



**Universidad de Belgrano**  
**Facultad de Ingeniería y Tecnología Informática**

**Trabajo final de Carrera:**  
*“Sistema de climatización para refrigeración y calefacción a partir de una fuente de energía geotérmica (TUE ALI)”*

**Alumna:** Roxana Alejandra Contreras Muñoz

**Tutor:** Ing. Jorge Errázquin

**Colaboradores:** Ing. María Celeste Lemos

**Carrera:** Ingeniería Electromecánica

**Matrícula:** 802-7383

**Presentación:** Ciudad de Buenos Aires, 14 de Diciembre de 2021



## ÍNDICE

1. INTRODUCCION AL TEMA .....	5
2. OBJETIVOS .....	6
2.1 General .....	6
2.2 Específicos .....	6
3. ESTADO ACTUAL Y SITUACIÓN PROBLEMÁTICA .....	7
3.1 Matriz energética Argentina .....	7
3.2 Consumo energético del sector residencial .....	12
3.3 Costos de la energía en Argentina.....	14
3.3.1 Modo frío: .....	14
3.3.2 Modo calor:.....	15
4. ENERGÍA GEOTÉRMICA .....	18
4.1 Concepto .....	18
4.2 Clasificación del recurso geotérmico .....	19
4.3 Utilización de la energía geotérmica .....	20
4.4 Características y beneficios de la explotación geotérmica .....	20
4.5 Energía geotérmica de baja entalpía .....	21
4.5.1 Circuito de intercambio de calor con la tierra .....	22
4.5.2 Pozos canadienses o Pozos Provenzales .....	22
4.6 Propiedades y potencial geotérmico del suelo.....	22
4.6.1 Conductividad térmica (k).....	23
4.6.2 Alta capacidad calorífica .....	23
5. LEYES TERMODINÁMICAS .....	24
5.1 Primera Ley .....	24
5.2 Segunda Ley .....	24
6. APORTE PERSONAL .....	24
6.1 Intercambiador Aire-Tierra (Tue Ali).....	25
6.2 Tipo de configuración elegida .....	26
6.2.1 Características de la configuración anillo.....	26
6.3 Diagrama básico de un intercambiador de calor aire-tierra .....	27
6.4 Partes del intercambiador de calor tierra-aire (Tue Ali) .....	28
6.5 Rendimiento esperado del sistema .....	33
6.6 Lugar de estudio.....	33
6.6.1 Características de la vivienda Bicentenario: .....	34
6.6.2 Ubicación .....	35



7. ENERGÍA GEOTERMICA DE BAJA ENTAPLIA EN BUENOS AIRES .....	37
7.1 Temperaturas esperadas en zona de investigación .....	37
7.2 Características Climáticas de la ciudad de La Plata .....	41
8. MODELO TEÓRICO PARA CALCULAR LA TEMPERATURA EN EL SUELO POR PROFUNDIDAD .....	41
8.1 Temperatura de la tierra.....	42
8.2 Temperatura de la tierra en la pared del tubo, no influenciada por él .....	44
8.3 Temperatura ambiente del aire .....	45
8.4 Transferencia de calor en el intercambiador de calor tierra-aire .....	45
8.5 Temperatura del aire en el tubo .....	46
9. CLIMATIZACION DEL HOGAR .....	47
9.1 Balance térmico invierno .....	47
9.1.1 Datos de partida .....	48
9.1.2 Condiciones Interiores.....	48
9.1.3 Condiciones exteriores para la República Argentina .....	49
9.1.4 Procedimiento Balance Térmico Invierno .....	50
9.2 Balance térmico verano.....	53
9.2.1 Procedimiento Balance Térmico Verano.....	54
9.2.2 Carga térmica por Conducción $Q_c$ .....	54
9.2.3 Carga térmica por ventilación $Q_a$ .....	54
9.2.4 Carga térmica solar $Q_s$ .....	56
9.2.5 Carga térmica por fuentes internas $Q_o$ .....	57
10.DIMENSIONAMIENTO EN CASA PROCREAR .....	60
10.1 Construcción .....	60
10.2 Profundidad de la instalación .....	61
10.3 Temperaturas .....	61
10.3.1 Temperatura exterior .....	61
10.3.2 Temperatura de confort.....	61
10.3.3 Temperatura del subsuelo.....	62
10.4 Punto de captación de aire.....	62
10.5 Filtros.....	62
10.6 Tubos horizontales enterrados.....	63
10.7 Punto de drenaje .....	63
10.8 Carga térmica .....	64
10.9 Ventilación .....	71
10.10 diseño (cálculo de modelo y largo) .....	73



10.11 Conexiones y encendido .....	75
11. COMPARACIÓN DE COSTOS. SISTEMA CONVENCIONAL VERSUS SISTEMA CON UTILIZACION DE ENERGÍA GEOTÉRMICA .....	84
11.1 Evaluación económica sistema convencional .....	84
11.2 Evaluación económica sistema geotérmico .....	85
12. VALIDACIÓN SOCIAL .....	86
13. CONCLUSIONES.....	87
14. BIBLIOGRAFÍA: .....	89
ANEXO 1: BALANCE ENERGÉTICO NACIONAL.....	91
ANEXO 2: PLANOS VIVIENDA BICENTENARIA.....	92
ANEXO 3: CÁLCULO DEL LARGO DE LA TUBERÍA DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR.....	98
ANEXO 4: ESPECIFICACIONES VENTILADOR SELECCIONADO.....	109
ANEXO 5: ESPECIFICACIONES IFAN 03 .....	112

## 1. INTRODUCCION AL TEMA

A unos pocos metros de la superficie, la temperatura del suelo es muy estable todo el año y muy próxima a unos  $19\pm 2^{\circ}\text{C}$ . Esta temperatura es muy cercana a la temperatura de confort. Con sistemas electromecánicos, es posible aprovechar este reservorio térmico para construir un acondicionador de aire natural, que reduce el uso de energía y las emisiones de gases de efecto de invernadero, generando ambientes confortables térmicamente tanto en invierno (calefacción) como en verano (aire acondicionado). Además de las ventajas medio 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 la necesidad de importar gas, generando un importante desarrollo industrial en el país, con la generación de empleos.

Mi trabajo final de carrera se basa en la investigación de la energía geotérmica de baja entalpía, su potencial y la generación de una memoria de cálculos para asegurar el óptimo diseño de un sistema de climatización frío-calor a partir de una fuente de energía geotérmica de baja entalpía, para ofrecer una alternativa a los sistemas convencionales en la Argentina.

Los cálculos se realizarán con el modelo de una vivienda perteneciente al programa Procrear del Gobierno de Argentina, con la intención de poder insertar estos tipos de sistemas de climatización en viviendas a construir y se pueda así, incorporar una alternativa a los sistemas de climatización convencionales. El lugar de estudio será en la ciudad de La Plata, ubicado en la provincia de Buenos Aires.

Se hará una evaluación técnica para ver la factibilidad de implementación de la energía geotérmica de baja entalpía en la provincia de Buenos Aires, según el potencial del suelo en esta zona.

Por último, se realizará una tabla comparativa de los costos de implementación del sistema propuesto, así como del ahorro generado que se obtiene al reemplazar este tipo de sistemas que usan energía geotérmica, por los convencionales. Para esto, se estimó una utilización de 12 horas diarias.

El sistema seleccionado es un intercambiador de calor suelo-aire que consta de un conjunto de tubos enterrados a poca profundidad y un sistema de impulsión de aire, que cumple con los requerimientos de caudal necesario. Se agrega la opción de comando del sistema impulsor de aire por Wifi mediante la conexión de un módulo electrónico enlazado a la red IOT, para alcanzar la condición objetivo de temperatura antes de que el usuario este en la vivienda. De ahora en adelante, lo llamaremos Tue Ali, que significa suelo cálido en Mapudungun.



## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 General**

- Presentar los cálculos para un dimensionamiento de Tue Ali en una vivienda del programa Procrear con ubicación en la Ciudad de la Plata, Provincia de Buenos Aires.

### **2.2 Específicos**

- Obtener más información sobre el impacto de la utilización de esta energía en cuanto a la reducción del consumo energético en viviendas y comercios.
- Generar un aporte en la Diversificación de la matriz energética en Argentina.
- Promoción de la energía geotérmica de baja entalpía.

### 3. ESTADO ACTUAL Y SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

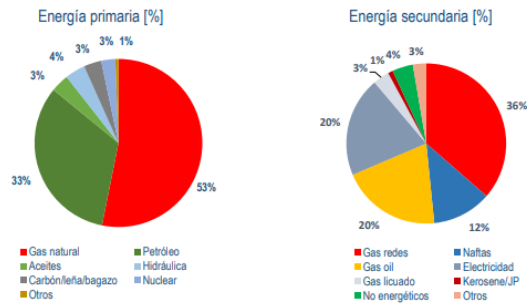
El problema presentado se relaciona con el elevado consumo energético y la alta dependencia de los combustibles fósiles en la matriz energética Argentina. Esto trae, entre otras consecuencias, el aumento de las emisiones de gases a la atmósfera, la reducción de los recursos naturales no renovables y el impacto sobre el cambio climático.

#### 3.1 Matriz energética Argentina

Hasta fines del 2010, la matriz energética argentina nos mostraba como Argentina es fuertemente dependiente de los hidrocarburos (53% depende del gas natural).

## Matriz energética argentina

Una matriz dependiente de los hidrocarburos con predominio del gas natural



Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable

Ministerio de Educación

Ministerio de Energía



Presidencia de la Nación

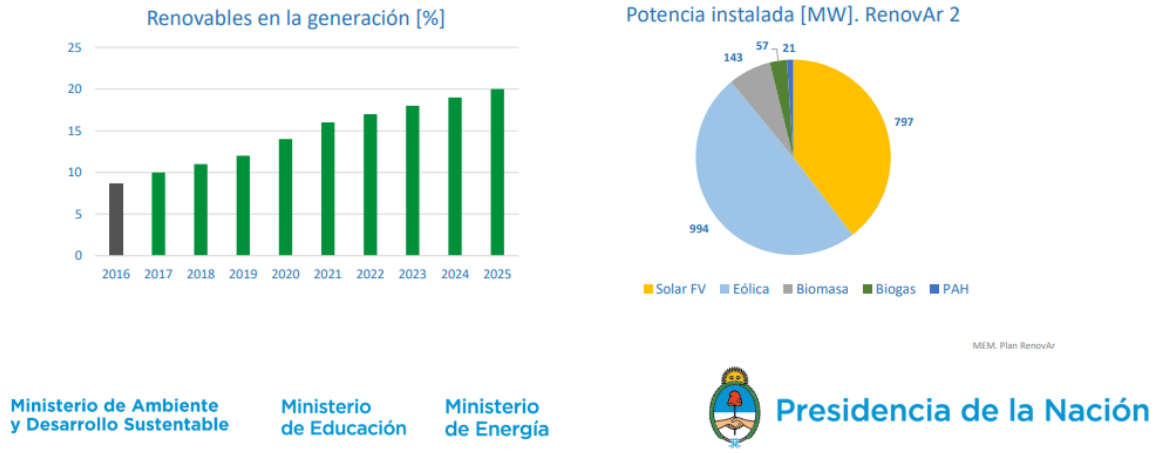
Matriz energética Argentina

Fuente: [https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/caligari\\_-\\_energia.pdf](https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/caligari_-_energia.pdf)

Y también teníamos que, en la generación de energía eléctrica, la participación de las energías renovables no pasa el 20% del total.

# Energías renovables

## Energías renovables en la matriz argentina



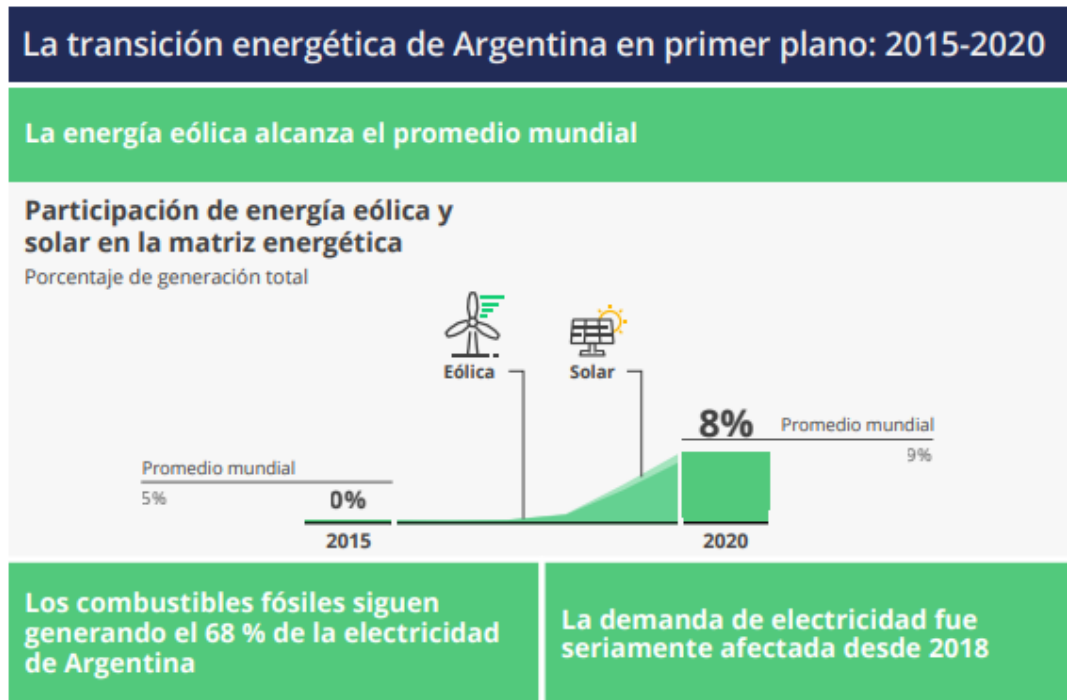
### Energías renovables en la matriz Argentina

Fuente: [https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/caligari\\_-\\_energia.pdf](https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/caligari_-_energia.pdf)

Sin embargo, podemos ver que en la actualidad hubo un avance en la utilización de energías renovables en la matriz energética. La generación de electricidad a partir de petróleo cayó vertiginosamente en los últimos cinco años. Durante el período 2015-2018, el gas fue reemplazando paulatinamente el petróleo que se dejaba de usar. Pero en el período 2018-2020, la energía eólica y solar reemplazaron al petróleo y gas conforme a la caída de la demanda. A pesar del aumento de la participación de la energía eólica y solar, el gas sigue siendo el combustible dominante en la matriz, y los combustibles fósiles seguían siendo responsables del 68 % de la energía eléctrica de Argentina en el año 2020.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> <https://ember-climate.org/wp-content/uploads/2021/03/Global-Electricity-Review-2021-Argentina-Translated.pdf>



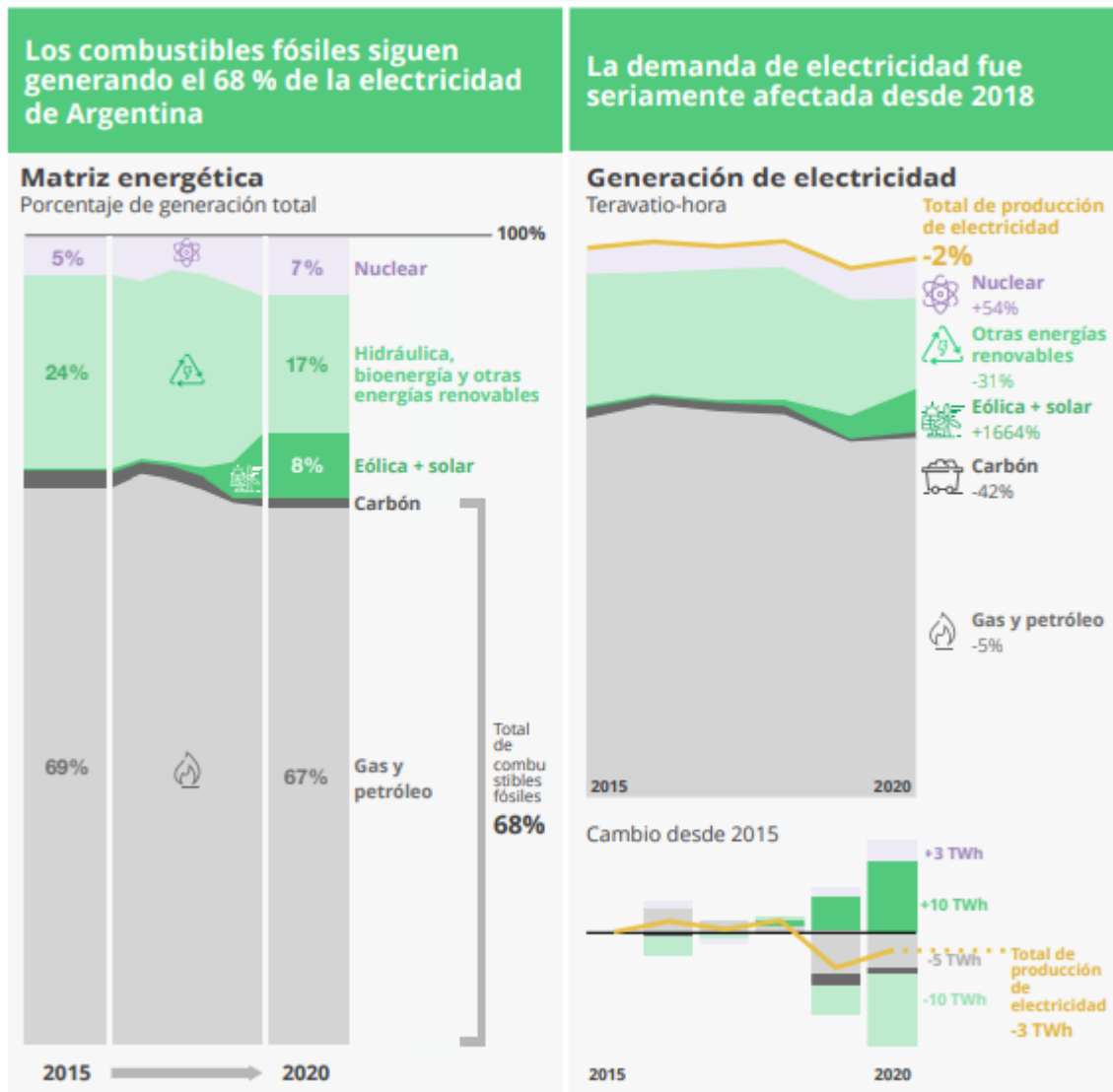


*Transición energética de Argentina 2015:2020*

*Fuente: EMBER GLOBAL ELECTRICITY REVIEW 2021 - PERFIL G20 - ARGENTINA*

1. El uso de energía eólica y solar para la generación de energía eléctrica ha pasado de 0 % a 8 % desde 2015.
2. La cuota de energía eólica y solar de Argentina (8 %) sigue siendo inferior al promedio mundial de 9,4 % y es poco probable que aumente en los próximos años.
3. La generación mediante petróleo se desplomó a partir de 2015, pasando de 17 % a 3 % su participación en el total de electricidad producida en Argentina.
4. Dos tercios de la electricidad argentina sigue siendo generada por combustibles fósiles.<sup>2</sup>

