

# **VIABILIDAD Y PERTINENCIA DE LOS SISTEMAS DE ACONDICIONAMIENTO AMBIENTAL POR GEOTERMIA DE BAJO COSTO EN EL ÁMBITO DE LA CIUDAD DE SANTA FE**

Eje 2: Tecnología para la construcción sustentable

**Rodriguez Alejandro Daniel**

**Eberhardt Guillermo Juan**

**Chiarella Paulo**

**Tejada Estefania**

Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo - UNL, Argentina, arodrig@fadu.unl.edu.ar

## **RESUMEN**

Las condiciones ambientales en general y las climáticas en particular, afectan y condicionan de diversas maneras la vida del hombre, cuyos hábitos actuales han generado: aumento de concentraciones de gases de efecto invernadero, el agotamiento y encarecimiento de combustibles fósiles, y el cuidado del medio ambiente, son los motivos principales por los cuales el uso de las energías a partir de fuentes renovables está incrementando y se hace necesario un estudio de viabilidad de estos y otros recursos que den respuesta a estos requerimientos.

En la cátedra de Instalaciones 3 creemos que las instalaciones deben formar parte de un criterio de diseño más amplio basado en el confort del usuario, la sustentabilidad de los edificios, la economía de recursos, el cuidado del medio ambiente, que permitirán encontrar soluciones para proveer estos beneficios cuantitativos, cualitativos, físicos, psicológicos a los usuarios de estos edificios, para finalmente mejorar las condiciones de calidad de vida.

Desde hace varios años, se viene trabajando de manera coordinada con la cátedra de Introducción a la Tecnología Turno Tarde, en el estudio y difusión de diferentes los sistemas pasivos, activos, combinados y sus sistemas de control, y en este último tiempo, en el análisis de la viabilidad y pertinencia algunos sistemas de energías renovables de baja escala y costo, aplicables en el ámbito de la ciudad de Santa Fe. Uno de las tecnologías que más nos interesa es el aprovechamiento de la energía geotérmica; en especial la de baja entalpia, conocida habitualmente como "Pozo Canadiense o Pozo Provenzal". Este sistema se basa en aprovechar la temperatura más fresca de la tierra a determinada profundidad, mediante un intercambiador de calor Aire-tierra enterrado, para proveer de aire renovado y más fresco a los ambientes.

**PALABRAS CLAVES: GEOTERMIA - POZO PROVENZAL - INTERCAMBIADORES -  
EFICIENCIA - SUSTENTABILIDAD**



## 1. INTRODUCCIÓN

Las condiciones ambientales en general y las climáticas en particular, afectan y condicionan de diversas maneras la vida del hombre cuyos hábitos actuales han generado: aumento de concentraciones de gases de efecto invernadero, el agotamiento y encarecimiento de combustibles fósiles, y el cuidado del medio ambiente, son los motivos principales por los cuales el uso de las energías a partir de fuentes renovables está incrementando y se hace necesario un estudio de viabilidad de estos y otros recursos que den respuesta a estos requerimientos.

El hombre, en la Argentina 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, siendo aproximadamente el 30% de la energía que se consume se utiliza en viviendas y edificios. Cerca de la mitad de esta energía se utiliza en acondicionamiento térmico de ambientes (Iannelli, 2012).

Actualmente los costos de la energía en nuestro país se han incrementado exponencialmente,<sup>1</sup> especialmente el referido a la energía eléctrica. En la provincia de Santa Fe, el costo de la energía eléctrica residencial, a junio de 2018 es de Kw los Primeros 75 kWh/mes \$2,09846 /kWh), y escalando con tres categorías superiores hasta los excedentes de 300 kWh/mes \$4,58956 /kWh).

Este escenario repercute directamente en los bolsillos de los usuarios y hace indispensable buscar alternativas, desde el punto de vista de la arquitectura para minimizar este impacto, basado en el confort del usuario que permitan encontrar soluciones para proveer de beneficios cuantitativos, cualitativos, físicos y psicológicos a los usuarios de los edificios, que mejoren las condiciones de calidad de vida; pero sin perder de vista la sustentabilidad, la economía de recursos, el cuidado del medio ambiente.

