las tuberías de intercambio se han tenido en cuenta las siguientes variables.

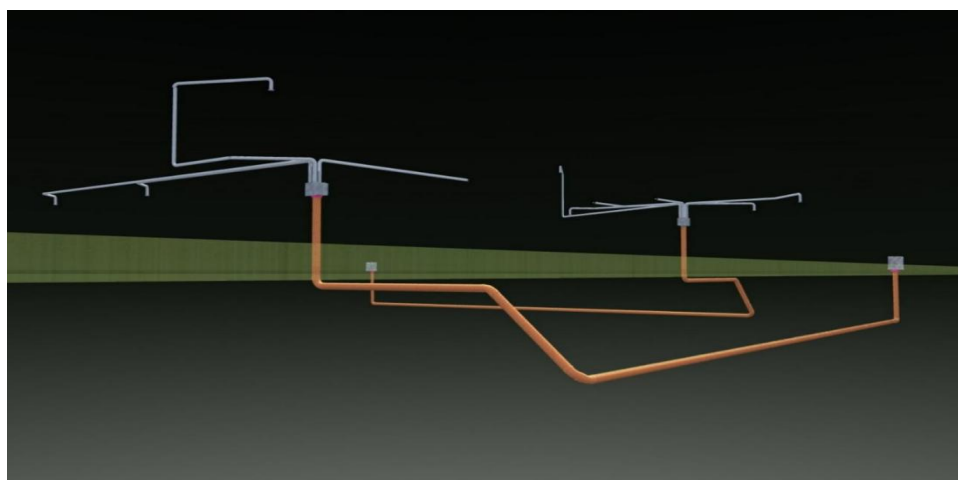
El caudal necesario de aire para garantizar las correspondientes renovaciones, teniendo en cuenta solo aquellos con presión positiva, como dormitorios, estar y comedores.

Temperatura de ingreso del aire, y temperatura deseada de salida (la que nunca será menor al promedio de temperatura anual en la zona).

Con respecto al material, se optó por utilizar polipropileno para los caños, el cual presenta una conductividad térmica de  $0.24 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ , considerando el valor más conservador encontrado. Además, del menor espesor de las paredes del tubo, de alrededor de  $1,6 \text{ mm}$ , la facilidad de conexión y el corrugado de su pared exterior, le confieren grandes ventajas en comparación con otras alternativas, respecto al policloruro de vinilo (PVC) cuyo uso se descartó debido a la posible liberación de gases tóxicos a lo largo de su vida útil y a su menor conductividad térmica en comparación con el polipropileno.

Respecto al suelo se evaluó la conductividad térmica en la zona y su humedad. En virtud de esta variable, se debieron realizar ajustes debido a la heterogeneidad del suelo donde se materializaron los proyectos, el valor que se utilizó fue de  $1,19 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ ,

La tercera parte del sistema consiste en la distribución del aire a través de todos los espacios de la vivienda. Para ello se busca que el conducto de intercambio se extienda hasta el interior y encontrar un espacio de servicio que permita la instalación de un dispositivo de distribución que garantice que llegue el suficiente caudal de aire en todas las habitaciones. Este componente se ha diseñado en chapa galvanizada y permite conectar el conducto principal de mayor sección con hasta seis caños de distribución. Al disponer de una tapa, sirve como punto de acceso para llevar a cabo cualquier tipo de limpieza interior necesaria. Los conductos utilizados son estándar, de chapa galvanizada y tienen un diámetro de  $75 \text{ mm}$ , los cuales están aislados con lana de vidrio para este fin específico. Cada uno de estos conductos termina en una rejilla difusora, que suele estar instalada en el cielorraso. "Figura 2"



**Figura 2: Esquemas completo del sistema de una vivienda en el barrio de Colastiné, perteneciente a la Ciudad de Santa Fe, Provincia de Santa Fe. Fuente: Elaboración propia.**

## Evolución y experiencias

Durante estos años, se ha transferido estos desarrollos tecnológicos a privados desde el Laboratorio de Técnicas y Materiales de la FADU – UNL, como Servicios a Terceros a modo de proyectos de implementación de lo que pasó a denominarse como Ventilación Mecánica Acondicionado por Geotermia (VMAG), lo que también nos ha permitido mejorar el sistema de cálculo, y evaluar condiciones de implementación y construcción en nuestra zona.