<sup>2</sup> <https://ember-climate.org/wp-content/uploads/2021/03/Global-Electricity-Review-2021-Argentina-Translated.pdf>

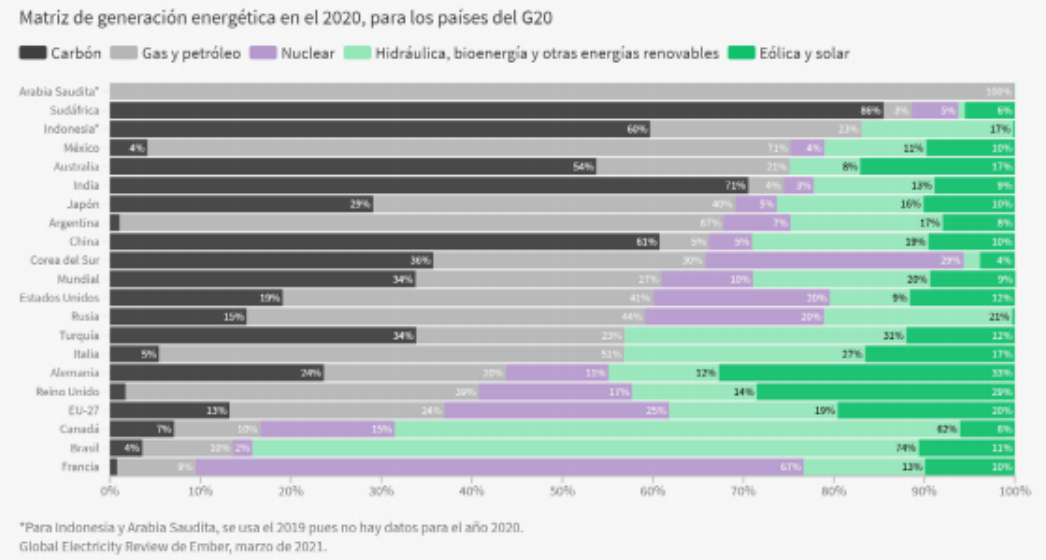


*Evolución en la Matriz energética de Argentina 2015:2020*

*Fuente: EMBER GLOBAL ELECTRICITY REVIEW 2021 - PERFIL G20 - ARGENTINA*

Pese al reciente crecimiento de la energía eólica y solar, la participación de combustibles fósiles de Argentina se sitúa en el medio campo del G20. Tiene la segunda más alta participación de gas, con casi el triple del promedio mundial. El avance de la transición energética deberá centrarse en reducir la participación del gas mediante el constante despliegue de tecnologías de energía limpia, tales como eólica y solar.

## Argentina ocupa el octavo lugar en participación de combustibles fósiles dentro del G20



Matriz de generación energética en el 2020, para los países del G20

Fuente: EMBER GLOBAL ELECTRICITY REVIEW 2021 - PERFIL G20 - ARGENTINA

Está demostrado que la transición de electricidad en Argentina puede lograrse. A pesar de un lento inicio, la energía eólica y solar ahora lideran el cambio hacia energías renovables. Tanto los esquemas RenovAR y Mercado a Término de Energía Eléctrica de Fuente Renovable (MATER) fueron instrumentos de políticas clave para el rápido incremento de la capacidad eólica y solar desde el año 2015 al 2020, pero desde el año 2018 no han tenido lugar nuevos anuncios ni contratos para el sector de energía renovable.<sup>3</sup> En lo que respecta a la energía geotérmica, actualmente no impacta siquiera en los números de la matriz energética, sin embargo, en Argentina se cuentan con al menos 4 puntos de interés geotérmico para generar energía eléctrica, 2 de ellos en la provincia de Neuquén (Copahue y Domuyo), otro en Tuzgle (Jujuy) y el cuarto en Valle del Cura (San Juan)<sup>4</sup>, pero hasta ahora el aprovechamiento es para generación de energía eléctrica. Actualmente hay estudios de la utilización de energía geotérmica de baja entalpía o temperatura, pero no hay aplicación real (solo de estudios y muy pocos casos) de la utilización de este tipo de energía en el país y es una energía renovable muy constante a lo largo del año, por lo que es ideal para climatización de hogares o

<sup>3</sup> <https://ember-climate.org/wp-content/uploads/2021/03/Global-Electricity-Review-2021-Argentina-Translated.pdf>

<sup>4</sup> <http://www.energia.gob.ar/contenidos/verpagina.php?idpagina=3877>

edificios, es por eso que este trabajo apunta a la utilización en el sector residencial y puede también proyectarse al sector comercial / industrial.

### 3.2 Consumo energético del sector residencial

Con los datos del balance energético nacional (emitido anualmente por la secretaría de Energía)<sup>5</sup> podemos analizar que, en Argentina, en lo que respecta a consumo energético residencial del año 2020, el 26,23% utiliza energía eléctrica y el 63,97% utiliza gas distribuido por redes con lo que el 9,8% restante se reparte entre leña, gas licuado, carbón de leña, Kerosene y Aerokerosene. Como podemos ver, en el sector residencial somos muy dependientes de combustibles fósiles.

Por otro lado, se agruparon todos los datos de los balances energéticos (2009 a 2020) para ver gráficamente como se ha elevado la demanda de electricidad y gas distribuido por redes en el sector residencial.

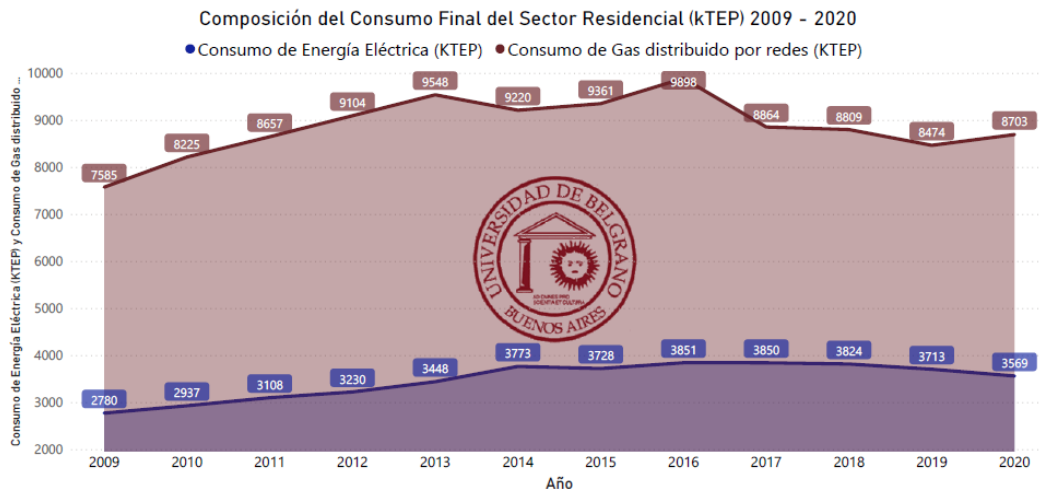


Gráfico: Elaboración propia

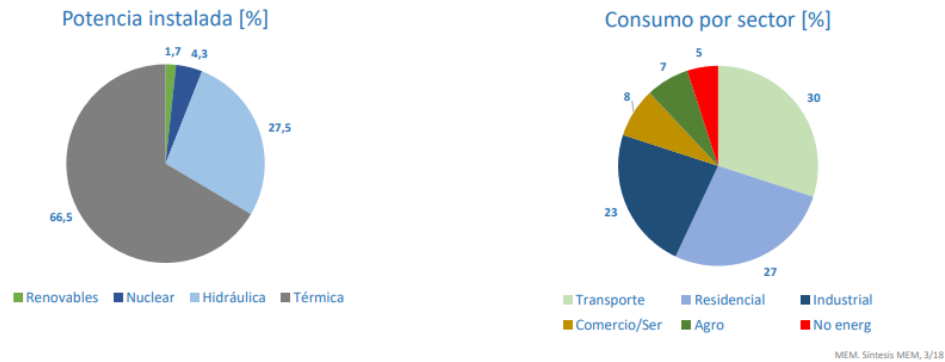
Fuente de datos: <http://datos.minem.gob.ar/dataset/balances-energeticos>

Según datos del ministerio de energía, este consumo residencial corresponde al 27% del total de consumo energético en el país.

<sup>5</sup> <http://datos.minem.gob.ar/dataset/balances-energeticos>

# Energías renovables

## Generación y uso de la electricidad en Argentina



Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable

Ministerio de Educación

Ministerio de Energía

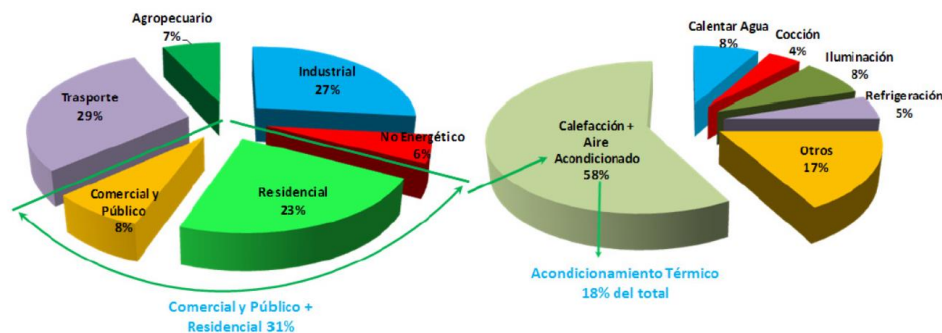


Presidencia de la Nación

### Energías renovables en la matriz Argentina

Fuente: [https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/caligari\\_-\\_energia.pdf](https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/caligari_-_energia.pdf)

De este consumo alrededor del 50% se usa en viviendas para acondicionamiento de aire, calefacción y refrigeración <sup>6</sup>. Por lo tanto, al menos el 13,5% del consumo energético total del país, se emplea en acondicionamiento térmico. El poder implementar un sistema de climatización dependiente de energías renovables, impacta en gran parte en el consumo general de electricidad y de gas distribuidos por redes en Argentina.



Usos de la energía en Argentina. Fuente: Secretaría de Energía de la Nación (2010)

<sup>6</sup> Acondicionamiento térmico de aire usando energía geotérmica-ondas de calor. Autor: Leila Iannelli y Salvador Gil Pág. 99

### 3.3 Costos de la energía en Argentina

El sistema de comparación que se utilizara en este trabajo es el aire acondicionado frío-calor, ya que, en temas de practicidad cumple la misma función que el sistema planteado, Tue Ali.

#### 3.3.1 Modo frío:

Un aire acondicionado eficiente (con etiqueta clase A o superior) de 2200 frigorías alcanza para enfriar un dormitorio y consume en torno a 1 kWh. Esta tabla resume precios finales orientativos por una hora de uso según la temperatura deseada para un cliente domiciliario promedio.

Temperatura (°C)	Consumo kWh	Precio orientativo por 1 hs
24	1,000	\$3,70
23	1,065	\$3,94
22	1,134	\$4,19
21	1,208	\$4,47
20	1,286	\$4,75
19	1,370	\$5,07
18	1,459	\$5,40

*Precios finales en pesos argentinos orientativos por una hora de uso según la temperatura deseada para un cliente domiciliario promedio.*

*Fuente: <https://www.edesur.com.ar/novedades/cuanto-consume-un-aire-acondicionado/>*

El precio por hora varía según el tipo de cliente residencial que se consigna en el cuadro tarifario, por eso expresamos un promedio estimado. La categoría más baja (R1) cuesta en torno a \$3,62 pesos argentinos, mientras que la más alta (R9) es de \$5,10 pesos argentinos.

La potencia de enfriamiento de un aire acondicionado se expresa en frigorías; cuando mayor sea, también lo será el consumo. Tomando como referencia un termostato en 24 °C, un aparato eficiente de 3500 frigorías demanda 1,61 kWh y 4500 frigorías, 2,15 kWh.<sup>7</sup>

Frigorías	Consumo kWh a 24° C	Precio orientativo por 1 hs
2.200	1,000	\$3,70
3.500	1,613	\$5,96
4.500	2,153	\$7,96

*Precios finales en pesos argentinos orientativos por una hora de uso según las frigorías a 24°C*

*Fuente: <https://www.edesur.com.ar/novedades/cuanto-consume-un-aire-acondicionado/>*

<sup>7</sup> <https://www.edesur.com.ar/novedades/cuanto-consume-un-aire-acondicionado/>

### 3.3.2 Modo calor:

El aire acondicionado en modo calor es una forma conveniente de calefaccionar un ambiente siempre y cuando el artefacto certifique un buen estándar de consumo por potencia.

A modo de referencia, un aire Split de 2200 calorías (clase A o superior) alcanza para calefaccionar adecuadamente un ambiente de entre 50 a 60 m<sup>2</sup> que no presente filtraciones de aire frío en puertas y ventadas. La temperatura ideal es 20°C durante el día para asegurar un consumo promedio de 1,01 kWh que equivalen a \$4,25 pesos argentinos estimados en promedio según el cuadro tarifario vigente para clientes residenciales. Por cada grado que se suba el termostato, la demanda de energía puede incrementarse entre 7 y 9%.<sup>8</sup>

Temperatura (°C)	Consumo kWh	Precio orientativo por 1 hs
23	1,27	\$5,35
22	1,17	\$4,95
21	1,09	\$4,59
20	1,01	\$4,25

*Precios finales en pesos argentinos orientativos por una hora de uso según las frigorías a 24°C*

*Fuente: <https://www.edesur.com.ar/novedades/como-usar-el-aire-acondicionado-en-modo-calor/>*

En relación con otros artefactos eléctricos para calefacción, el aire acondicionado en modo calor reviste un nivel de consumo horario alto, pero bastante inferior respecto de otros. Este cuadro comparativo indica su posición relativa frente a los demás.

Artefacto	Consumo en kWh	Precio orientativo por 1 hora
Caloventor 2000 w	2,00	\$8,40
Estufa a cuarzo de 2 velas	1,20	\$5,04
Aire Acondicionado a 20° C	1,01	\$4,25
Radiador eléctrico estándar	0,96	\$4,03
Panel calefactor simple	0,60	\$2,52

*Fuente: <https://www.edesur.com.ar/novedades/como-usar-el-aire-acondicionado-en-modo-calor/>*

<sup>8</sup> <https://www.edesur.com.ar/novedades/como-usar-el-aire-acondicionado-en-modo-calor/>

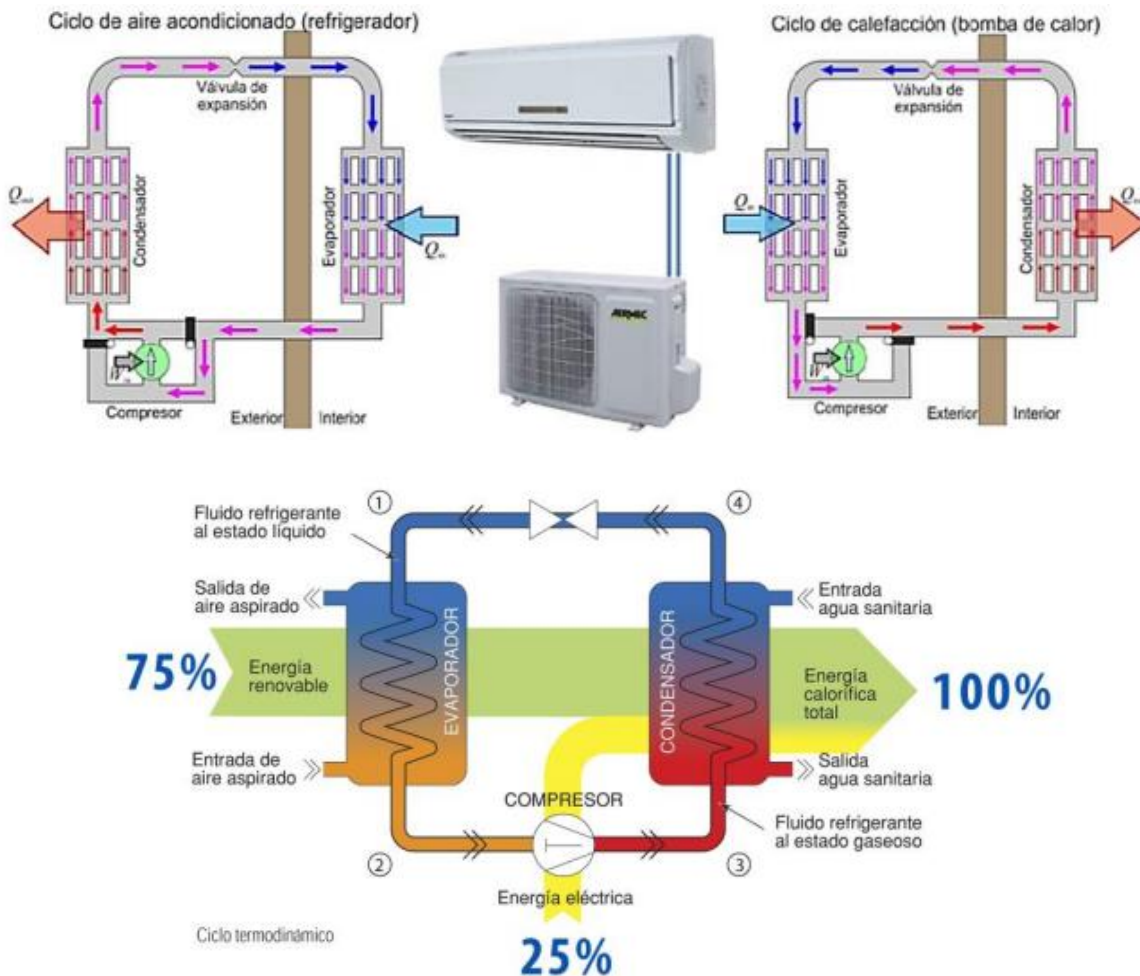
TRABAJO FINAL DE CARRERA, FACULTAD DE INGENIERÍA:  
 TUE ALI. Sistema de climatización para refrigeración y calefacción a partir de una fuente de energía geotérmica

Si comparamos potencia de calefacción, los sistemas de calefacción basados en resistencia eléctrica serán menos eficientes que los sistemas basados en bomba de calor como el caso de aire acondicionado.

**Sistemas por combustión:**

Bombas de calor: Los sistemas de bombas de calor emplean la energía del ambiente para calefaccionar, refrigerar o bien generar agua caliente sanitaria.