Desde hace varios años, se viene trabajando de manera coordinada, las cátedras de Instalaciones 3, con la cátedra de Introducción a la Tecnología Turno Tarde, en el estudio y difusión de diferentes los sistemas pasivos, activos, combinados y sus sistemas de control; y en este último tiempo, en el análisis de la viabilidad y pertinencia algunos sistemas de energías renovables de baja escala y costo en el ámbito de la ciudad de Santa Fe, en especial sobre sistemas geotérmicos de baja entalpia.

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 (Llopis Trillo, 2008).

A nivel nacional hay varios antecedentes muy interesantes, como el realizado en la "Casa E", una vivienda prototipo proporcionada por la Empresa BASF Argentina que se encuentra radicada en la localidad de Tortuguitas, provincia de Buenos Aires; en un trabajo conjunto realizado por

---

<sup>1</sup> Las facturas del servicio de energía eléctrica se incrementaron hasta un 2.800% desde 2016 en Capital Federal y el Conurbano bonaerense, según Defensa de Usuarios y Consumidores (DEUCO).



investigadores de la (UNSAM) Universidad de San Martín, el INTI (Instituto Nacional de Tecnología Industrial) y el ENARGAS (Ente Nacional Regulador del Gas), en donde se estudió durante un año el comportamiento de una instalación experimental de acondicionamiento geotérmico con intercambiador TIERRA-AIRE, con resultados muy prometedores, que nos alentaron a investigar la viabilidad del sistema en la zona de la ciudad de Santa Fe.

## 2. DESARROLLO

La energía geotérmica de baja entalpia basa sus aplicaciones en la capacidad del suelo de mantener una temperatura relativamente constante a una determinada temperatura, durante todo el año.

El hecho de que la temperatura subterránea es diferente de la temperatura superficial y su variación de la media anual es menor a una mayor profundidad, permite que la circulación del aire por un tubo, se produzca un intercambio de calor entre el aire y la tierra que lo rodea. El aire sirve como conductor térmico mientras que el tubo sirve como intercambiador térmico al mismo tiempo que lleva el aire hasta la construcción. Se estima que la temperatura del suelo a 2 m de profundidad oscila entre los 17 y los 19°, en la zona de estudio.

A estos sistemas se los conoce habitualmente como pozos canadienses o provenzales.

Este sistema se puede definir como un intercambiador energético aire-tierra o en inglés. **Earth to-air Heat exchanger** (EHX). El mismo consta de un tubo que tiene una entrada al interior del ambiente a climatizar y otra boca al exterior y que se encuentra enterrado a una profundidad de alrededor de dos metros. Por el mismo se hace circular de manera forzada aire tomado desde el exterior y se lo envía al ambiente a acondicionar, asegurando, además, un aporte de aire nuevo al local.

El sistema se puede utilizar durante todo el año, para calefaccionar en invierno y para refrigerar en verano, siempre y cuando haya una *diferencial de temperatura entre el ambiente externo y el sistema subterráneo de intercambio energético*.

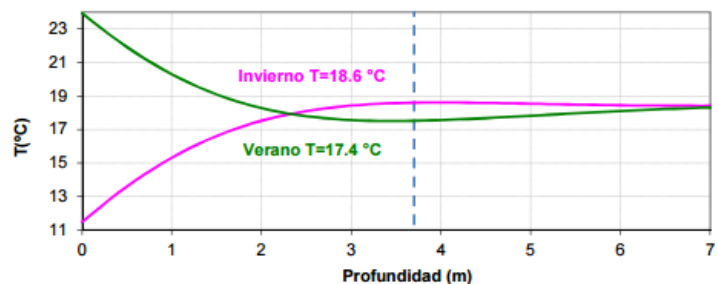


Imagen 1: temperatura del suelo en relación a la profundidad

Para dimensionar un sistema de intercambio de energía geotérmica se deben tener en cuenta las siguientes variables:

- Temperatura de ingreso del aire, y temperatura de consigna para el acondicionamiento del ambiente.
- Tipo del suelo, profundidad de las napas. Humedad del suelo. 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.