Los trabajos realizados pueden resumirse en proyectos para siete viviendas, tres en la ciudad de Santa Fe, una en Entre Ríos y tres en la ciudad de Tandil, además de un local para gimnasio, en la localidad de Humboldt en la provincia de Santa Fe.

El recorrido realizado comenzó con muchas incertezas, pero los diferentes proyectos han permitido perfeccionar y aprender del proceso.

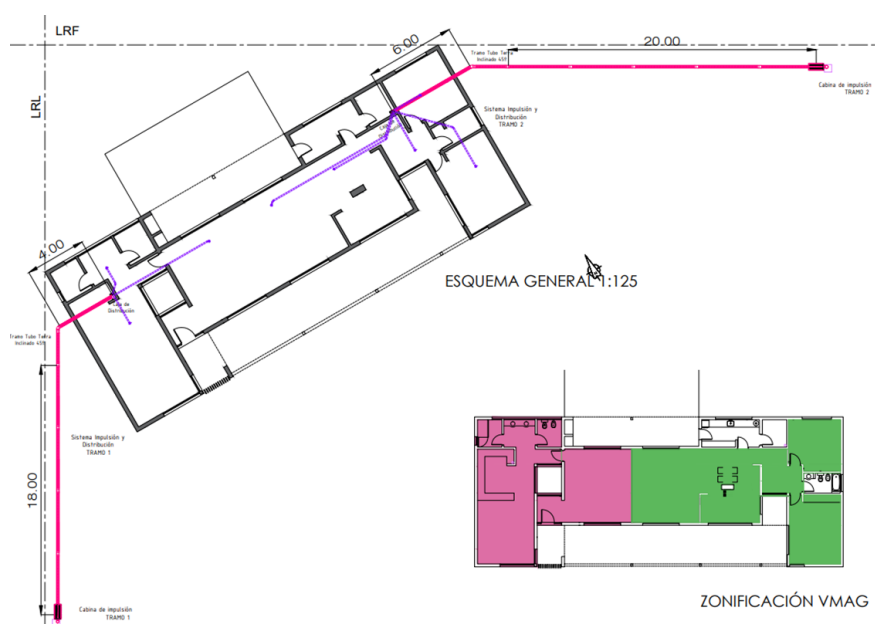
El primer proyecto fue pequeño y muy simple, pero permitió las realizar las pruebas más elementales, como verificar las distancias de recorrido de las tuberías, medir la temperatura de la tierra a profundidad, y comparar las teorías con la práctica real, con materiales y elementos locales verificando la dificultad de su compra, instalación y puesta en marcha.

Los siguientes proyectos fueron viviendas de mayor tamaño y complejidad.

El primer proyecto de vivienda de gran tamaño se localizó en los suburbios de la ciudad de Tandil, en un terreno muy extenso y que se desarrollada totalmente en planta baja, con unos 350 m<sup>2</sup>.

Por estas razones, sumadas a las limitantes del sistema, en cuanto a la capacidad de intercambio y caudal de aire, es que se establecen dos circuitos de VMAG, que además permitían mejorar la eficiencia al poder encenderse de manera separada de acuerdo al uso. "Figura 3"

Con este proyecto, se pudo verificar los límites del sistema y concluir con la necesidad de duplicar los tubos de intercambio de acuerdo a los usos por horarios. Esta experiencia permitió continuar con el aprendizaje sobre las posibilidades reales del sistema.



**Figura 3: plano de zonificación y esquema de desarrollo de cañerías de intercambio y distribución. Fuente: Elaboración propia.**

Otra de las experiencias desarrolladas, tenía la complejidad de estar ubicado en el ejido urbano, específicamente entre medianeras y encontrarse limitado además por las construcciones existentes. Todo un desafío para lograr realizar la excavación del caño de intercambio y lograr la extensión necesaria, sorteando las estructuras existentes y separando el sistema de los muros medianeros para no correr riesgo de colapso. “Figura 4”.

Este proyecto permitió que se pudiera diseñar un dispositivo de distribución e impulsión de dos motores que se ubicaron en el interior de la vivienda y separar la distribución de planta alta y de planta baja mejorando la eficiencia energética al permitir el uso diferenciado por niveles y horarios.



**Figura 4: instalación de las tuberías de intercambio en vivienda entre medianeras de la ciudad de Santa Fe. Fuente: Registro fotográfico Arq. Sebastián Puig.**

El proyecto realizado para un gimnasio en la localidad de Humboldt, que por su volumen y requisitos de necesidades de renovación de la ventilación por la actividad específica que se realiza, llevó a diseñar dos circuitos gemelos de distribución y de intercambio.