De acuerdo al medio por el cual transforman obtienen y transforman la energía para su funcionamiento, existen bombas de calor de Suelo-Aire, Suelo-Agua/Agua-Agua, Agua-Aire/Aire Agua o Aire-Aire.



Fuente: <https://www.calificacionenergetica.cl/media/CEE-Modulo-04-Equipos-transformadores-de-energia.pdf>



**Coficiente de rendimiento:** bomba de calor, aire acondicionado

En general se define eficiencia térmica ( $\eta$ ) de cualquier motor térmico como la relación entre el trabajo que hace ( $W$ ) para el calor de entrada a la alta temperatura ( $Q_H$ ).

$$\eta_{TH} = \frac{W}{Q_H}$$

La eficiencia térmica  $\eta_{TH}$ , representa la fracción de calor  $Q_H$  que se convierte en trabajo.

Pero en bombas de calor y refrigeradores, el trabajo no es una salida. Para una bomba de refrigeración o de calor, la eficiencia térmica indica el grado en que la energía agregada por el trabajo se convierte en salida neta de calor. Desde un punto de vista económico, el mejor ciclo de refrigeración es aquel que elimina la mayor cantidad de calor del interior del refrigerador (depósito frío) para el menor gasto de trabajo mecánico o energía eléctrica. La relación relevante es, por tanto, cuanto mayor sea esta relación, mejor será el refrigerador. Esta relación se mide con el coeficiente de rendimiento, denotado por COP.

El COP generalmente excede 1, especialmente en bombas de calor, porque, en lugar de simplemente convertir el trabajo en calor, bombea calor adicional desde una fuente de calor hacia donde se requiere el calor.

En general, el COP depende en gran medida de las condiciones de funcionamiento, especialmente la temperatura absoluta y la temperatura relativa entre el disipador de calor y el sistema.

Esto implica que el rendimiento nunca será del 100%

**Sistemas Eléctricos:**

Efecto joule y funcionamiento de equipos

Se conoce como efecto Joule, al fenómeno que se produce cuando una corriente eléctrica circula a través de una resistencia. Esto produce calor, en una cantidad que se puede calcular como:

$$Q = R \times I^2$$

Donde Q: calor

R: Resistencia eléctrica

I: Corriente



Fuente: <https://www.calificacionenergetica.cl/media/CEE-Modulo-04-Equipos-transformadores-de-energia.pdf>

En general, esta transformación tiene 100% de eficiencia. Es decir, toda la energía eléctrica se transforma en calor.

#### **Equipos de calefacción eléctrica directa:**

Este tipo de equipamiento es muy simple. Su eficiencia de generación es del 100% y es independiente de la calidad de ellos. La calidad de esos sistemas influye en la seguridad, potencia y control, pero no en la eficiencia térmica.

Cuando se utiliza un sistema con almacenamiento (por ejemplo, termo eléctrico), se generan pérdidas por transferencia de calor en la envoltura del estanque.



Calefactores radiantes



Convector

Fuente: <https://www.calificacionenergetica.cl/media/CEE-Modulo-04-Equipos-transformadores-de-energia.pdf>

## **4. ENERGÍA GEOTÉRMICA**

### **4.1 Concepto**

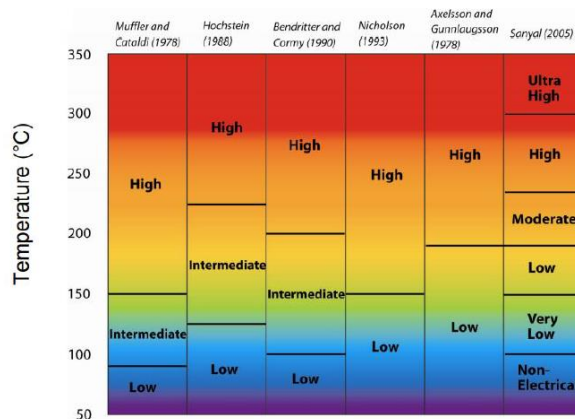
Según la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA), la energía Geotérmica es el calor que se desprende desde el núcleo de la tierra. El agua y/o el vapor transportan la energía geotérmica a la superficie terrestre. Dependiendo de sus características, la energía geotérmica puede ser usada ya sea para calentar o ser aprovechado para generar energía eléctrica limpia. Para el caso de la generación de energía eléctrica, es necesario disponer de recursos de alta o media entalpía, los

cuales normalmente se encuentran localizados en regiones donde las placas tectónicas están activas.

Existen diferentes tecnologías para aprovechar la geotermia con diferentes niveles de madurez. Las tecnologías para usos directos tal como calentamiento urbano, bombas de calor geotérmicas, invernaderos entre otras aplicaciones ampliamente usadas pueden considerarse maduras. La tecnología utilizada para la generación de energía eléctrica a partir de reservorios hidrotermales con alta permeabilidad también es madura y rentable, dado que se explota desde 1913. Con las plantas que utilizan tecnología dry steam (vapor seco) y flash se alcanzan temperaturas de más de 180°C. Los campos de temperatura media son cada vez más utilizados para desarrollar plantas binarias. Adicionalmente, nuevas tecnologías están siendo desarrolladas, como los Sistemas Geotérmicos Mejorados (EGS, Enhanced Geothermal Systems).<sup>9</sup>

## 4.2 Clasificación del recurso geotérmico

Según el trabajo “Classification of geothermal Resources – an engineering approach” realizado por K.C. Lee en Instituto de Geotermia de la Universidad de Auckland, un recurso energético geotérmico se mide con diferentes variables: potencia terrestre, calor terrestre, reserva geotérmica, campo geotérmico, área geotérmica, acuífero geotérmico, sistema geotérmico, fuente geotérmica, sistemas hidrotermales, etc. Los recursos geotérmicos han sido clasificados como recursos de baja, media y alta entalpía según sus temperaturas de reservorio como se muestra en la Figura:



Diferentes clasificaciones de recurso geotérmico según su temperatura.

Fuente: U.S. Geological Survey

Los rangos de temperatura utilizados son arbitrarios y no poseen un consenso para definirlos. La temperatura es utilizada como el parámetro de clasificación porque es considerada como uno de los

<sup>9</sup> <https://www.irena.org/geothermal>

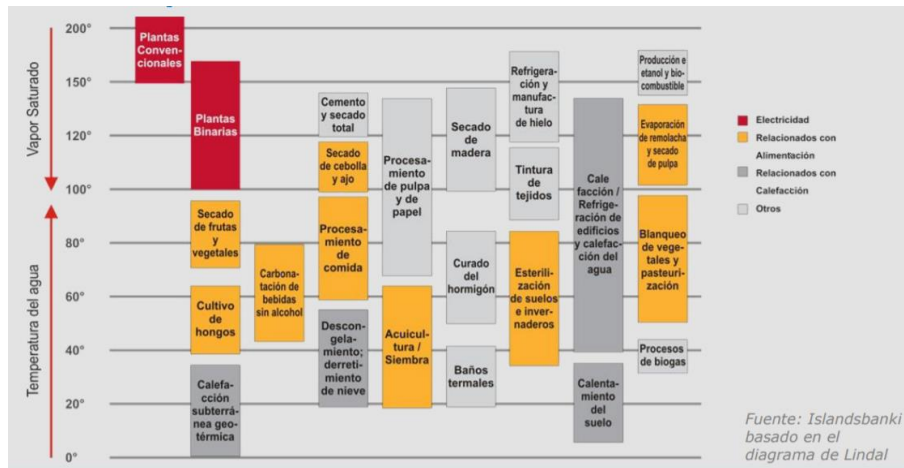
parámetros más simples. De todos modos, la temperatura utilizada es el promedio de temperatura de reservorio medida durante la exploración o medida por geotermómetros u otros medios.

### 4.3 Utilización de la energía geotérmica

Existen dos formas básicas de uso de la energía de origen geotérmico:

**Uso directo del calor:** que se aplica para calefaccionar viviendas u otros tipos de edificios; para procesos industriales que utilizan calor, como por ejemplo las fábricas de celulosa, papel, conservas, harinas de pescado; para el secado de frutas y vegetales en general; para calefacción de invernaderos, establos y criaderos, para piscicultura, para calentamiento de suelos de cultivos en zonas frías, para derretir la nieve de los caminos. Para cada una de estas aplicaciones es necesario que la temperatura del agua sea adecuada.

**Uso eléctrico del fluido:** Consiste en la generación de electricidad mediante instalaciones similares a las centrales térmicas convencionales. La diferencia radica en el origen del vapor que mueve las turbinas que alimentan el generador eléctrico. En una central térmica convencional el vapor “se fabrica” quemando derivados de petróleo, gas o carbón, mientras que en la planta geotérmica no es necesario gastar combustible pues es provisto directamente por la naturaleza.



Utilización del recurso geotérmico en función de su temperatura

Fuente: U.S: Islandsbanki basado en el diagrama de Lindal

### 4.4 Características y beneficios de la explotación geotérmica

- El recurso es autóctono y solo puede ser explotado en origen.
- Su explotación está asociada al riesgo minero.

- Los yacimientos más importantes están asociados a sistemas hidrotermales alterados por fenómenos de vulcanismo reciente.
- Internacionalmente es considerado como un recurso de tipo renovable.
- Su valor solo está asociado a los costos de explotación.
- Bajo impacto ambiental.
- Costos de producción competitivos
- Utiliza un recurso natural, renovable, como son los fluidos geotérmicos, para la generación de Energía Eléctrica.
- Es energía constante y permanente, ya que no depende de variables hidrológicas o meteorológicas para su operación.
- Es energía nativa, es decir que su aprovechamiento no depende terceros o precios fijados externamente.
- Además de electricidad permite otros usos directos como calefacción invernaderos, secaderos, etc.

## **4.5 Energía geotérmica de baja entalpía**

La energía geotérmica de baja entalpía basa sus aplicaciones en la capacidad que el subsuelo posee de acumular calor y de mantener una temperatura sensiblemente constante, entre 3 y 20 m de profundidad, a lo largo de todo el año. Este calor se obtiene por la radiación solar y el flujo de calor desde el interior de la Tierra a la superficie.

Debido a que el contenido en calor de los recursos geotérmicos de baja entalpía es insuficiente para producir energía eléctrica, aquellos recursos con temperaturas por debajo de 50° e incluso hasta 15°C, pueden ser utilizados para producción de agua caliente sanitaria y para climatización.<sup>10</sup>

En términos de climatización residenciales, el sistema geotérmico a baja temperatura no necesita de un sistema adicional o secundario, ya que éste es capaz de abastecer completamente las demandas energéticas, solo depende del tipo de sistema y equipamiento empleado, con lo cual es muy flexible para cualquier instalación y destino.

El sistema de aprovechamiento de la energía geotérmica de baja entalpía se basa en dos circuitos principales:

1. Circuito de intercambio de calor geotérmico con la tierra.
2. Circuito de distribución en la vivienda.

---

<sup>10</sup> <https://www.appa.es/appa-geotermica-de-baja-entalpia/que-es-la-energia-geotermica-de-baja-entalpia/>

### **4.5.1 Circuito de intercambio de calor con la tierra**

Los intercambiadores aire-tierra utilizan el subsuelo para enfriamiento y calentamiento del caudal de aire que circula a través de tubos que se entierran en el subsuelo; contribuye a reducir la temperatura del aire que ingresa en el área deseada durante el verano y aumentándola durante el invierno. Su uso en acondicionamiento térmico se ha extendido en los últimos años, haciéndose particularmente útil en invernaderos, en los que en muchos casos permite un ahorro de más del 45 % de sus requerimientos energéticos y en edificios públicos (hoteles, escuelas). Estos sistemas son utilizados para el acondicionamiento directo de la temperatura interior de las construcciones.<sup>11</sup>

### **4.5.2 Pozos canadienses o Pozos Provenzales**

En origen, el pozo provenzal fue una canalización en piedra enterrada en el flanco de una colina que servía para canalizar por convección natural un flujo de aire que transitaba desde una boca externa a través de una conducción hacia la pieza principal de las construcciones tradicionales. En invierno, la tierra recalienta este aire entrante mientras que en verano lo enfría gracias a la inercia térmica del suelo. Un sistema poco sofisticado y de baja eficiencia pero que, en una edificación provenzal tradicional, donde la inercia térmica es elevada debido a la existencia de muros o paredes de gran espesor y pocas aberturas, el resultado es más que apreciable. El pozo provenzal es de hecho un intercambiador geotérmico que asegura la función de climatización estival o invernal del aire de ventilación. Este sistema es llamado también pozo canadiense y consiste en un conjunto de tubos enterrados que funcionan como intercambiadores de calor suelo-aire y que se utilizan con el objetivo de enfriar o calentar una corriente que circula por su interior. La función de los tubos es en verano, enfriar el aire que ingresa en el lugar a climatizar y durante el invierno, calentarlo.

Para el diseño del sistema se deben considerar las siguientes variables:

- Profundidad óptima
- Diámetros y longitudes de los conductos
- Velocidad del flujo de aire
- Potencia de los motores que fuerzan el flujo de aire

## **4.6 Propiedades y potencial geotérmico del suelo**

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)

---

<sup>11</sup> DISEÑO DE CLIMATIZACIÓN APROVECHANDO ENERGÍA GEOTÉRMICA UTILIZANDO INTERCAMBIADOR DE CALOR AIRE-TIERRA EN FINCA PRIMAVERA, PUEBLO NUEVO VIÑAS, SANTA ROSA, GUATEMALA. Autor: Jorge Alejandro Avilés Jiménez

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.<sup>12</sup>

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.

#### 4.6.1 Conductividad térmica (k)

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).

#### 4.6.2 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 siguiente tabla, pero se observa que es un buen acumulador de calor (Cuevas & González Penella, 2008).<sup>13</sup>

Material	Conductividad Térmica (J°/C/s)	Capacidad Calorífica (J°/cm <sup>3</sup> /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

*Tipos de Suelo: Conductividad Térmica y Capacidad Calorífica*

*Fuente: ANA MARÍA CABEZAS, BARCELONA, OCTUBRE 2012*

<sup>12</sup> EFICIENCIA ENERGÉTICA A TRAVÉS DE UTILIZACIÓN DE POZOS CANADIENSES CON EL ANÁLISIS DE DATOS DE UN CASO REAL "CASA POMARET", ANA MARÍA CABEZAS, BARCELONA, OCTUBRE 2012

<sup>13</sup> EFICIENCIA ENERGÉTICA A TRAVÉS DE UTILIZACIÓN DE POZOS CANADIENSES CON EL ANÁLISIS DE DATOS DE UN CASO REAL "CASA POMARET", ANA MARÍA CABEZAS, BARCELONA, OCTUBRE 2012

## 5. LEYES TERMODINÁMICAS

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.

### 5.1 Primera Ley

También conocida como principio de conservación de energía. Propuesta por Antoine Lavoisier, establece que, si se realiza trabajo sobre un sistema, éste intercambia calor con otro, por lo tanto, 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.

### 5.2 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 cabo, teniendo en cuenta sólo el Primer Principio. La transferencia de energía puede darse por diferentes procesos como: conducción, convección y radiación térmica.<sup>14</sup>

## 6. APOORTE PERSONAL

El estudio propone como una posible solución al problema planteado en la sección 3, la aplicación del recurso geotérmico de baja entalpía mediante un intercambiador de calor tierra-aire para climatización de un hogar en la ciudad de la Plata, provincia de Buenos Aires, ya que, por un lado, es un tipo de energía renovable que se obtiene a partir del calor del interior de la Tierra aprovechando ese calor sin necesidad de algún proceso que requiera combustión; por tanto, es una forma de energía limpia sin emisiones de dióxido de carbono. Y, por otro lado, es de fácil acceso al encontrar las temperaturas deseadas para cumplir con el confort térmico a pocos metros bajo tierra.

Estos sistemas aprovechan la estabilidad térmica del terreno (cuya temperatura se aproxima a la temperatura media anual) para pretratar (refrigerando o calentado) el aire exterior e introducirlo en el edificio mediante tiro natural o apoyo mecánico. El potencial de aprovechamiento consiste en la

---

<sup>14</sup> EFICIENCIA ENERGÉTICA A TRAVÉS DE UTILIZACIÓN DE POZOS CANADIENSES CON EL ANÁLISIS DE DATOS DE UN CASO REAL “CASA POMARET”, ANA MARÍA CABEZAS, BARCELONA, OCTUBRE 2012



amortiguación de la marcada sinusoide de temperaturas de verano e invierno mediante la incorporación de un aire de renovación a temperatura sensiblemente constante a lo largo de todo el año, derivándose de ello un sustancial ahorro energético.

## 6.1 Intercambiador Aire-Tierra (Tue Ali)

El sistema Tue Ali consiste en enterrar una serie de tubos a una profundidad suficiente (entre 1.5 metros y 5 metros) donde la temperatura del suelo no se ve afectada por el clima exterior y hacer pasar aire por los tubos con la ayuda de un ventilador de baja potencia, el cual, a su vez, se podrá conectar en forma opcional a un sistema IOT de control electrónico por el cual el usuario accede con su celular y puede por un lado iniciar el sistema sin estar en el lugar de la instalación, ya que uno de los contras del sistema es el tiempo necesario para climatizar un ambiente con las temperaturas de confort deseadas (dependiendo de la superficie puede tardar entre 30 a 150 minutos) y además el mismo sistema de control electrónico permite variar los caudales de aire ingresados, variando la temperatura deseada.

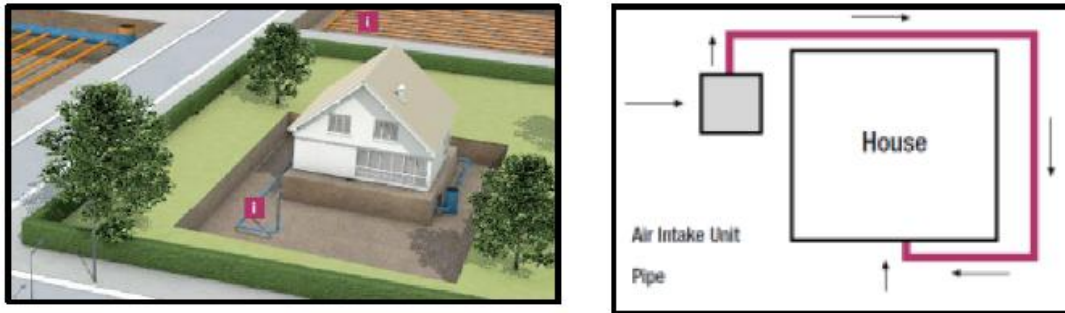
Este fluido de intercambio, al entrar en contacto con las paredes del tubo que se encuentran a la misma temperatura del subsuelo, siendo esta temperatura menor o mayor que la exterior, logran el enfriamiento o calentamiento de este y luego se hace circular el aire tratado hacia el interior del edificio. El subsuelo actúa como intercambiador de calor.