Tipo de suelo	Permeabilidad (m/s)	Conductividad térmica (W/mK)		Capacidad térmica volumétrica (MJ/m³K)	
		seco	saturado	seco	saturado
Arcilla	10 <sup>-8</sup> - 10 <sup>-10</sup>	0,2 - 0,3	1,1 - 1,6	0,3 - 0,6	2,1 - 3,2
Limo	10 <sup>-5</sup> - 10 <sup>-8</sup>	0,2 - 0,3	1,2 - 2,5	0,6 - 1,0	2,1 - 2,4
Arena	10 <sup>-3</sup> - 10 <sup>-4</sup>	0,3 - 0,4	1,7 - 3,2	1,0 - 1,3	2,2 - 2,4
Grava	10 <sup>-1</sup> - 10 <sup>-3</sup>	0,3 - 0,4	1,8 - 3,3	1,2 - 1,6	2,2 - 2,4

Tabla 2: Permeabilidad, conductividad y capacidad térmica para cada tipo de suelo (Llopis Trillo, 2008)





## CONDICIONES FAVORABLES PARA ELECCION DEL SISTEMA

### A. GEOGRAFICOS

La zona era inundable y a partir de sistema de DEFENSAS el Sector permitió el Uso residencial, suelo arenoso húmedo. Este tipo de suelo aumenta considerablemente la conductividad. (ver cuadro)

La ordenanza municipal, fija COTA a 16,00 IGN por riesgo de inundación, por lo que generalmente se recurre a TALUD de relleno, para el sobreelevado de viviendas.

Los loteos exigen medidas generosas, con superficies que permiten el recorrido de ductos.

### B. CONSTRUCTIVOS

Simpleza constructiva, de baja complejidad con utilización de Mano de obra local (no calificada)

Materiales del mercado local, de reconocida calidad.

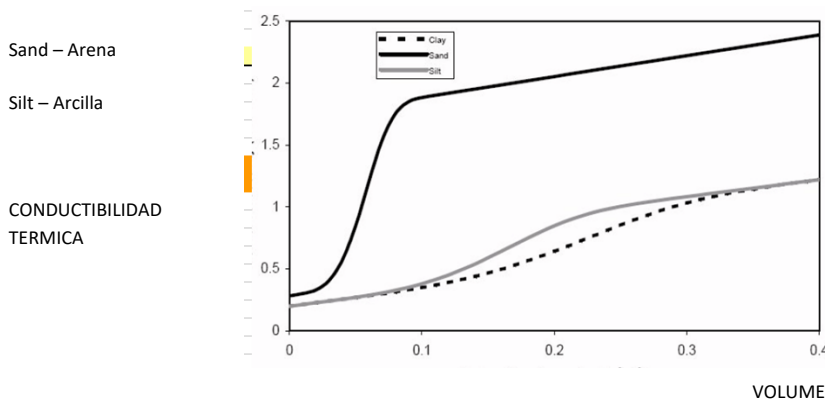
Uso de herramientas usuales para gremio.

### C. SUELOS

Propiedades Térmicas del Suelo – Ft: Consultores Técnicos y Ambientales

En nuestro caso se dan condiciones favorables, por ser suelo arenoso húmedo, con presencia de napas freáticas a escasos metros de profundidad.

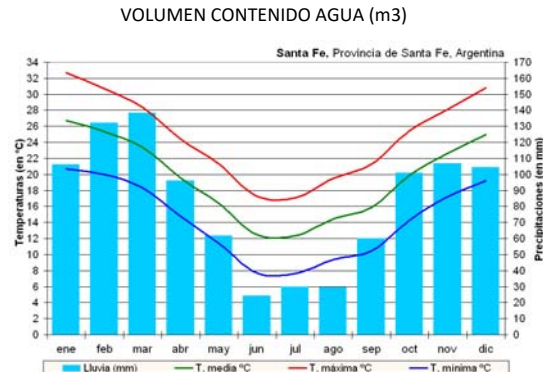
Favorece el intercambio, pero puede producir problemas a la hora de evacuar el agua de condensación.