En este caso se facilitó la instalación de los tubos de intercambio, que se ubicaron debajo del propio piso del gimnasio, aprovechando la longitud del terreno y el patio del fondo de manzana para colocar los impulsores. “Figuras 5 y 6”

Para el sistema de distribución se optó por utilizar telescópicos circulares de chapa galvanizada, con rejillas de distribución que se colocarán en los laterales de espacio.

Actualmente, la obra se encuentra en construcción y se espera esté culminada a finales de 2024.



**Figuras 5 y 6: Instalación de las tuberías de intercambio en gimnasio de la ciudad de Humboldt. Provincia de Santa Fe. Fuente: Registro fotográfico Arq. Gabriel Kröling.**

## CONCLUSIONES

Habiendo revisado las posibilidades técnicas y económicas de los distintos proyectos, y de acuerdo a los materiales evaluados, que se consiguen en el mercado argentino, los resultados que pudimos obtener nos permiten concluir que:

- La tecnología es adaptable a una variedad de edificaciones y usos diversos, especialmente cuando se trata de dimensiones relativamente reducidas, como en el caso de viviendas y otros espacios de pequeña escala.
- No agrega ruidos al ambiente, dado que la velocidad del aire es baja y los motores se encuentran alejados y cabinados.
- La inversión inicial es baja y la amortización con el uso se realiza en poco tiempo.
- La instalación del sistema requiere disponer de una extensa superficie de terreno, lo cual puede ser un factor determinante, especialmente en presencia de construcciones existentes. La implementación resulta más sencilla en el caso de edificaciones nuevas.
- La ventilación es un requisito en todos los edificios, por lo que siempre será importante su instalación. Aunque la disponibilidad y eficiencia de la geotermia de baja entalpía pueden variar según el contexto geográfico.
- La longitud de las cañerías de intercambio no debe ser superior a los 24 m. por pérdida de carga y eficacia en el intercambio de calor.
- Si el volumen a ventilar aumenta, se requiere duplicar los tubos de intercambio en lugar de incrementar su diámetro o longitud.

La tecnología demuestra ser viable tanto desde el punto de vista técnico como económico en nuestro entorno, al garantizar un flujo constante de aire fresco y al reducir significativamente el consumo energético necesario para mantener condiciones de confort. Esto se logra al aprovechar el intercambio de calor con la masa terrestre, que ofrece una temperatura más estable. Sin embargo, es importante destacar que



esta solución tiene sus limitaciones, sobre todo en condiciones de temperaturas extremadamente altas o bajas, por lo que no puede sustituir por completo a los sistemas de calefacción o aire acondicionado.

## BIBLIOGRAFÍA

American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers. (2019). *Ventilación para una Calidad Aceptable de Aire Interior* (ASHRAE Standard 62.1-2019). ASHRAE.

Decreto del Poder Ejecutivo Nacional N° 351/79, *Higiene y Seguridad en el trabajo. Reglamentación Ley N° 19.587*. Buenos Aires, Argentina, 05 de febrero de 1979.

<<https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/decreto-351-1979-32030>>.

Dickson, M.H. y col – (2004) – *What is Geothermal Energy?* - Instituto de Geociencia y Recursos Geológicos, CNR, Pisa, Italia-

Cuevas, J. M. & González Penella, V., (2008). *Propiedades térmicas de los suelos para el dimensionado y diseño del sistema subterráneo mejorando la eficiencia energética de sistemas geotérmicos en climatización geotérmicos en climatización*, Madrid: AIDICO - Instituto Tecnológico de la Construcción.

Ernesto, L., Hobaica, M. & Segura, J., (2009). *Proyecto de climatización pasiva por conductos Enterrados. Caso: módulos de aulas del núcleo UCV*, Caicara de Maturín: Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción (IDEC).

Iannelli, L. y col (2012) - *Uso de energía geotérmica para el acondicionamiento de aire en viviendas – UNSAM-INTI-ENARGAS*

Iannelli, L. & Salvador, G., (2012). *Acondicionamiento térmico de aire usando geotérmica - ondas de calor*. Lat. Am. J. Phys. Educ, 6(1), pp. 99-102.

Llopis Trillo, G. y col. (2008) *Guía de la Energía Geotérmica – Dirección General Energía y Minas – Consejería de Economía y Consumo – Madrid, España*