Existen varias configuraciones que pueden ser utilizadas al momento de implementar el sistema de intercambiador de calor aire-suelo, dentro de los que se destacan:

- **Anillo:** consiste en rodear el edificio con la tubería enterrada, es apta para construcciones pequeñas y con poca demanda.
- **Rejilla:** se realiza una red de tuberías enterradas, se realiza para construcciones grandes y cuando se dispone de espacio suficiente.
- **Verticales:** consiste en aplicar una tubería enterrada de forma vertical, se utiliza generalmente para grandes construcciones, pero cuando no existe espacio suficiente para utilizar alguna de las opciones mencionadas anteriormente.

## 6.2 Tipo de configuración elegida

En esta investigación, se elige el sistema tipo anillo porque resulta el más apto para el fin de este trabajo, que es acondicionamiento de residencias. Se instalará un tubo rodeando la casa en el terreno vacío contiguo a la misma.



**Figura 2.2:** Distribución directos aislados

Fuente: (Rehau, 2012)

### *Configuración tipo Anillo*

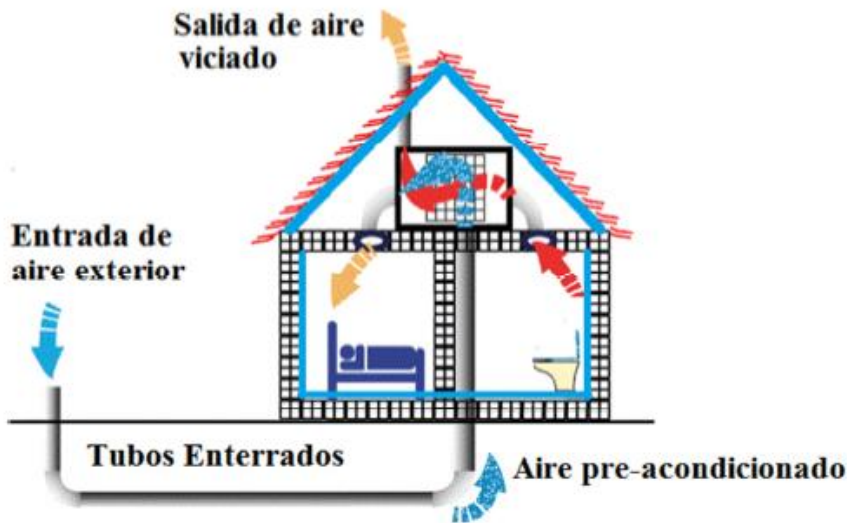
*Fuente: Cabezas, A. M. (2013). Eficiencia energética a través de la utilización de pozos canadienses con el análisis de datos de un caso real. Casa Pomaret (Master's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya).*

### 6.2.1 Características de la configuración anillo

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 se calculará al conocer la temperatura del suelo en tal lugar. El tubo, dependiendo el caudal necesario de intercambio, puede tener diámetros pequeños y/o de gran tamaño. El flujo de aire se calculará con el modelo teórico que presentaremos en este trabajo.

El largo de la tubería se calculará a partir del modelo teórico de balance térmico. Se obtendrá como resultado el largo de la tubería para tener un  $\Delta T$  esperado.

### 6.3 Diagrama básico de un intercambiador de calor aire-tierra



Esquema de vivienda con tubos enterrados para el acondicionamiento térmico de viviendas utilizando la energía de la tierra como intercambiador de calor

Fuente: Geothermal gradient, 2012; Arquitectura subterránea, 2012; Sharan & Madhavan. 2010.

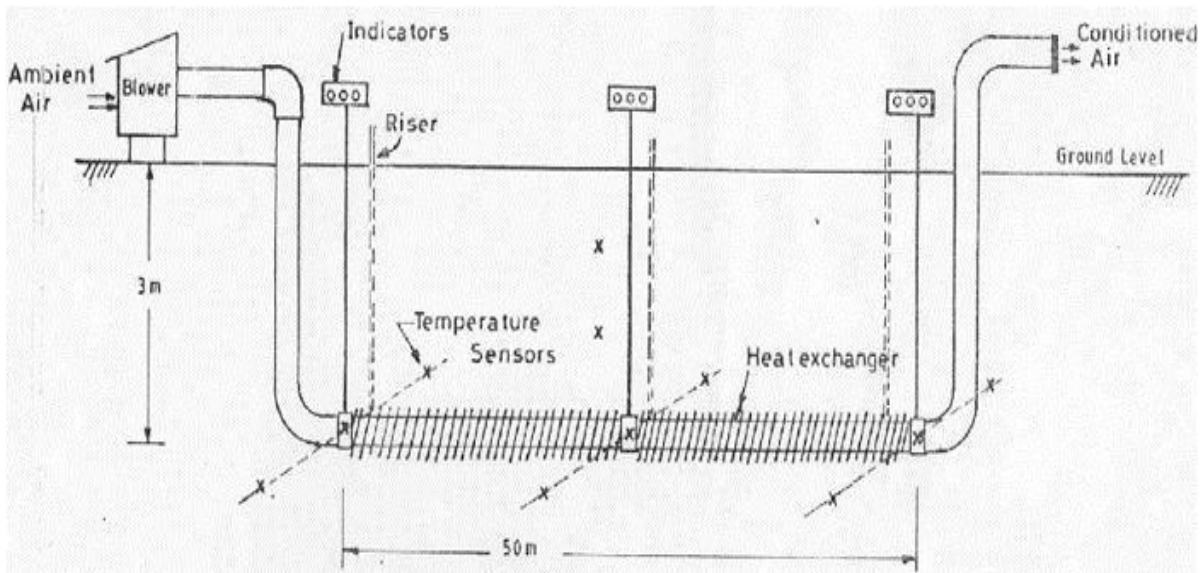


Diagrama básico de un intercambiador de calor aire-tierra

Fuente: Earth to air heat exchange through buried pipes. [www.esru.strath.ac.uk](http://www.esru.strath.ac.uk).

## 6.4 Partes del intercambiador de calor tierra-aire (Tue Ali)



Todas las configuraciones mencionadas tienen los siguientes componentes:

1. **Filtros y entrada o captación de aire:** es el punto donde ingresa aire al sistema, debe ubicarse a una altura adecuada, para evitar que se tome aire contaminado (el gas radón se encuentra en la tierra y se debe evitar el ingreso al hogar) y también la entrada de bichos u otros animales.



2. **Intercambiador de calor:** es el elemento en el que se produce la transferencia de calor debido a la diferencia de temperaturas entre el aire y el tubo.

Los tubos deben cumplir ciertas características imprescindibles:

- Deben de ser impermeables, estancos y lisos. Es importante la condición de la pared interior del tubo, ya que es donde se puede depositar agua condensada como determinados componentes microscópicos del aire e incubar gérmenes.
- Resistentes a la presión y deformación del terreno.
- Deben ser anticorrosivos.
- Deben tener una buena conductividad térmica es decir que permitan dejar pasar el calor de la tierra al aire que está circulando en los tubos.

- Deben instalarse con una pendiente, para que la condensación de líquido natural pueda evacuarse
- Deben ser antibacteriales

### **Comparación de materiales de tubería de metal, plástico y doble laminado:**

Dependiendo de las necesidades y el entorno de operación, se pueden elegir entre una amplia gama de materiales. dentro del rango de bajo costo se encuentran el policloruro de vinilo (PVC), policloruro de vinilo clorado (CPVC) y acero de carbono. En el otro rango, encontramos metales de alto rendimiento como el níquel, el titanio, el zirconio y las aleaciones. Entre ambos rangos se encuentran sistemas de combinación como acero revestido con caucho, fluoruro de poli vinilideno (pvdf) o vidrio.

### **Metales.**

En general, las tuberías metálicas ofrecen:

- Capacidades de alta presión.
- Capacidad de carga de presión relativamente constante a temperaturas elevadas.
- rigidez que permite separar las perchas para ahorrar costos de instalación.
- Alta conductividad térmica.

Al mismo tiempo, la tubería metálica presenta numerosas desventajas como:

- Vulnerabilidad a la corrosión interna y externa. Ciertas sustancias pueden provocar que el metal se corroa desde el interior, mientras que elementos como la sal en el aire o niveles bajos de pH en el suelo (para aplicaciones subterráneas) pueden provocar corrosión externa. Incluso el titanio, que generalmente resiste a la corrosión, es susceptible a la degradación en ciertos ambientes.
- Susceptibilidad a la acumulación de escala que restringe el flujo, lo que aumenta la caída de presión y puede contaminar el proceso.
- Incremento en el peso y en el costo de instalación, tanto en material como en mano de obra.

### **Plásticos.**

En general, uno de los mayores beneficios de la tubería de plástico es la resistencia a la corrosión. Varios tipos de tuberías de plástico pueden ser enterrados en suelos alcalinos o ácidos sin necesidad de pintura o recubrimiento especial.

Además, la mayoría de los tubos de plástico no son susceptibles de escalamiento, por lo que los sistemas de tuberías de plástico mantienen su capacidad de manejo de fluidos durante toda su vida

útil. Esto significa que a menudo es posible reducir el diámetro de la tubería al convertir el metal, reducir los costos de materiales y optar por bombas más pequeñas, así como el ahorro de energía.

es importante tener en cuenta que muchos plásticos difieren en costo y capacidades. por ejemplo, el pvc ofrece importantes ventajas económicas, pero no puede soportar aplicaciones a alta temperatura.

Por otro lado, el cpvc, ofrece una resistencia química superior, así como una alta temperatura a la distorsión de calor debido a que grandes átomos de cloro rodean la columna de carbono y lo protegen como placas de blindaje. debido a esto, la demanda del cpvc ha aumentado tanto en las aplicaciones corrosivas como en las de alta temperatura.

### **Laminados dobles.**

En los últimos años, los fabricantes han sido capaces de aumentar la temperatura del cpvc y las capacidades de carga de presión al utilizar la fibra de vidrio. La gran desventaja de la tubería de laminado doble revestida de plástico, es el costo. Además, requiere un proceso de unión difícil de trabajo intensivo. y, cualquier ruptura en el revestimiento puede originar futuras fallas en la tubería.<sup>15</sup>

Para elegir la tubería, se analizan las condiciones de trabajo en las que se encontraran evaluando los siguientes factores:

- Acceso a variedad de diámetros (100 a 500 mm)
- Funcionalidad (Pueden instalarse en forma subterránea)
- Durabilidad
- Corrosión
- Precio
- Temperatura de trabajo (menor a 40°C)
- Fluido de trabajo (aire)
- Rugosidad de superficie

---

<sup>15</sup> <https://www.corzan.com/blog-sp/qu%C3%A9-material-ofrece-la-mayor-durabilidad-a-largo-plazo-en-el-uso-de-tuber%C3%ADas-industriales>

TRABAJO FINAL DE CARRERA, FACULTAD DE INGENIERÍA:

TUE ALI. Sistema de climatización para refrigeración y calefacción a partir de una fuente de energía geotérmica

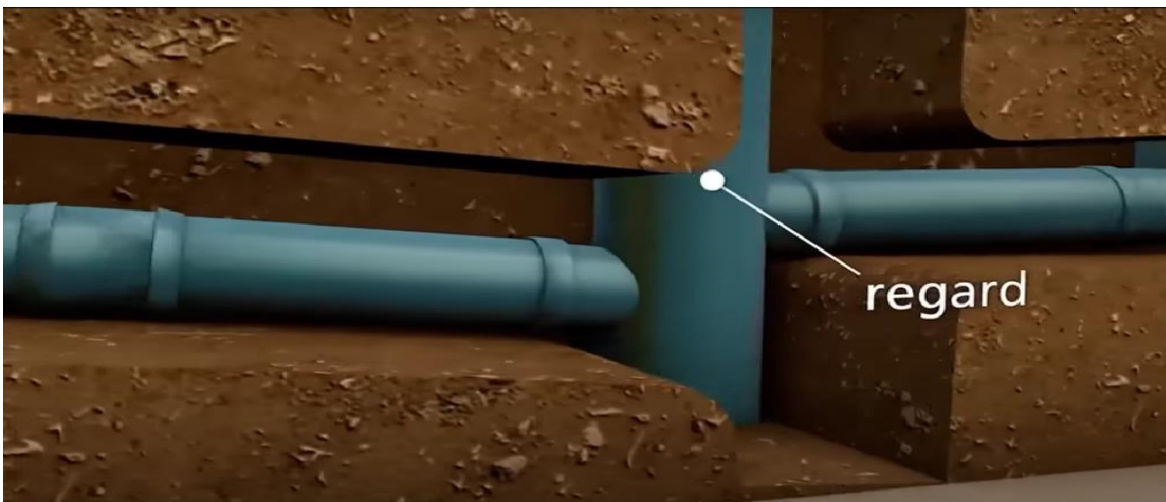
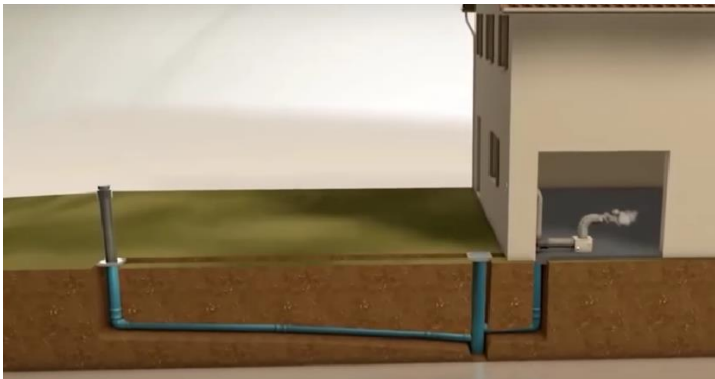
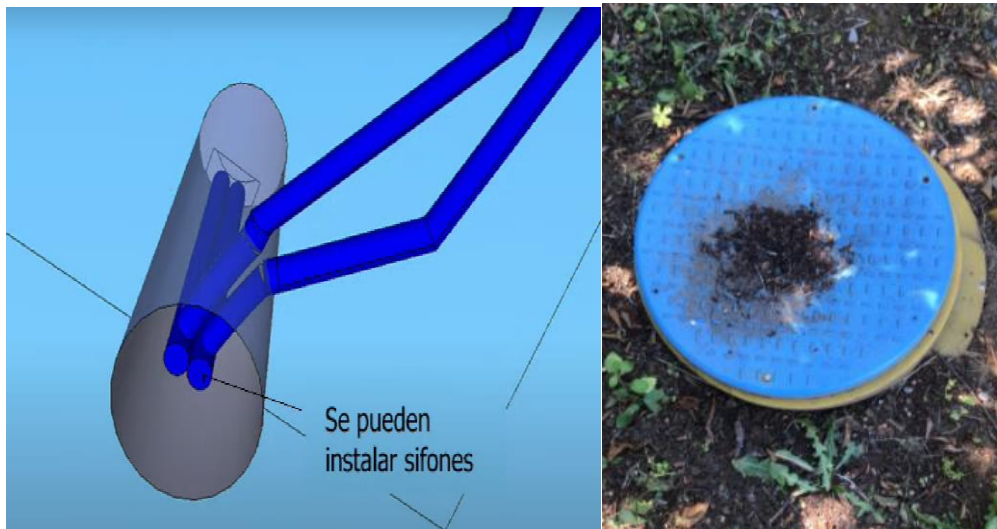
Material	Variedad de diámetros	Cumple Función	Durabilidad	Corrosión	Precio	T° de trabajo	Fluido de trabajo	Rugosidad de Superficie
Metálicos	✓	✓	✓	☒	Alto	Altas	✓	Lisa
Plásticos	✓	✓	✓	✓	Bajo	< a 50°C	✓	Lisa
Laminados dobles	✓	✓	☒	✓	Alto	Altas	✓	Lisa

Para las condiciones de trabajo, vemos que el material más adecuado para utilizar es el utilizar Policloruro de Vinilo (PVC). Si bien, la conductividad térmica de los materiales metálicos es mayor, impactan más las variables costos, durabilidad y corrosión para elegir este sistema de manera que sea más accesible para el usuario.



*Tubos de PVC*

3. **Punto de drenaje:** los tubos deben tener una pendiente mínima entre 1% y 5%, para permitir la circulación de agua que se genera por condensación dentro del tubo, debido a las variaciones de humedad del suelo. Se debe construir un pozo de desagüe o drenaje, para evacuar condensados y también sirve como cámara de inspección. El condensado se desecha al terreno.



*Esquema de pozo de drenaje*

4. **Elemento de circulación del aire:** es el encargado de hacer circular el aire dentro del tubo. Se analizarán los tipos de ventilación y en base a esto junto con el caudal de aire a ingresar a la velocidad deseada, se definirá el tipo de ventilador a utilizar.





*Ventilador DB8-SELLO*

El ventilador de forma opcional se puede manejar con un módulo electrónico conectado a la red IOT.

## **6.5 Rendimiento esperado del sistema**

Si se habla del rendimiento de este tipo de sistemas, es importante destacar que son mucho más eficientes en condiciones de verano que para el caso de invierno, esto se debe a que en condiciones invernales el aire no aporta todo el calor necesario para la climatización, pero si ofrece un precalentado del aire, lo cual se traduce en un ahorro energético ya que el salto térmico que debe aportar el sistema externo es menor (Cabezas, 2013).

En la zona de estudio, se espera que el sistema sea útil tanto en verano como en invierno debido a las condiciones del suelo en la provincia de Buenos Aires (Temperaturas constantes todo el año de 19+- 2°C), y se estima que existirá un ahorro anual de energía eléctrica el cual se pretende obtener con el cuadro comparativo una vez realizados los cálculos.

La aplicación de esta tecnología es más económica si se aplica desde el momento de la construcción de la vivienda que aprovecha todos los recursos y el tiempo antes que sea habitable.

## **6.6 Lugar de estudio**

Con la intención de presentar un sistema de climatización que pueda ser aplicado a un caso de vivienda real, se utilizó un modelo del programa Procrear<sup>16</sup>, así se tiene un diseño estandarizado para estas viviendas y que puede instalarse antes de la construcción de la vivienda.

---

<sup>16</sup> <https://www.argentina.gov.ar/habitat/procrear/lotescoservicios/modelos-de-viviendas-procrear>



*Vivienda Bicentenario A*

Por supuesto, al agregar el modelo teórico de cálculo, los datos se pueden extrapolar a cualquier vivienda ubicada en la provincia de Buenos Aires, siempre adaptando los datos propios del lugar.

### 6.6.1 Características de la vivienda Bicentenario:

Modelo de 56 m<sup>2</sup> con 1 dormitorio.

Lote de 10 metros de frente.

Living / Comedor / Cocina: 6.30m. x 5.20 m.

Baño: 2.10m. x 1.50m.



Dormitorio: 3.60m. x 3.12 m.

Altura Living / Comedor / Cocina: 3.00 m.