Cuadro 4: Relación conductividad térmica de los suelos y el contenido de agua.

Descripción de la zona climática En la ciudad de santa fe.

*Definido como subtropical húmedo, correspondiente a Bosque Húmedo Templado Cálido-Subtropical para el Sistema de Zonas de Vida de Leslie Holdridge,<sup>1</sup> se destaca por la existencia de cuatro estaciones bien delimitadas, por la intensificación de la isla de calor urbana. La*





ciudad también se ve altamente influenciada por su cercanía a los ríos Paraná y Salado, los cuales influyen no solo en el clima, sino que suelen provocar inundaciones recurrentes a la región.<sup>2</sup>

Temperaturas en la ciudad de Santa Fe

Mes	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
Temp. máx. abs. (°C)	45.6	40.9	38.6	35.1	34.3	29.9	32.4	38.6	39.9	41.0	40.1	41.5	45.6
Temp. máx. media (°C)	32.1	30.7	28.1	24.5	21.6	17.8	17.8	19.6	21.8	25.0	27.9	30.6	24.8
Temp. media (°C)	25.4	24.3	22.1	18.4	15.6	11.9	11.8	13.1	15.2	18.6	21.5	24.1	18.5
Temp. mín. media (°C)	19.5	18.9	17.3	13.8	10.7	7.3	7.3	7.9	9.8	13.2	15.9	18.2	13.3
Temp. mín. abs. (°C)	9.3	8.2	4.1	0.2	-5.0	-6.0	-8.2	-5.0	-2.5	0.2	4.9	5.6	-8.2

De acuerdo a los Los valores de temperatura estudiados, se observa una marcada estación calurosa desde octubre hasta abril, y dos estaciones intermedias cortas, (otoño y primavera) y un suave y corto invierno.

De aquí podemos concluir que sobre el aspecto que más hay que trabajar, respecto del acondicionamiento ambiental, es sobre las cargas de calor que se generan durante estos seis meses al año.

Elección del sistema

Las energías renovables como la energía geotérmica, solar térmica, solar fotovoltaica, de la biomasa, eólica, etc., permiten obtener energía en muchas de sus formas de expresión, como son energía química, calórica, mecánica y/o eléctrica, y además, algunas de estas energías renovables, como es el caso particular de la energía geotérmica de baja entalpía, permiten disminuir el consumo de otros tipos de energía, es decir, que hacen más eficiente el consumo de energía eléctrica.

La Entalpía es la cantidad de energía de un sistema termodinámico que éste puede intercambiar con su entorno. Por ejemplo, en una reacción química a presión constante, el cambio de entalpía del sistema es el calor absorbido o desprendido en la reacción.

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	Bañeros, climatización	Bomba de calor, uso directo
Media entalpía	100 a 150	Electricidad	Ciclo binario
Alta entalpía	mayor a 150	Electricidad	Ciclo binario, uso directo

Reconociendo que los sistemas de Muy Baja o Baja entalpía son de BAJO RENDIMIENTO, pero también de BAJO COSTO y de simple de ejecución; y por ser el tipo de yacimiento geotérmico disponible en nuestra zona.

*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 (Girodgeo termia, 2008).*

#### DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA ADOPTADA

- Resuelta a partir de una tubería con un diámetro de 160 mm a 200 mm y de unos 20 m como mínimo. (Será verificado por cálculo). Se puede utilizar Polipropileno (Terra). Densidad aparente 0.905 g/cm<sup>3</sup>, conductividad térmica entre 0,24 W/m<sup>0</sup>K. Con espesores

<sup>2</sup> Fuente: Wikipedia. [https://es.wikipedia.org/wiki/Clima\\_de\\_la\\_ciudad\\_de\\_Santa\\_Fe](https://es.wikipedia.org/wiki/Clima_de_la_ciudad_de_Santa_Fe)





de pared que rondan entre 3,9 mm y 5,00 mm. Es posible mejorar la performance de los tubos intercambiadores utilizando PVC 200 mm 2,8 mm espesor CLOT COMPACTO DE TUBOFORTE con una conductividad térmica entre 0,22 W/m k.