Se estimarán los cálculos para climatizar la vivienda de 56 m<sup>2</sup> simulando un ambiente sin paredes divisorias ni puertas, con una entrada y se pretende que la entrada de aire climatizado este en el contrafrente de la vivienda.

En Anexo 2 se encuentran los planos de la vivienda.

Volumen por climatizar: 168 m<sup>3</sup>

DATOS DEL LOCAL							
							
		SEÑALIZADO DE PAREDES PARA INDICAR OBSERVACIONES RESPECTO A LOS PARAMENTOS Cuando se indiquen medidas en <i>"Cursiva"</i> , son medidas promediadas					
LOCAL n°	DESIGNACION	LARGO	ANCHO	ALTURA (max)	ALTURA (min)	PERIM.	SUPERF.
001	ESTAR	5,20	6,42	4,20	3,00	23,24	33,38
002	SANITARIO	1,50	2,10	2,40		7,20	3,15
003	DORMITORIO 1	3,50	3,14	3,84	3,20	13,28	10,99
004	GALERIA	2,00	10,00	3,00	2,59	24,00	20,00
005	TOILETTE	1,50	0,90	2,40	-	4,80	1,35
006	PASILLO	1,06	0,80	2,40	-	3,72	0,85
007	JARDIN FRENTE	variable	variable	-	-	32,32	60,70
008	JARDIN FONDO	variable	variable	-	-	32,12	60,59

Recorte de plano de Vivienda Bicentenario A

## 6.6.2 Ubicación

Aplica para los lotes con servicios en Buenos Aires - La Plata - San Carlos

Ubicados en Calle 151, calle 531, Av. 155 y calle 528.

TRABAJO FINAL DE CARRERA, FACULTAD DE INGENIERÍA:  
TUE ALI. Sistema de climatización para refrigeración y calefacción a partir de una fuente de energía geotérmica



**Servicios Disponibles:**

Agua, Electricidad, Alumbrado, Gas, Cordón/Cuneta.



*Mapa de lotes disponibles*

Fuente: <https://www.argentina.gob.ar/habitat/procrear/lotescoservicios/san-carlos-la-plata-buenos-aires>

## 7. ENERGÍA GEOTERMICA DE BAJA ENTALPIA EN BUENOS AIRES

### 7.1 Temperaturas esperadas en zona de investigación

De forma teórico-experimental, se analizaron las propiedades térmicas del suelo en la provincia de Buenos Aires, con el objeto de evaluar la posibilidad de aprovechar la energía geotérmica del suelo para el acondicionamiento del aire.

La tierra funciona como un gran acumulador de energía. El suelo posee una alta capacidad calorífica y gran aislamiento térmico. Según el paper *Acondicionamiento térmico de aire usando energía geotérmica-ondas de calor*<sup>17</sup> las propiedades del suelo son las siguientes:

$\rho$  (Densidad media) = 1800 – 2500 [Kg/m<sup>3</sup>]

C (Calor específico) = 920 [J/KgK]

K (Conductividad térmica media) = 1,67 [W/mK] <sup>18</sup>

Con estos datos podemos sacar la capacidad térmica volumétrica, multiplicando la densidad por el calor específico

Para  $\rho = 1800$  [Kg/m<sup>3</sup>], La capacidad volumétrica es

$$1800 \text{ [Kg/m}^3\text{]} \times 920 \text{ [J/KgK]} = 1,656 \text{ [MJ/m}^3\text{K]}$$

Para  $\rho = 2500$  [Kg/m<sup>3</sup>], La capacidad volumétrica es

$$2500 \text{ [Kg/m}^3\text{]} \times 920 \text{ [J/KgK]} = 2,300 \text{ [MJ/m}^3\text{K]}$$

De estos números, se desprende que el suelo es una gran Fuente de almacenamiento de calor y la baja conductividad térmica hace que la penetración del calor en el suelo sea muy lenta, del mismo modo sucede en su enfriamiento.

Se conoce también, que las radiaciones solares no penetran más allá de los 0,5 metros y las variaciones estacionales no superan los 2 a 4 metros de profundidad. Más allá de estas variaciones, la Temperatura del suelo se mantiene constante en el tiempo y el valor de esta es generalmente igual al valor de la Temperatura media anual de la superficie.

---

<sup>17</sup> Acondicionamiento térmico de aire usando energía geotérmica-ondas de calor, Autores: Leila Iannelli, Salvador Gil

<sup>18</sup>[https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/34659/mod\\_resource/content/1/Guia%20de%20estudio%203%20-%202017-%20Temperatura%20del%20suelo.pdf](https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/34659/mod_resource/content/1/Guia%20de%20estudio%203%20-%202017-%20Temperatura%20del%20suelo.pdf)

TRABAJO FINAL DE CARRERA, FACULTAD DE INGENIERÍA:  
TUE ALI. Sistema de climatización para refrigeración y calefacción a partir de una fuente de energía geotérmica

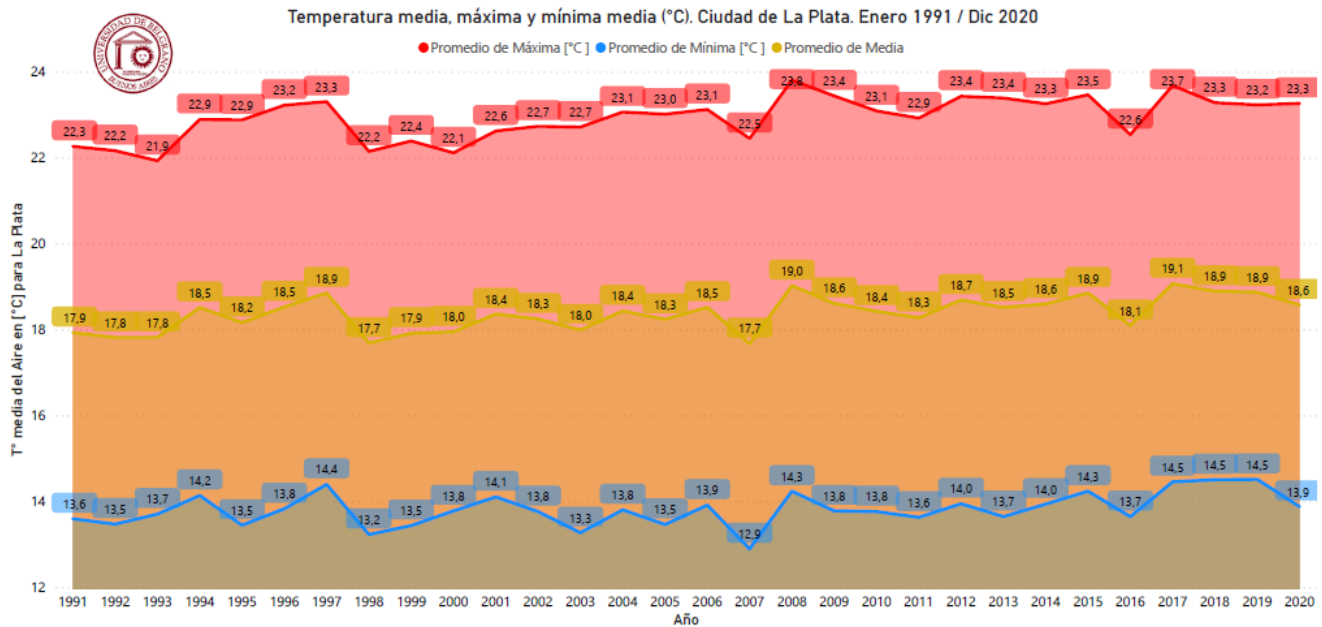


Gráfico: Elaboración Propia  
Fuente de datos: Servicio Meteorológico Nacional. Observatorio Buenos Aires.

La curva amarilla representa la temperatura media mensual. Las otras curvas son la variación de la temperatura máxima y mínima media mensual. Para la zona central de Argentina, en el año 2020 la Temperatura a partir de los 4 metros es del orden de 18,6°C y muy próximo a la Temperatura de confort. El modelo PMV–PPD de Fanger, ha sido una gran contribución a la teoría de confort térmico y la evaluación del ambiente térmico interior. Actualmente, es ampliamente aceptado para el diseño, evaluación del confort térmico y estándares internacionales lo utilizan para la recomendación de condiciones aceptables de confort. Una de las recomendaciones realizadas por la ASHRAE estándar 55, es que el rango aceptable es de 20-23 [°C] para verano y de 23-26 [°C] para Invierno <sup>19</sup>

	T° Max [°C]	T° Min [°C]	Rango Aceptable [°C]	Estación
ene-20	30,0	20,2	20-23	Verano
feb-20	29,6	19,3	20-23	Verano
mar-20	28,6	20,1	20-23	Verano - Otoño
abr-20	22,8	13,6	23-26	Otoño
may-20	20,4	11,0	23-26	Otoño
jun-20	16,9	9,1	23-26	Otoño - Invierno

<sup>19</sup> Confort térmico, su importancia para el diseño arquitectónico y la calidad ambiental del espacio interior  
Autor: Paola Jara <https://www.revistas.usach.cl/ojs/index.php/amasc/article/view/2529/2318> Pág. 111

TRABAJO FINAL DE CARRERA, FACULTAD DE INGENIERÍA:  
 TUE ALI. Sistema de climatización para refrigeración y calefacción a partir de una fuente de energía geotérmica

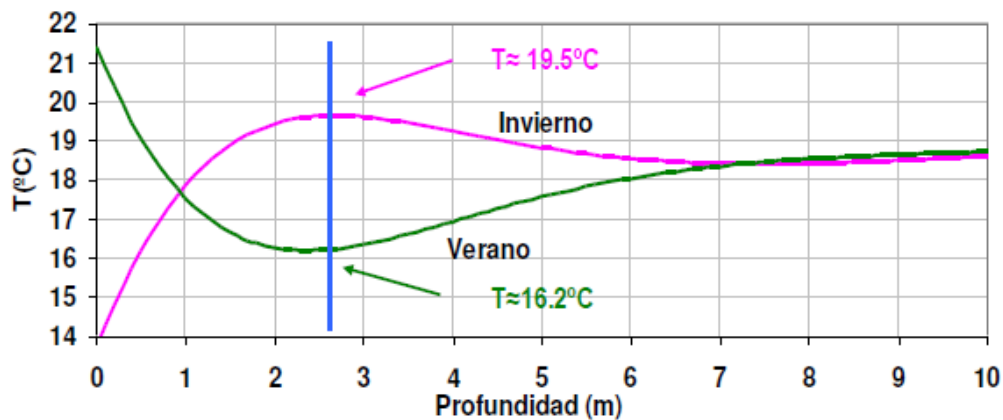
jul-20	15,1	6,7	23-26	Invierno
ago-20	19,0	9,2	23-26	Invierno
sep-20	19,3	9,8	20-23	Invierno - Primavera
oct-20	22,1	12,4	20-23	Primavera
nov-20	26,5	17,3	20-23	Primavera
dic-20	29,0	18,0	20-23	Primavera - Verano

Fuente: Elaboración Propia

Como podemos ver, la Temperatura de la superficie en Buenos Aires alcanzó en el año 2020 sus máximos valores Enero y sus mínimos valores en Julio, momentos donde se encuentran los valores máximos de consumo de electricidad.

Si bien, la Temperatura del suelo a partir de los 4 metros en Buenos Aires están en el orden de los 18,6°C, a mayor profundidad los valores de temperatura aumentan (El gradiente térmico es de 20 a 30 [K/Km]).

A partir de la variación media de temperaturas a lo largo de todo el año y de las propiedades térmicas del suelo se puede determinar el perfil de temperatura del suelo en la región central de Argentina <sup>20</sup> Desde luego estas propiedades pueden variar de un lugar a otro dependiendo de las propiedades del suelo, pero en general tienen un perfil similar al que se muestra en la Figura:



Variación de la temperatura del suelo para distintas profundidades en el suelo en las adyacencias de la ciudad de Buenos Aires, para el invierno (curva rosa) y verano (curva verde). La línea de color violeta corresponde a la posición de los puntos de inversión de temperaturas.

Fuente: Acondicionamiento térmico de aire usando energía geotérmica-ondas de calor, S. Gil, 2012

<sup>20</sup> (Iannelli & Gil, Ondas de Calor Determinación de temperaturas del pasado, 2012)

TRABAJO FINAL DE CARRERA, FACULTAD DE INGENIERÍA:

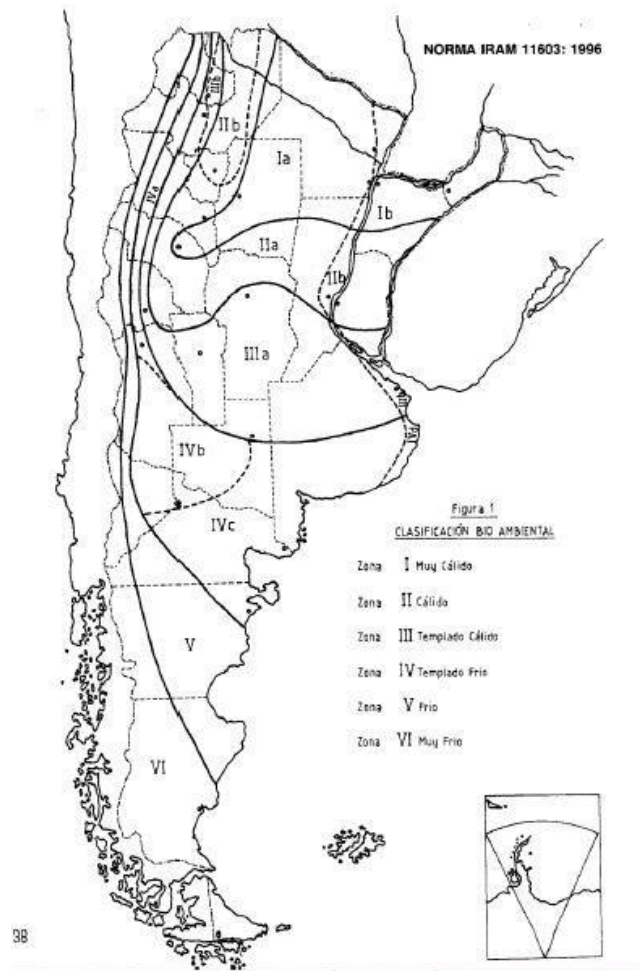
TUE ALI. Sistema de climatización para refrigeración y calefacción a partir de una fuente de energía geotérmica

Se puede observar que a una profundidad de aproximadamente 2.5 m, en invierno puede haber una temperatura de 19.5°C y en verano una temperatura de 16°C. En otras palabras, a esta profundidad se produce una inversión térmica; está más caliente que el promedio en invierno y viceversa, más frío que el promedio en verano. Por consiguiente, está es la profundidad óptima donde sería conveniente enterrar los tubos para optimizar el intercambio térmico con los ambientes interiores

Desde luego, para que este esquema de acondicionamiento de aire sea adecuado para una vivienda, es necesario que se minimicen las pérdidas de calor en la envolvente. Por lo tanto, es necesario que la vivienda tenga condiciones de aislación térmicas adecuadas.

### Diferentes climas en la República Argentina - Zonas Bioclimáticas

La República Argentina se divide en diferentes zonas bioclimáticas, establecidas por la Norma IRAM 11.603, que se pueden observar en el siguiente mapa:



Zonas bioclimáticas de la República Argentina. Fuente: IRAM 11.603



TRABAJO FINAL DE CARRERA, FACULTAD DE INGENIERÍA:

*TUE ALI. Sistema de climatización para refrigeración y calefacción a partir de una fuente de energía geotérmica*

Los mapas bioclimáticos representan en forma gráfica las características climáticas de una zona. De los mismos se puede tener una visión inicial de los requerimientos y según el caso, de las posibles estrategias de climatización.

Las seis Zonas Bioclimáticas en la Argentina son:

- Zona I Muy Cálido (Subzona “a” seco / Subzona “b” húmedo)
- Zona II Cálido (Subzona “a” seco/Subzona “b” húmedo)
- Zona III Templado Cálido (Subzona “a” seco/Subzona “b” húmedo)
- Zona IV Templado Frío (Subzona “a” de montaña / Subzona “b” de máxima irradiancia / Subzona “c” de transición / Subzona “d” marítima)
- Zona V Frío
- Zona VI Muy Frío

## **7.2 Características Climáticas de la ciudad de La Plata**

L A PLATA – BUENOS AIRES

- Altura sobre el nivel del mar: 15 msnm
- Latitud: 35° 00´ SUR
- Longitud: 57° 9´ OESTE
- Zona Bioclimática Templada Cálida (IIIb).
- GD20 para Calefacción: 1678 GD (Temperatura de confort 20°C)
- Temperaturas Medias: Invierno 13 °C. Verano 21 °C.
- TDMD: - 2,5°C

## **8. MODELO TEÓRICO PARA CALCULAR LA TEMPERATURA EN EL SUELO POR PROFUNDIDAD**

Para el caso del suelo, a poca profundidad, el principal mecanismo de transferencia de calor es la conducción.

Si queremos situarnos en un lugar distinto al de Buenos Aires y además, queremos pronosticar los metros necesarios de excavación para encontrar la Temperatura de confort necesaria, debemos utilizar un método teórico que nos dé un indicador de la viabilidad de instalación de este sistema.

Para esto, utilice el Modelo St. Benkert, F.D. Heidt, D. Schöler <sup>21</sup> el cual está basado en la utilización de un Sistema de intercambiador de calor aire-tierra y representa el que se pretende explicar en este trabajo.

El proceso principal que tiene lugar en el intercambiador es que el aire del ambiente fluye a través de un sistema de tuberías que están enterradas en el suelo. El aire transfiere calor (en verano) y absorbe calor (en invierno) a través de las paredes de las tuberías hacia la tierra que está en contacto con estas paredes. En la salida del sistema de tuberías, el aire ingresa al sistema de ventilación de la casa y ya entra acondicionado para calentar o enfriar. En este modelo, se consideran principalmente los flujos de calor y pérdidas a través de los mecanismos en juego y debido a la dinámica de los fluidos, logrando así una estimación de la temperatura que encontrará el usuario en su hogar.

Se utilizó un modelo analítico para determinar las temperaturas a lo largo de una tubería que compone el intercambiador de calor.

Los cálculos para la temperatura de la tierra están basados en aproximaciones que varían con el tiempo y la profundidad. Los coeficientes de transferencias de calor para el flujo de calor entre el aire, el ducto y la tierra son estimados de los coeficientes de materiales, propiedades del flujo y parámetros geométricos.

Para aplicar el modelo, se consideran las siguientes restricciones:

1. El intercambiador de calor está enterrado en tierra homogénea por lo que las propiedades son constantes.
2. Cuando se calcula más de un ducto en el intercambiador de calor (por ejemplo, en paralelo), se debe considerar al menos un metro de distancia entre los ductos ya que el flujo de aire es bastante alto en verano y con esto nos aseguramos de interferencias de calor.

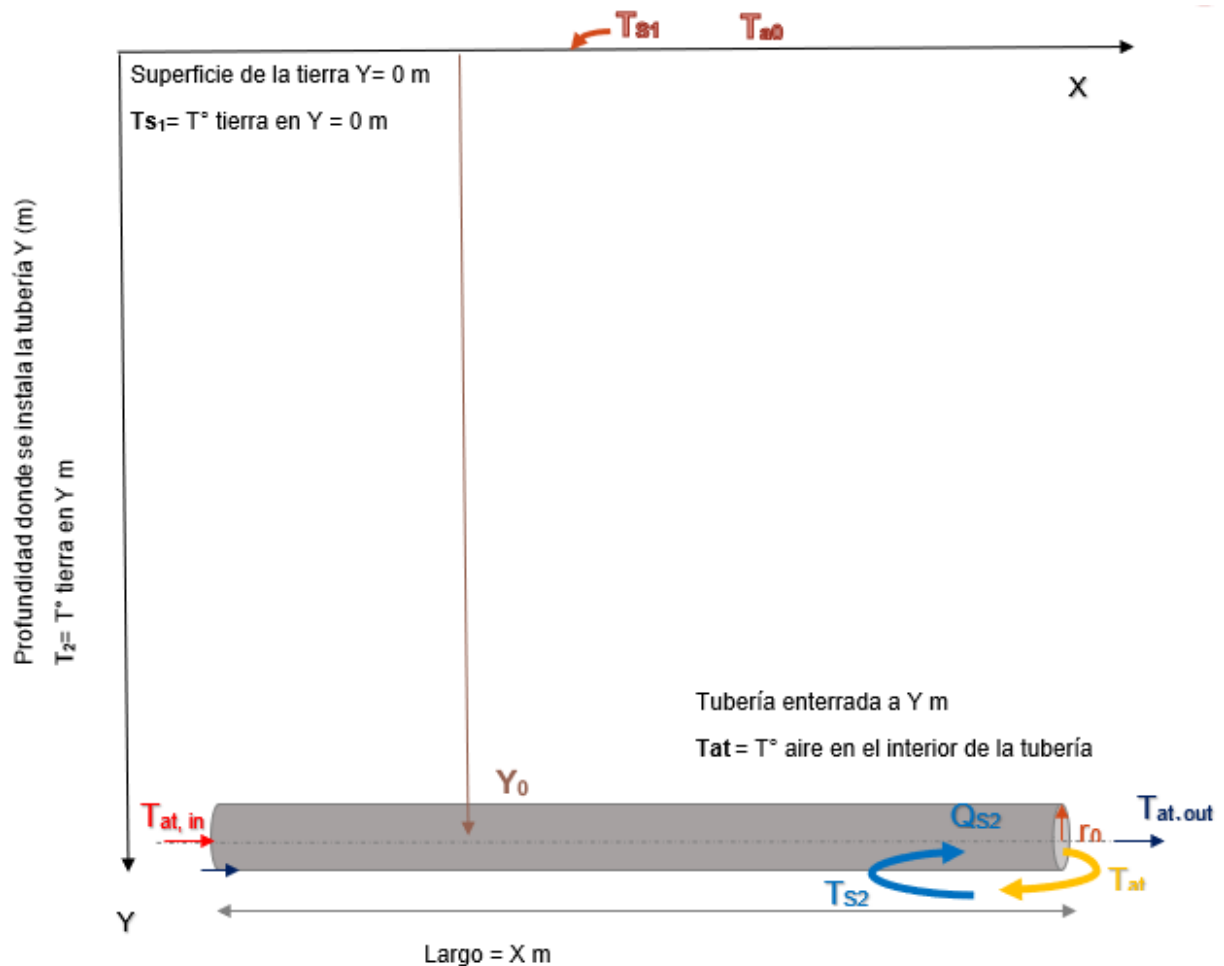
## **8.1 Temperatura de la tierra**

La temperatura en la pared de la tubería depende:

1. De la transferencia de calor de la superficie de la tierra a las capas bajo tierra.
2. De la influencia que tiene la temperatura del aire en la tubería con la tierra que está en contacto con las paredes de la tubería.

---

<sup>21</sup> CALCULATION TOOL FOR EARTH HEAT EXCHANGERS GAEA, St. Benkert, F.D. Heidt\*, D. Schöler



Fuente: Elaboración propia

Se define el parámetro  $U^*$  para medir la proporción de ambos efectos, teniendo en cuenta la conductividad térmica de la tierra, el coeficiente de transferencia de calor entre el flujo de aire y la tierra en la pared de la tubería, así como la configuración geométrica.

$$U^* = 2\pi \frac{k}{U_L} \times \frac{1}{\ln\left(\frac{Y_0}{r_0} + \sqrt{\left(\frac{Y_0}{r_0}\right)^2 - 1}\right)} \quad (1)$$

Donde:

$U^*$  = razón de transferencia de calor, desde la superficie de la tierra al tubo y desde el flujo de aire, a la pared del tubo.

$k$  = conductividad térmica del suelo [W/ (m K)].

$U_L$  = coeficiente de transferencia de calor por largo de pared del tubo, entre el aire y la pared del tubo [W/(m K)].

$Y_0$  = profundidad del centro de la tubería debajo de la superficie, medido desde la superficie en [m].

$r_0$  = radio del tubo en [m]. Se asume que  $r_0$  es pequeño en comparación de  $Y_0$

## 8.2 Temperatura de la tierra en la pared del tubo, no influenciada por él

La temperatura de la tierra en la pared de la tubería no influenciada por la tubería  $T_{S2}$  se calcula con la temperatura del ambiente, usando su valor medio ( $T_m$ ) y su valor máximo ( $T_{máx}$ ), asumiendo una variación sinusoidal de la temperatura a lo largo del año. Además, es definido un parámetro adimensional ( $\xi$ ), el cual describe la profundidad térmica del tubo.

$$T_{S2}(t) = T_m + (T_{max} - T_m) \times e^{-\xi} \cos\left(2\pi \frac{t}{t_0} - \xi\right) \quad (2)$$

$T_{S2}$  = temperatura de la tierra en la pared del tubo, no influenciada por él [°C].

$\xi$  = parámetro adimensional para la profundidad térmica del tubo.

$t$  = tiempo [s].

$t_0$  = duración de un año [s] (1 año =  $31,5 \times 10^6$  [s]).

$t/t_0$  = fracción de año (con  $t/t_0$  igual a cero para la máxima temperatura ambiental).

El parámetro  $\xi$  que representa la profundidad térmica del tubo depende de la profundidad real bajo la superficie y de las propiedades térmicas de la tierra encima de la tubería de la siguiente manera:

$$\xi = Y_0 \sqrt{\frac{\pi \rho c}{t_0 k}} \quad (3)$$

Donde:

$\rho c$  = capacidad calórica volumétrica de la tierra [J/(m<sup>3</sup>K)]

$\rho$  = densidad del suelo [kg/m<sup>3</sup>]

$c$  = calor específico del suelo [J/(kg K)]

Es necesario aplicar un factor de corrección para representar la influencia del tubo en la temperatura de la tierra en la pared del tubo. Esto se logra con el factor  $U^*$  definido en la ecuación (1). Luego, la temperatura corregida de la tierra en la pared del tubo  $T_{S2}^*$

$$T_{S2}^* = \frac{U^* \times T_{S2} + T_{at}}{U^* + 1} \quad (4)$$

Donde:

$T_{S2}^*$  = temperatura de la tierra en la pared del tubo [°C]

$T_{at}$  = temperatura del aire en el tubo [°C]

Esto significa que  $T_{s2}^*$  es la media aritmética entre la temperatura de la circulación del aire dentro del tubo ( $T_{at}$ ) y la temperatura de la tierra en la pared del tubo no influenciada por el tubo ( $T_{s2}$ ). Esto considerando la conductividad térmica del suelo y el coeficiente de transferencia de calor entre el flujo del aire y la tierra en la pared del tubo.

### 8.3 Temperatura ambiente del aire

La temperatura ambiente del aire ( $T_{a0}$ ) determina la temperatura del intercambiador a la entrada y también se relaciona indirectamente con la ecuación (2).

Se asume que la temperatura ambiente del aire, tendrá un perfil sinusoidal a lo largo del año, lo cual, para el propósito del trabajo, entrega suficiente exactitud. Esta aproximación coincide con la solución propuesta por Baehr- Stephan<sup>22</sup>, para la variación de la temperatura de la tierra, quedando la ecuación para la temperatura ambiente del aire (a la entrada del intercambiador tierra-aire):

$$T_{a0}(t) = T_m + (T_{max} - T_m) \times \cos\left(2\pi \frac{t}{t_0}\right) \quad (5)$$

Donde:

$T_{a0}$  = temperatura ambiental en [°C] en el tiempo  $t$  en [s]

### 8.4 Transferencia de calor en el intercambiador de calor tierra-aire

Para calcular el intercambio de calor en la tubería, el largo del intercambiador se divide en partes iguales, las cuales se tratan por separado. Como los segmentos no varían, el intercambio de calor en el segmento produce un salto de temperatura entre dos segmentos. El intercambio de calor para cada segmento está definido por la ecuación

$$\dot{Q}_{s2} = \Delta z \times U_L \times (T_{s2}^* - T_{at}) \quad (6)$$

$\dot{Q}_{s2}$  = flujo de calor, a través de la pared del tubo al aire en este [W].

$\Delta z$  = largo del segmento [m].

El coeficiente del traspaso térmico por la longitud de la pared del tubo ( $U_L$ ), para los tubos de los intercambiadores de calor de tierra-aire depende solamente del coeficiente de traspaso térmico ( $h_i$ ) en su superficie interna, de la siguiente manera:

---

<sup>22</sup> Heat and Mass Transfer, Hans Dieter Baehr, Karl Stephan

$$U_L = 2\pi r_0 h_i \quad (7)$$

Donde:

$h_i$  = coeficiente de transferencia de calor en la superficie interna del tubo [W/(m<sup>2</sup>K)].

El coeficiente de transferencia de calor en la superficie interna del tubo ( $h_i$ ) depende de características del flujo, de las dimensiones del tubo y de las propiedades del aire en el tubo. Este coeficiente está definido por la ecuación

$$h_i = \frac{k_A Nu}{2 \times r_0} \quad (8)$$

$k_A$  = conductividad térmica del aire en el tubo [W/(m K)]

$Nu$  = número de Nusselt del aire en el tubo

El número de Nusselt ( $Nu$ ) del aire en el tubo depende del número de Reynolds ( $Re$ ) y, por ende, del caudal. Para la circulación de aire turbulento en la región de la temperatura relevante para los intercambiadores de calor tierra-aire, se propone la siguiente aproximación:

$$Nu = 0,0214 \times (Re^{0,8} - 100) \times Pr^{0,4} \quad (9)$$

Donde:

$Re$  = número de Reynolds del aire en el tubo

$Pr$  = número de Prandtl del aire (típicamente:  $Pr = 0,72$ )

## 8.5 Temperatura del aire en el tubo

Ahora la temperatura del aire a través de la longitud total del intercambiador de calor tierra-aire, puede ser calculada. Al comenzar con una temperatura de entrada igual al aire ambiente, la temperatura irá variando gradualmente, es decir, segmento a segmento la temperatura del aire se ajustará según el flujo de calor en el segmento y la capacidad de calor del aire. Este paso está definido por la siguiente ecuación:

$$\dot{Q}_{s2} = \dot{m} C_p (T_{at,out} - T_{at,in}) \quad (10)$$

Donde:

$\dot{m}$  = flujo másico de aire [kg/s].

$C_p$  = calor específico del aire [J/(kg K)].

$T_{at,in}$  = temperatura del aire en el tubo a la entrada del segmento [K].

$T_{at,out}$  = temperatura del aire en el tubo a la salida del segmento [K].

Finalmente, igualamos la ecuación (6) y (9) para encontrar  $T_{at}$  en el segmento

$$\Delta z \times U_L \times (T_{S2}^* - T_{at}) = \dot{m} C_p (T_{at,out} - T_{at,in})$$

Quedando

$$\frac{\Delta z \times U_L \times (T_{S2}^* - T_{at})}{\dot{m} C_p} + T_{at,in} = T_{at,out} \quad (11)$$

Lo que hacemos es ver la temperatura a la entrada del segmento y utilizarla para obtener la salida, así para cada segmento, la temperatura de salida del segmento anterior es la entrada del siguiente. Así, repetimos el procedimiento hasta obtener la temperatura de confort deseada y con esto ya podemos saber la cantidad de segmentos iguales utilizados y el calor transferido en cada tramo, obteniendo así el largo total del tubo y el calor total transferido.

## 9. CLIMATIZACION DEL HOGAR

Una vez hemos definido el largo de la tubería, lo siguiente es analizar qué caudal de aire se necesita ingresar para alcanzar la demanda de calor en el ambiente a climatizar.

La climatización consiste en mejorar y llegar a las condiciones de temperatura, humedad y limpieza requeridas en la aplicación que se necesite. En los espacios habitados por personas se requiere tener el control de esas condiciones para llegar a tener comodidad y calidad en el ambiente. El acondicionamiento lleva implícito el suministrar o extraer el calor del aire, por lo tanto, se debe analizar cómo se gana o pierde ese calor del local en estudio.

Para los cálculos de balance térmico tanto de invierno como verano, se utilizó material de la cátedra Instalaciones II<sup>23</sup> y también lo dispuesto en las Normas IRAM 11659-1 y 11659-2.

### 9.1 Balance térmico invierno

El balance térmico de invierno es un procedimiento que sirve para conocer cuál es la cantidad de calor que debe introducirse en un ambiente para compensar las pérdidas de calor que se generan a través de la envolvente (techos, muros, pisos, vidriados, infiltraciones), manteniendo una determinada temperatura de confort. Así la demanda de calor generada por las pérdidas de este a

---

<sup>23</sup> Cátedra UNLP Instalaciones I y II, Autor: Dr. Ing. Arq. Jorge D. Czajkowski, 2016

través de la envolvente de un local la llamaremos pérdidas totales y será la sumatoria de todas las pérdidas parciales por techos, muros, pisos, vidriados e infiltraciones debidas a rendijas y orificios en la envolvente.

En el balance térmico de invierno clásico solamente se tienen en cuenta en la ecuación de balance las pérdidas de calor del local y se descartan los aportes generados por el sol, por las personas y el equipamiento, por la actividad que generan estas personas y la carga térmica total surge de una diferencia de temperatura fija entre el interior y el ambiente exterior para una condición de diseño extrema (Peor condición es con interior del local vacío y sin actividad).

### **9.1.1 Datos de partida**

Al comenzar a calcular una instalación de calefacción, es necesario acopiar previamente los siguientes datos:

1. Planos del local: planta, sección y fachadas.
2. Tipo de instalación deseada.
3. Tipo de construcción, sección de paredes, suelos y techos.
4. Tipos y características de cerramientos: ventanas, puertas, claraboyas, etcétera.
5. Uso del local.  
Condiciones interiores: temperatura y humedad en invierno.
6. Condiciones interiores de los locales contiguos.
7. Condiciones exteriores de base: temperatura y humedad en invierno.
8. Grado de tolerancia para la temperatura y humedad interiores.
9. Tipo de combustible deseado para la calefacción.
10. Temperatura del agua disponible y caudal.
11. Características de la energía eléctrica, tensión.
12. Dimensiones y situación de la sala de máquinas.
13. Renovaciones de aire necesarias.
14. Otras observaciones: sombras de otros edificios, uso de persianas o parasoles, color de las cortinas, velocidad del aire en la localidad y dirección más frecuente, etc.

Con todos estos datos, se procederá al cálculo de las pérdidas de calor a compensar.

### **9.1.2 Condiciones Interiores**

Es otro de los datos de partida importantes a fijar en el cálculo de un sistema de calefacción. Este apartado viene totalmente influenciado por los requerimientos de confort y podremos clasificarlos en:

1. Máximo confort;
2. Confort normal;
3. Mínimo confort.

En la Tabla 1 se resumen dichas condiciones de temperaturas interiores de partida a fijar en un cálculo de calefacción en invierno.



**Tabla 1:** Valores recomendados de temperatura y humedad en climatización invernal para diversos tipos de locales.

TIPO DE LOCAL	TEMPERATURAS INTERIORES (°C)		
	Calefacciones de lujo	Calefacciones normales	Calefacciones reducidas
Habitación de estar	21	20	18
Comedor privado	21	20	18
Comedor colectivo	20	18	18
Retrete, aseos, duchas	21	20	18
Dormitorios	21	20	18
Aulas con gran número de alumnos	20	18	17
Teatros y cines	20	18	17
Hospitales salas de enfermos	23	22	20
Talleres y fábricas	20	18	17
Escaleras, portales	17	15	17
Garajes	7	5	5
Pasillos, entradas, circulación	20	18	15
Oficinas privadas	20	18	18
Tiendas	21	20	18
Gimnasios	15	15	15
Iglesias, locales públicos	20	18	18
Idem, conservando los abrigos	18	15	15

Fuente: Catedra UNLP Instalaciones I y II, Autor: Dr. Ing. Arq. Jorge D. Czajkowski, 2016

TIPO DE APLICACIÓN	INVIERNO				
	Con humectación			Sin humectación	
	Temperatura Seca K	Humedad Relativa %	Variación de Temperatura K**	Temperatura Seca K	Variación de Temperatura K***
<b>CONFORT GENERAL</b> Departamentos, chalet, hotel oficina, colegio, hospital, etc.	296 - 297 <b>23 - 24°C</b>	35 - 30	-1,5 a -2	297 - 298	-2
<b>TIENDAS COMERCIALES</b> (Ocupación de corta duración) Banco, peluquería, supermercado, grandes almacenes, etc.	295 -296	35 - 30 ****	-1,5 a -2	298 - 299	-2
<b>APLICACIONES DE BAJO FACTOR DE CALOR SENSIBLE</b> (Carga latente elevada) Auditorio, iglesia, bar, restaurante, cocina, etc.	295 -296	40 - 35	-1 a -2	298 - 299	-2
<b>CONFORT INDUSTRIAL</b> Secciones de montaje, salas de maquinas, etc.	293 - 295	35 -30	-2 a -3	294 - 296	-3

Fuente: Material teórico catedra Instalaciones en Edificios, UBA

### 9.1.3 Condiciones exteriores para la República Argentina

Las condiciones exteriores dependerán de cada localidad o punto sobre la superficie terrestre donde deseemos localizar nuestro edificio y es usual que requieran un sistema de calefacción los que se encuentren en climas templados a muy fríos, no así los localizados en climas cálidos. Como nuestro

TRABAJO FINAL DE CARRERA, FACULTAD DE INGENIERÍA:  
TUE ALI. Sistema de climatización para refrigeración y calefacción a partir de una fuente de energía geotérmica

caso de estudio lo localizaremos en Buenos Aires, se considerarán las temperaturas de la zona (peor condición).