- Cuanto más profunda se entierre la tubería, más estable será la temperatura, variando muy poco en verano como en invierno, respecto de la temperatura del aire en el exterior. En nuestro caso se extiende bajo el terraplén de relleno para obtener la cota indicada por Ordenanza Municipal. Por lo que consideramos un nivel de -1.50 mts. en su inicio, pero al quedar el tendido bajo la construcción, se incrementa notablemente la profundidad en el suelo que colaborara obteniendo temperaturas más convenientes y estables.
- Cuanto más tiempo circule el aire dentro de la tubería, mayor será el intercambio de calor. En alguna bibliografía sugieren 3 m/s. La velocidad puede llegar hasta 5 m/s, disminuyendo su eficacia en la transmisión y el confort acústico. Se colocará un ventilador (forzador) en el inicio del conducto de toma de Aire, por encima de los deflectores para ingreso de aire. Se aloja allí, un filtro de paño con una rejilla metálica a efectos de evitar ingreso de impurezas e insectos.
- Debido a que el aire caliente atraviesa un ambiente frío, se producirá condensación. Lo que obliga a colocar los conductos con una pendiente del orden de 2%, ubicando en final de recorrido un accesorio para recolección de agua y conducirlo a un lecho de piedras o Tanque subterráneo.

#### ADAPTACION DEL SISTEMA AL LUGAR

Reconocido las ventajas del sistema, y la posibilidad favorable que brinda el suelo arenoso húmedo y aprovechando la sobreelevación para obtener cota, las condiciones de suelo son óptimas (conductividad Térmica – profundidad de soterrado). Pero como contrapartida, surge el inconveniente que en épocas se registren sobreelevaciones del NIVEL FREATICO, que podrían implicar el ingreso de agua a conducto obstruyendo el funcionamiento. -

Según el documento elaborado por IFRH 2016 - 3er Encuentro investigadores Recursos hídricos, indica “La particular ubicación geográfica y altimétrica de la comuna de San José del Rincón, hace que normalmente y en forma natural los niveles freáticos se encuentren cercanos a superficies “, las que se agravan con las inundaciones o precipitaciones. La situación se ve agrandada por la intensa urbanización a la que está sometida la región.

Para afrontar los riesgos de ingreso de agua de Napa, se adopta utilizar los principios clásicos del Pozo canadiense / Provenzal, pero necesitamos realizar una adaptación especial a esta zona. Surge así una resolución en la que se considera:

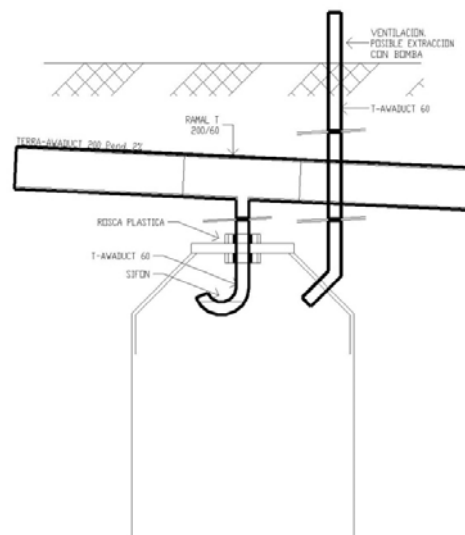


Fig 5: Detalle tanque cerrado para acumulación de agua de condensación.



Reemplazar el “lecho de piedra” o decantación de Agua de condensación.