CIUDAD	LATITUD SUR	INVIERNO				
		Vientos Velocidad Km/h	Dirección Dom.	Condiciones Exteriores		
				TBS K	TBH K	HR %
AZUL	36° 45'	17	SO	271.1		80
BALCARSE	37° 51'	16	SO	271.8		80
BUENOS AIRES (aeroparque)	34° 36'	18	SE	273	272.4	80
<b>BUENOS AIRES</b>	<b>34° 35'</b>	<b>11</b>	<b>S</b>	<b>273</b>	<b>272.4</b>	<b>80</b>
BAHIA BLANCA	38° 44'	23	O	270	269	
CARMEN DE PATAGONES	40° 47'	22	O	270	269	70
CATAMARCA	28° 26'	10	S	271.3	270.8	65
CORDOBA	31° 24'	12	S	269.1	268.6	75
CORRIENTES	27° 28'	14	S	278	277.4	75
COMODORO RIVADAVIA	45° 47'	39	O	272.4	271.9	55
CONCORDIA	31° 23'	13	S	275.7		75
DOLORES	36° 16'	18	SO	272.3		80
EZEIZA	34° 50'	16	S	271	270	
FORMOSA	26° 10'	14	S	278.6	278	75
GALEGUAY	33° 08'	12	S	273		75
LA PLATA	34° 55'	12	SO	273	272.4	
LA RIOJA	29° 23'	10	S	271.5		60
MAR DEL PLATA	38° 08'	24	S	272.4		85
MENDOZA	32° 53'	8	O	268	267.4	60
NECOCHEA	38° 34'	27	S	273.6	272.4	
PARANA	31° 47'	20	S	275.4		75
POSADAS	27° 25'	14	S	274.7	273.6	75
RESISTENCIA	27° 28'	14	S	278.6	278	70
ROSARIO	32° 55'	17	S	272.4	271.3	80
SALTA	24° 51'	8	O	269.1	268.6	65
SANTA ROSA	36° 34'	19	SO	268	267	65
SAN JUAN	31° 36'	15	S	269.1	268.6	55
SAN LUIS	33° 16'	8	SO	269.1	268.6	60
SANTA CRUZ	50° 01'	26	O	265.3	265.8	
SANTIAGO DEL ESTERO	27° 46'	21	S	270.8	269.7	65
SAN MIGUEL DE TUCUMAN	26° 48'	10	SO	272.4	271.9	
SANTA FE	31° 40'	11	SO	274.7	274.1	80
SAN CARLOS DE BARILOCHE	41° 06'	30	NO	268.6	268	
TRELEW	43° 14'	22	O	267	266	60
USHUAIA				261		70

Fuente: Material teórico cátedra Instalaciones en Edificios, UBA

### 9.1.4 Procedimiento Balance Térmico Invierno

La ecuación general de balance térmico de invierno clásica es la siguiente:

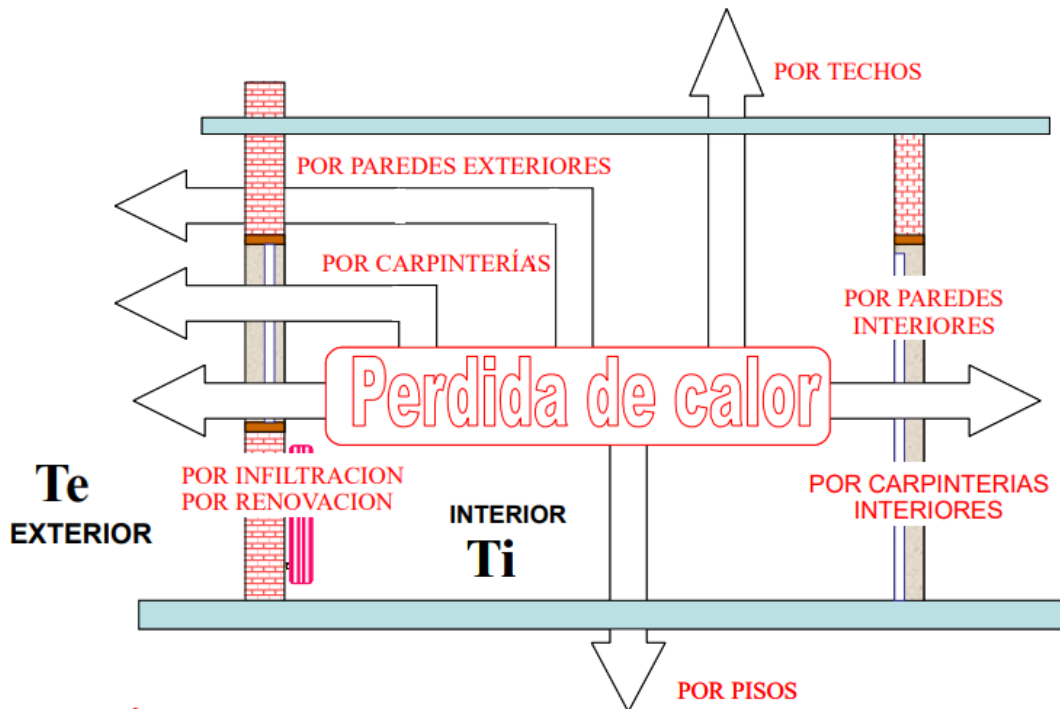
$$Q_T = Q_c + Q_i \quad (12)$$

Donde:

$Q_T$  = Cantidad de calor de pérdida total del local analizado [W]

$Q_c$  = Cantidad de calor de pérdida por conducción a través de la envolvente del local analizado [W]

$Q_i$  = Cantidad de calor de pérdida por infiltración de aire exterior al local [W]



*Perdidas de calor en invierno*

*Fuente: CARGAS TÉRMICAS, BALANCES TÉRMICOS DE INVIERNO Y VERANO, cátedra Instalaciones en Edificios / Instalaciones en Obras Civiles I de los ING. BARRENECHEING Y JUAN PABLO ALAGIA.*

la cantidad de calor de pérdida por conducción a través de la envolvente del local será:

$$Q_c = Q_0(1 + Z_d + Z_h + Z_c) \quad (13)$$

Donde:

$Q_0$  = pérdida de calor por conducción a los locales que limitan el local analizado [W]

$Z_d$  = mejoramiento por interrupción del servicio (adimensional). Esto contempla el gasto de energía adicional para poner en régimen el sistema de calefacción y se contemplan 0,07 para servicio ininterrumpido (usual en viviendas, hospitales, asilos)

$Z_h$  = Mejoramiento por pérdidas de cañerías de calefacción o conducción de aire caliente (adimensional). Varía con el tipo de extensión y nivel de aislamiento térmico de las cañerías de distribución, pero como norma práctica varía entre 0,05 a 0,10.

$Z_c$  = Mejoramiento por orientación (adimensional). Esto se debe a la orientación del local y se recomiendan los siguientes valores: 0 para orientados al E y O; - 0,05 para orientados al N, NE y NO y 0,05 para orientados al S, SE y SO.

TRABAJO FINAL DE CARRERA, FACULTAD DE INGENIERÍA:

TUE ALI. Sistema de climatización para refrigeración y calefacción a partir de una fuente de energía geotérmica

Luego tendremos que las pérdidas por conducción  $Q_o$  a través de la envolvente de un local (ver figura 1) se da

por la siguiente ecuación:

- Norte, Nordeste, Noroeste + 0,05
- Este, Oeste. + 0
- Sur, Sudeste, Sudoeste. + 0,05%

Para el caso de Buenos Aires, la dirección dominante es sur, lo que indica que el valor de  $Z_c$  es 0,05

Luego tendremos que las pérdidas por conducción  $q_o$  a través de la envolvente de un local y se calcula con la siguiente ecuación:

$$q_o = K \times A \times (t_i - t_e) \quad (14)$$

$K$  = Transmitancia térmica del cerramiento (muro, techo, piso, ventana, etc) en  $[W/m^2K]$ .

$A$  = Superficie del cerramiento en  $m^2$

$T_i$  = Temperatura interior en  $^{\circ}C$

$T_e$  = Temperatura exterior de diseño en  $^{\circ}C$

Tendremos así que la sumatoria de todas las pérdidas parciales  $q_o$  por conducción a través de la envolvente nos dará las pérdidas totales por conducción  $Q_o$ , según la siguiente ecuación:

$$Q_o = \sum q_o \quad (15)$$

Conocidas las pérdidas por conducción pasaremos a determinar las pérdidas por infiltración de aire a través de las rendijas y orificios en los cerramientos móviles. Esta cantidad de calor para compensar dichas pérdidas viene dada por la siguiente ecuación:

$$Q_i = 19,7 \times C \times (t_i - t_e) \quad (16)$$

Donde:

$Q_i$  = pérdidas por infiltración en  $[W]$ .

19,7 = constante que tiene en cuenta el calor y peso específico del aire en  $[W/m^3$   
 $^{\circ}C]$ .

$C$  = caudal de aire que penetra al local en  $[m^3/minuto]$ .

$T_i$  = Temperatura interior en  $[^{\circ}C]$

$T_e$  = Temperatura exterior de diseño en  $[^{\circ}C]$

El problema de utilizar esta ecuación general es que vamos a necesitar conocer el coeficiente de permeabilidad al aire de la ventana o puerta, la velocidad media del viento en el exterior, el grado de exposición del local, entre otros. Es una información que en nuestro país no poseemos ya que nunca existió decisión política de nuestros gobernantes para regular la calidad de las carpinterías que se fabrican y comercializan. Existe en nuestro país el INTI que hace dos décadas evaluó la calidad de las carpinterías y propuso una tabla de referencia. Por encontrarse muy desactualizada hace algunos años se decidió eliminarla de la Norma IRAM 11604.

Cuando no dispongamos de esta información deberemos contentarnos con usar el número de renovaciones horarias de un local  $N$  que para nuestro país recomienda un valor de  $N = 2$  (IRAM 11604/1999). Existen otros valores para establecimientos hospitalarios, educacionales e industriales en la Ley Nacional de Seguridad e Higiene del Trabajo. Se han realizado algunas investigaciones en Mendoza y La Plata que muestran valores bastante superiores en viviendas a las que se le realizaron auditorías energéticas. Mientras en el sur patagónico se midieron valores por debajo de la recomendación. En este caso la ecuación a utilizar es la siguiente:

$$Q_i = 0,35 \times N \times V \times (t_i - t_e) \quad (17)$$

Donde:

$Q_i$  = pérdidas por infiltración en [W].

0,35 = calor específico del aire en (W/m<sup>3</sup>°C)

$N$  = número renovaciones de aire en el local (adimensional).

$V$  = Volumen a calefaccionar [m<sup>3</sup>]

$T_i$  = Temperatura interior en [°C]

$T_e$  = Temperatura exterior de diseño en [°C]

## 9.2 Balance térmico verano

El calor que fluye del cuerpo de mayor al de menor temperatura se transmite en la naturaleza de las siguientes

formas:

- CONDUCCIÓN
- CONVECCIÓN
- RADIACIÓN

Por lo tanto, deberemos efectuar aquellos cálculos para saber qué ganancias o pérdidas tenemos por estas transferencias de calor en el local. Hay un calor que es transmitido desde el exterior al interior del local, y otro producido dentro.

### PROCEDENTE DEL EXTERIOR

1. Calor recibido a través de paredes, techos y suelos.
2. Calor recibido a través de ventanas.
3. Calor procedente del aire de ventilación o que se infiltra.

### PRODUCIDO EN EL INTERIOR

- Las personas que lo ocupan.
- La iluminación.
- Aparatos eléctricos, de gas o vapor que puedan producir calor.

- Otros factores o elementos que puedan aportar calor: tuberías de agua caliente, etc.

### 9.2.1 Procedimiento Balance Térmico Verano

La ecuación general de balance térmico de invierno clásica es la siguiente:

$$Q_R = Q_c + Q_a + Q_s + Q_o \quad (18)$$

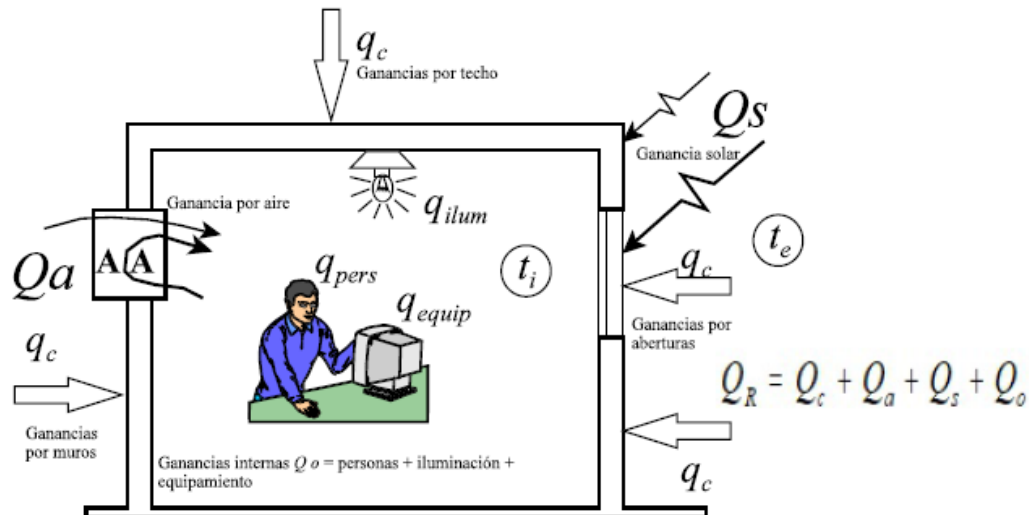
$Q_R$  = Carga térmica total en [W]

$Q_c$  = Carga térmica por conducción a través de la envolvente en [W]

$Q_a$  = Carga térmica por ventilación aportado por el aire exterior en [W]

$Q_s$  = Carga térmica solar en [W]

$Q_o$  = Carga térmica por fuentes internas (personas + equipamiento + iluminación) en [W]



Aportes o ganancias de calor en un local en condición de verano.

Fuente: Catedra UNLP Instalaciones I y II, Autor: Dr. Ing. Arq. Jorge D. Czajkowski, 2016.

### 9.2.2 Carga térmica por Conducción $Q_c$

Tendremos que la ganancia de calor por conducción parcial  $Q_c$  a través de la envolvente del local será igual que en invierno, con lo cual podemos utilizar las ecuaciones (14) y (15)

### 9.2.3 Carga térmica por ventilación $Q_a$

Se supondrá a la vivienda cerrada herméticamente donde un porcentaje del aire interior será renovado por el equipo de refrigeración para mantener una aceptable calidad del aire interior.

Calculamos la carga térmica por ventilación con la siguiente ecuación:

$$Q_a = C_{AR}(0,25 \times \Delta t + 0,61 \times \Delta w) \quad (19)$$

TRABAJO FINAL DE CARRERA, FACULTAD DE INGENIERÍA:  
TUE ALI. Sistema de climatización para refrigeración y calefacción a partir de una fuente de energía geotérmica

Donde:

$Q_a$ : Carga térmica por ventilación, aportado por el aire exterior en [W]

$C_{AR}$ : Cantidad de aire a renovar en [ $m^3/h$ ]

$$C_{AR} = N_{pers} \times C_{avp}$$

$N_{pers}$ : cantidad de personas que ocupan la vivienda

$C_{avp}$ : caudal de aire de ventilación por persona en [ $m^3 / h \cdot pers$ ] según siguiente tabla:

DESTINO	ACTIVIDAD	Verano	Verano/ Invierno	Invierno - Renovaciones Horarias	
		$m^3 / \text{min}/\text{pers.}$	Caudal de aire $m^3/h/\text{persona}$	Mínima	Recomendada
Vivienda	Mín - Med - Máx	0,58 - 0,58 - 0,58	15	1,2	1,5
Oficina	Mín - Med - Máx	0,50 - 0,50 - 0,50	15	1,2	1,5
Comercio	Mín - Med - Máx	0,33 - 0,50 - 0,83	15 - 20 - 25	1,2 - 1,5 - 2,0	1,5 - 2,0 - 2,5
Industria	Mín - Med	0,33 - 0,50	15 - 20	1,2 - 1,5	1,5 - 1,2
Bares	Med - Máx	0,50 - 1,5	30 - 90	2	3
Sala operación	Mín	2	120	10	20
Cine, teatro	Mín	0,6	36	2,5	3,5

Cantidad de aire recomendado para ventilación de locales tipo según intensidad de actividad en verano o invierno

Fuente: Catedra UNLP Instalaciones I y II, Autor: Dr. Ing. Arq. Jorge D. Czajkowski, 2016.

0,25: constante que resulta del cociente entre el calor específico del aire húmedo a 21°C y 50% HR y el volumen específico de la misma mezcla de aire; en [ $W / m^3 \text{ } ^\circ C$ ]

$$0,25 = C_e \times n$$

$C_e$ : calor específico del aire (21°C y 50%): [0,211 W / Kg°C]

$n$ : volumen específico del aire (21°C y 50%): 0,845 [ $m^3 / kg$ ]

0,61: constante que resulta del cociente entre el valor medio de la cantidad de calor cedida por la condensación de un gramo de vapor de agua y el volumen específico de la misma mezcla de aire; en [ $W / m^3 \text{ g}$ ]

$$0,61 = C_v \times n$$

$C_v$ : calor cedido por condensación de 1 g vapor agua: 0,516 [W/ Kg gr.]

$n$ : volumen específico del aire (21°C y 50%): 0,845 [ $m^3 / Kg$ ]

$$\Delta t: t_e - t_i$$

$t_e$ : temperatura exterior diseño [°C]

$t_i$ : temperatura interior confort [°C]

$$\Delta W: W_e - W_i$$

$W_e$ : humedad específica del aire exterior [g/kg]

$W_i$ : humedad específica del aire interior [g/kg]

(Del diagrama psicrométrico para las mezclas de aire exterior e interior).

### 9.2.4 Carga térmica solar $Q_s$

Los vidrios de nuestro país contienen impurezas de hierro que al verlo de lado muestra una tonalidad verdosa. Esto hace que aproximadamente solamente el 86% de la radiación lo atraviese y que llevado a un factor de transparencia es 0,86. Así el 14% de la radiación recibida o será absorbida por la masa del vidrio calentándolo o será reflejada. Para el factor de exposición solar  $F_{ES}$  se toma como referencia un vidrio común de 3 mm transparente como  $F_{ES} = 1,00$  y el resto de los vidrios o protecciones resultarán con valores de  $F_{ES}$  menores.

La expresión general para el cálculo de la carga debida al sol es:

$$Q_s = S \times I_s \times F_{ES} \quad (20)$$

Donde:

$Q_s$  = cantidad de calor por radiación solar [W].

$S$  = superficie vidriada [ $m^2$ ].