Proveer a este Tanque cerrado:

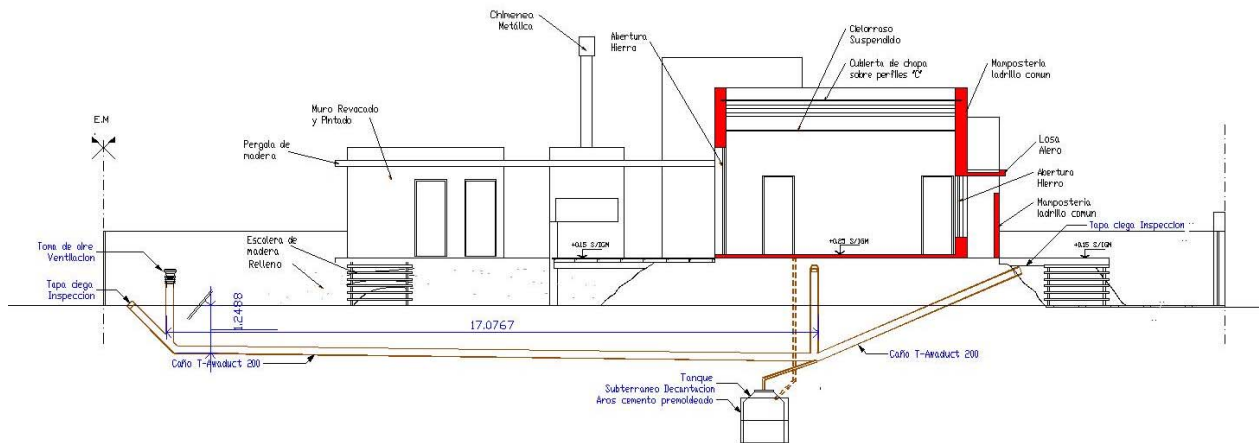
- a) un sistema de Sifón hidráulico (evitar ventilación a ramal principal).
- b) Una ventilación exclusiva. Utilizada a su vez para posible vaciado a través de zonda.
- c) Protección por posible flotación o deformación por presión de agua de Napa-
- d) Limpieza de conducto. Resuelta a partir de la ubicación de ramales de acceso tipo Boca de Inspección para ocasional limpieza y evitar la formación de moho u otros elementos que puedan generar olores. -

Para controlar el funcionamiento de ventilador forzador, se colocará un termostato con salida de contacto seco para hasta un máximo de 3A. con display y teclas de operación local y Comunicación inalámbrica Wi-Fi® 2,4 GHz b/g/n; compatible con otros sistemas de gestión y control (domótica); con lo que se optimiza el consumo eléctrico.

## PROYECTO

Para poder obtener datos reales sobre costos y posibilidades de implementación, se tomó como referencia un proyecto de vivienda de unos 85 m<sup>2</sup> de superficie cubierta, próximamente a ejecutarse en la zona de la costa.

Como exigencia del Reglamento de edificación municipal, debe situarse a 16,00 IGN, por lo que la construcción debe elevarse alrededor de 1,00 m. Esta situación facilita enormemente la instalación del sistema geotérmico tierra-aire.









## CALCULO

Para realizar los cálculos hemos tomado como ejemplo el proyecto ya referido, a construirse en la zona de estudio, en donde es posible ejecutarlo y verificar con posterioridad la verdadera eficacia del sistema, mediante mediciones.

Hemos utilizado el software GAEA 1.4.05 de Division of Building Physics & Solar Energy de la University of Siegen; en dos escenarios posibles, de acuerdo a la profundidad de las napas, con las siguientes variables:

- Un solo tubo de PVC o PP Densidad aparente: 915 Kg/m<sup>3</sup>. Conductividad térmica: 0,24 W/m<sup>°K</sup> de 160 mm de diámetro (mínimo) enterrado a una profundidad de 1,6 m mínimo.
- El soplador se coloca antes del intercambiador.
- Suelo arenoso húmedo con conductividad térmica 2,55 W/(K·m). Densidad 1520 kg/m<sup>3</sup> (promedio)
- Profundidad de la napas 5,00 m. (más desfavorable)
- Adaptación del soft con las variables del clima de la ciudad de Santa Fe.
- Volumen de aire a acondicionar, toda la vivienda: 300 m<sup>3</sup> con dos renovaciones por hora, lo que asegura de una óptima ventilación, muy superior a lo exigido por normas.
- Si modificamos del diámetro del tubo a 200 mm, (ideal); y la profundidad de las napas a 2,5 m (real-promedio), obtenemos un resultado mínimo de tubo intercambiador de 20 m y un resultado óptimo de 30 m de longitud.<sup>3</sup>

## 3. CONCLUSIONES

El sistema geotérmico con intercambiadores tierra –aire resultan de construcción muy sencilla en toda nuestra zona.

Si se encuentra correctamente dimensionado, el aire aportado a los ambientes, luego de acondicionado, se acerca a la temperatura de confort. En nuestro de clima, donde las altas temperaturas pueden extenderse hasta seis meses al año, permitiría prescindir de un sistema de aire acondicionado convencional con un gran ahorro energético, aunque para ello es indispensable que la construcción a climatizar posea un aislamiento eficiente. Además, en días de alto nivel de Humedad Relativa, colabora significativamente con la reducción de la humedad, y por lo tanto con las condiciones de confort.

La conductividad térmica del suelo es el factor muy importante en el diseño y en el rendimiento económico de los intercambiadores tierra aire; y en la zona de la costa cuenta con un terreno arenoso-húmedo, con excelente coeficiente de conductividad térmica, que favorece el rendimiento del sistema.

La vida útil del sistema se calcula en 30 años y el costo de implementación, incluido el termostato de control, oscila en \$ 36000.

---

<sup>3</sup> El cálculo ha sido verificado por otros medios como la utilización de formulas de manera manual y en la página <http://www.puitscanadien.com/index.php/theorie/calcul/> ; donde verifica con mayor precisión en 18.49 m de longitud de cañería para las mismas variables.



### Comparativa

Equipos	2 equipos de AA Potencia 7500 kcal/h Aprox.	Forzador + EHX + Termostato con Wi fi
Costo de equipos + instalación	\$ 44000	\$ 36000
Consumo eléctrico en funcionamiento	2,5 KW/h	0,225 KW/h

Con un uso estimado de 1800 hs al año, solo para refrigerar la vivienda en su totalidad, podemos concluir que el ahorro estimado es de 4050 Kw/h a un promedio de \$ 3.50 nos resulta en un ahorro de \$ 14175 anualizado.

Considerando la inversión y los costos financieros, se puede inferir que el período de amortización es alrededor **de 2,3 años, aproximadamente**.

Por lo expuesto consideramos apropiado el uso para la zona, próxima a la ciudad de Santa Fe, de un fuerte crecimiento habitacional de 40.000 habitantes en los últimos 15 años. (2017, Diario El Litoral de Santa Fe), que, con un sistema bajo nivel de complejidad de construcción y mantenimiento, permite moderar y atenuar las temperaturas, en un escenario de confort higrotérmico, con muy bajo costo de operación y mantenimiento.

### BIBLIOGRAFÍA

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

Escuer, Joan.- *Intercambiadores tierra-aire en la climatización de construcciones. Pozos provenzales y técnicas emparentada*. Geoconsultores tecnicos y ambientales, s.l. Lleida

Girodgeotermia – 2008 – *Qué es la energía geotérmica* - [En línea] - [http://www.girodgeotermia.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=209&Itemid=134](http://www.girodgeotermia.com/index.php?option=com_content&view=article&id=209&Itemid=134)

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

IFRH 2016 -3er Encuentro investigadores Recursos hídricos, indica “*La particular ubicación geográfica y altimétrica de la comuna de San José del Rincón*”

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

### Páginas Web consultadas

[http://ekopedia.fr/index.php?Title=Puits\\_canadien&oldid34263](http://ekopedia.fr/index.php?Title=Puits_canadien&oldid34263)

<http://www.lacasat.com.ar/>

<http://puits-canadien.com/>