$I_s$  = Radiación solar a las 13 hs en [ $W/m^2$ ]

Tabla D.7: Datos de radiación solar total (directa+difusa+reflejada) para la zona bioambiental "IIIB"

Hora	Horizontal	Sur	Sureste	Este	Noreste	Norte	Noroeste	Oeste	Suroeste
6	141	146	370	407	289	51	51	51	51
7	300	151	382	453	367	109	109	109	109
8	449	163	376	472	420	170	163	163	163
9	577	210	353	462	444	259	210	210	210
10	675	245	313	423	438	327	245	245	245
11	736	268	268	360	402	370	268	268	268
12	757	275	275	275	338	384	338	275	275
13	736	268	268	268	268	370	402	360	268
14	675	245	245	245	245	327	438	423	313
15	577	210	210	210	210	259	444	462	353
16	449	163	163	163	163	170	420	472	376
17	300	151	109	109	109	109	367	453	382
18	141	146	51	51	51	51	289	407	370
Radiación total diaria ( $W/m^2$ )	6523	2749	3519	4040	3825	2963	3825	4040	3519
Radiación total diaria ( $MJ/m^2d$ )	23,48	9,9	12,67	14,54	13,77	10,67	13,77	14,54	12,67

Datos para zona de Buenos Aires

Fuente: Catedra UNLP Instalaciones I y II, Autor: Dr. Ing. Arq. Jorge D. Czajkowski, 2016.

$F_{ES}$  = Factor de exposición solar del vidrio o la carpintería (Ver Tabla 5)



Tabla 5: Factor de exposición solar de vidriados y sus protecciones F<sub>ES</sub>

TIPO DE VIDRIO	Espesor (mm)	Sin persiana o pantalla	PERSIANA VENECIANAS INTERIORES. Listones horizontales 45° o verticales inclinados 45° o cortinas de tela			PERSIANA VENECIANAS EXTERIORES. Listones horizontales inclinados 45°		PERSIANA EXTERIOR. Listones inclinados 17° (horizontales)		CORTINA EXTERIOR DE TELA. Circulación de aire arriba y naturalmente	
			Fes	Color claro	Color medio	Color oscuro	Color claro	Exterior claro interior oscuro	Color medio	Color oscuro	Color claro
Incoloro	3	1	0,56	0,65	0,75	0,15	0,13	0,22	0,15	0,2	0,25
	4	0,98	0,55	0,64	0,74	0,15	0,13	0,22	0,15	0,20	0,25
	5	0,96	0,54	0,62	0,72	0,14	0,12	0,21	0,14	0,19	0,24
	6	0,95	0,53	0,62	0,71	0,14	0,12	0,21	0,14	0,19	0,24
	10	0,89	0,50	0,58	0,67	0,13	0,12	0,20	0,13	0,18	0,22
Coloreado en su masa Gris	3	0,85	0,48	0,55	0,64	0,13	0,11	0,19	0,13	0,17	0,21
	6	0,73	0,41	0,47	0,55	0,11	0,09	0,16	0,11	0,15	0,18
Coloreado en su masa Bronce	3	0,85	0,48	0,55	0,64	0,13	0,11	0,19	0,13	0,17	0,21
	6	0,73	0,41	0,48	0,55	0,11	0,10	0,16	0,11	0,15	0,18
Coloreado en su masa Verde	3	0,82	0,46	0,53	0,62	0,12	0,11	0,18	0,12	0,16	0,21
	6	0,68	0,38	0,44	0,51	0,10	0,09	0,15	0,10	0,14	0,17
Coloreado en su masa Azul	6	0,72	0,40	0,47	0,54	0,11	0,09	0,16	0,11	0,14	0,18
Reflectivo Incoloro	6	0,62	0,35	0,40	0,47	0,09	0,08	0,14	0,09	0,12	0,16
Reflectivo Gris	6	0,37	0,21	0,24	0,28	0,06	0,05	0,08	0,06	0,07	0,09
Reflectivo Bronce	6	0,43	0,24	0,28	0,32	0,06	0,06	0,09	0,06	0,09	0,11
Reflectivo Incoloro	6	0,64	0,36	0,42	0,48	0,10	0,08	0,14	0,10	0,13	0,16
Reflectivo Gris	6	0,43	0,24	0,28	0,32	0,06	0,06	0,09	0,06	0,09	0,11
Reflectivo Bronce	6	0,47	0,26	0,31	0,35	0,07	0,06	0,10	0,07	0,09	0,12
<b>DVH (con cámara aire 12 mm)</b>											
Incoloro ext; incoloro interior	3+12+3	0,88	0,49	0,57	0,66	0,13	0,11	0,19	0,13	0,18	0,22
Incoloro ext; incoloro interior	6+12+6	0,81	0,45	0,53	0,61	0,12	0,11	0,18	0,12	0,16	0,20
Incoloro ext; incoloro interior	3+12+3	0,69	0,39	0,45	0,52	0,10	0,09	0,15	0,10	0,14	0,17
Incoloro ext; incoloro interior	6+12+6	0,51	0,29	0,33	0,38	0,08	0,07	0,11	0,08	0,10	0,13
Color Gris ext; incoloro interior	3+12+3	0,72	0,40	0,47	0,54	0,11	0,09	0,16	0,11	0,14	0,18
Color Gris ext; incoloro interior	6+12+6	0,59	0,33	0,38	0,44	0,09	0,08	0,13	0,09	0,12	0,15
Color Bronce ext; incoloro interior	3+12+3	0,70	0,39	0,46	0,53	0,11	0,09	0,15	0,11	0,14	0,18
Color Bronce ext; incoloro interior	6+12+6	0,54	0,30	0,35	0,41	0,08	0,07	0,12	0,08	0,11	0,14
Color Verde ext; incoloro interior	3+12+3	0,70	0,39	0,46	0,53	0,11	0,09	0,15	0,11	0,14	0,18
Color Verde ext; incoloro interior	6+12+6	0,54	0,30	0,35	0,41	0,08	0,07	0,12	0,08	0,11	0,14
Color Azul ext; incoloro interior	6+12+6	0,58	0,32	0,38	0,44	0,09	0,08	0,13	0,09	0,12	0,15
Reflectivo Incoloro ext; incoloro int	6+12+6	0,54	0,30	0,35	0,41	0,08	0,07	0,12	0,08	0,11	0,14
Reflectivo Gris ext; incoloro int	6+12+6	0,35	0,20	0,23	0,26	0,05	0,05	0,08	0,05	0,07	0,09
Reflectivo Bronce ext; incoloro int	6+12+6	0,38	0,21	0,25	0,29	0,06	0,05	0,08	0,06	0,08	0,10
Reflectivo Blue-Green ext; incoloro int	6+12+6	0,36	0,20	0,23	0,27	0,05	0,05	0,08	0,05	0,07	0,09
Reflectivo Verde ext; incoloro int	6+12+6	0,28	0,16	0,18	0,21	0,04	0,04	0,06	0,04	0,06	0,07
Reflectivo Azul ext; incoloro int	6+12+6	0,30	0,17	0,20	0,23	0,05	0,04	0,07	0,05	0,06	0,08
Reflectivo Incoloro ext; incoloro int	6+12+6	0,55	0,31	0,36	0,41	0,08	0,07	0,12	0,08	0,11	0,14
Reflectivo Gris ext; incoloro int	6+12+6	0,38	0,21	0,25	0,29	0,06	0,05	0,08	0,06	0,08	0,10
Reflectivo Bronce ext; incoloro int	6+12+6	0,41	0,23	0,27	0,31	0,06	0,05	0,09	0,06	0,08	0,10
Reflectivo Blue-Green ext; incoloro int	6+12+6	0,39	0,22	0,25	0,29	0,06	0,05	0,09	0,06	0,08	0,10
Reflectivo Verde ext; incoloro int	6+12+6	0,31	0,17	0,20	0,23	0,05	0,04	0,07	0,05	0,06	0,08
Reflectivo Azul ext; incoloro int	6+12+6	0,30	0,17	0,20	0,23	0,05	0,04	0,07	0,05	0,06	0,08
<b>DVH con Low-e (emisividad = 0,2 sobre cara 3)</b>											

Fuente: Catedra UNLP Instalaciones I y II, Autor: Dr. Ing. Arq. Jorge D. Czajkowski, 2016

### 9.2.5 Carga térmica por fuentes internas Q<sub>o</sub>

La suma del calor total por personas, más el calor sensible de la iluminación artificial, más el calor sensible de los artefactos de oficina (computadoras, impresoras, fotocopiadoras, etc). En su cálculo usaremos la siguiente expresión:

$$Q_o = N_{pers} \times q_{pers} + C_{ilum} \times P_{ilum} + \sum C_{equip} \times P_{equip} \quad (21)$$

Donde:

Q<sub>o</sub>: carga de calor interno por fuentes internas [W].

N<sub>pers</sub>: cantidad de personas en la vivienda

TRABAJO FINAL DE CARRERA, FACULTAD DE INGENIERÍA:  
TUE ALI. Sistema de climatización para refrigeración y calefacción a partir de una fuente de energía geotérmica

$q_{pers}$ : disipación de calor por persona según actividad, sensible + latente [W/persona]. Podemos ver los valores en la siguiente tabla:

**Tabla 1: Disipación de calor en personas por tipo de actividad.**

Grado de actividad	W	
	Sensible	Latente
Sentado en reposo	63,8	40,6
Sentado y trabajo muy liviano	63,8	52,2
Trabajo oficina con cierta actividad	63,8	69,6
Trabajo liviano	69,6	92,8
Trabajo pesado	92,8	185,6
Trabajo muy pesado	139,2	301,6

Fuente: Catedra UNLP Instalaciones I y II, Autor: Dr. Ing. Arq. Jorge D. Czajkowski, 2016

$C_{ilum}$ : cantidad de artefactos de iluminación semejantes

$P_{ilum}$ : potencia del artefacto de iluminación [W].

Para el nivel de iluminación usamos la siguiente tabla, donde están normalizados los niveles de iluminación:

**Tabla 6: Niveles de iluminación recomendados por IRAM según tipo de local y tipo de iluminación.**

DESTINO	ACTIVIDAD	Nivel Iluminación Lux	Fluorescente W/ m <sup>2</sup>	Incandescente W/ m <sup>2</sup>	Dicroica W/ m <sup>2</sup>
Vivienda	Mínima	200	8	20	30
	Mediana	250	10	25	38
	Máxima	300	12	30	45
Oficina	Mínima	300	12	30	45
	Mediana	400	16	40	60
	Máxima	500	20	50	75
Comercio	Mínima	300	12	30	45
	Mediana	400	16	40	60
	Máxima	500	20	50	75
Industria	Mínima	200	8	20	30
	Mediana	400	16	40	60
	Máxima	500	20	50	75
Otro destino	Mínima	200	8	20	30
	Mediana	300	12	30	45
	Máxima	400	16	40	60

Fuente: Catedra UNLP Instalaciones I y II, Autor: Dr. Ing. Arq. Jorge D. Czajkowski, 2016

TRABAJO FINAL DE CARRERA, FACULTAD DE INGENIERÍA:  
TUE ALI. Sistema de climatización para refrigeración y calefacción a partir de una fuente de energía geotérmica

Tabla 7: Coeficiente térmico para diferentes tipos de iluminación.

	Tipo de Luminaria	Coeficiente Térmico
	Lámpara fluorescente	125
	Lámpara incandescente	100
	Lámpara incandescente halógena (dicroicas)	125

Fuente: Catedra UNLP Instalaciones I y II, Autor: Dr. Ing. Arq. Jorge D. Czajkowski, 2016

$C_{equip}$ : cantidad de equipos o artefactos semejantes

$P_{equip}$ : potencia del artefacto o equipo (de Tabla 9) [W].

Tabla 9: Valores de calor sensible, latente y total, producidos por diversos artefactos.

EQUIPO	CALOR SENSIBLE Qs. (W)	CALOR LATENTE Qi (W)	CALOR TOTAL Qt. (W)
<b>Aparatos Eléctricos</b>			
Aspiradora	500	0	500
Cafetera	230	60	290
Computadora de escritorio o "desktop"	210-300	0	210-300
Computadora tipo "notebook"	200	0	200
Equipo de Audio	150	0	150
Fotocopiadora	500	0	500
Heladera común	310	0	310
Heladera c/Freezer	360	0	360
Impresora	450-1100	0	450-1100
Lavarropas	300	0	300

Fuente: Catedra UNLP Instalaciones I y II, Autor: Dr. Ing. Arq. Jorge D. Czajkowski, 2016

Monitor	45	0	45
Motores, por HP	645	0	645
Plancha	700	0	700
Proyector de diapositivas	500-1500	0	500-1500
Secador de pelo	675	115	790
Televisor	300	0	300
Tostadores	800	200	1000
Ventilador	50-150	0	50-150
<b>Aparatos a Gas</b>			
Horno (coc. gas nat.) (x m3/ h)	6977	3373	10350
Mechero Bunsen Grande	977	267	1244
Pequeño Mechero de Bunsen	280	70	350
Alimentos por persona	8	8	16
Cafetera de 11 Lts.	849	849	1698
Calentador de agua (2 Lts.)	116	29	145
Calienta platos	2687	1419	4106
Freidora	123	820	2053
Horno	1326	1326	2652
Parrilla	4216	1064	5280

## 10.DIMENSIONAMIENTO EN CASA PROCREAR

Se dejará la memoria de cálculo para la instalación de Tue Ali en una vivienda del programa Procrear ubicada en la ciudad de la Plata.

### 10.1 Construcción

La instalación del sistema del intercambiador de calor se realiza al mismo tiempo que la construcción de la vivienda con el objetivo de ahorrar costos de instalación. De esta forma no se tienen problemas de obstrucciones con sistemas de drenajes, cableado eléctrico o la necesidad de demoler ciertas partes, si ya hay alguna construcción en el lugar deseado de instalación.

La vivienda que utilizaremos como ejemplo es la mencionada en la sección 6.6.1 y la ubicación es en la ciudad de La Plata.

#### Datos constructivos de la vivienda:

En anexo 2 se detallan los planos de paredes, puertas y ventanas.

Se estimará que la vivienda está habitada por una familia de 2 personas.

Superficie total del sector a climatizar: 56 m<sup>2</sup>.

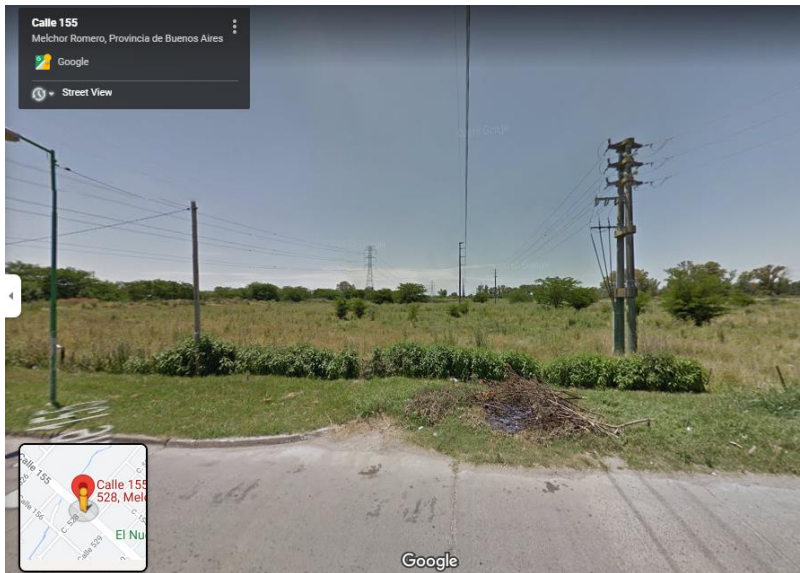
Volumen total del sector a climatizar: 168 m<sup>3</sup>.

Largo: 10m

Ancho: 5,6m

Alto: 3m

	Largo [m]	Altura [m]	Superficie total de pared [m <sup>2</sup> ]	Orientación
Pared 1	10,00	3,00	30,00	Suroeste
Pared 2	5,60	3,00	16,80	Noroeste
Pared 3	5,60	3,00	16,80	Sureste
Pared 4	10,00	3,00	30,00	Noreste
Techo	10	5,6	56	-



## 10.2 Profundidad de la instalación

De acuerdo con lo revisado en la sección 7.1, la profundidad elegida para la instalación de los tubos será a 2.5 m, ya que en esa zona se produce una inversión de temperatura<sup>24</sup>. En verano, a esta profundidad, encontramos el terreno más frío que su valor medio anual y viceversa, en inviernos esta zona del suelo está más caliente. De modo que esta región de suelo se convierte en un lugar óptimo para colocar un intercambiador térmico en el interior de las viviendas.

## 10.3 Temperaturas

### 10.3.1 Temperatura exterior

Vamos a considerar el peor caso, tanto para verano como para invierno y con este dato de entrada, veremos cuál será el largo del intercambiador necesario para alcanzar la temperatura de confort deseada, aplicando el modelo teórico presentado en este trabajo.

Como vimos en la sección 7.1, los valores extremos en la ciudad de la Plata para el año 2020 son:

Temperatura Máxima en Verano: 30 [°C]

Temperatura Mínima en Invierno: 6,7 [°C]

### 10.3.2 Temperatura de confort

Vamos a utilizar las temperaturas de confort vistas en la sección 9.1.2, definidas para departamentos:

Temperatura de confort Invierno: 20 [°C]

Temperatura de confort Verano: 24 [°C]

---

<sup>24</sup> Acondicionamiento térmico de aire usando energía geotérmica-ondas de calor, Autor: S. Gil

### 10.3.3 Temperatura del subsuelo

Como vimos en la sección 7.1, se han realizado diversos estudios que demuestran que a partir de los 0,5 m la temperatura de la Tierra se mantiene constante en el tiempo. El valor de esta temperatura es generalmente igual al valor medio de la temperatura anual de la superficie. En el caso de la zona central de Argentina, esta temperatura es del orden de 18,6°C a partir de los 2 m.

Se puede observar que a una profundidad de aproximadamente 2.5 m, en la ciudad de la Plata en invierno puede haber una temperatura de 19.5°C y en verano una temperatura de 16 °C, pero se hará también el cálculo teórico para poder pronosticar con exactitud los valores.

### 10.4 Punto de captación de aire

Esta toma se deberá situar ligeramente en alto para evitar la captación de aire contaminado. El gas radón se genera de forma natural en la corteza terrestre y con mayor intensidad en zonas volcánicas. En altas dosis, el gas radón puede ser nocivo para la salud. Como es más pesado que el aire, el gas radón tiende a acumularse en zonas bajas y donde no hay circulación de aire. Es por esta razón que el punto de captación se eleva del suelo y se privilegia su ubicación en zonas donde haya una buena circulación del aire. Para evitarlo se sugiere que el punto de captación de aire se ubique por lo menos entre 1 y 1,5 m sobre el nivel del suelo.<sup>25</sup>

Se pondrá a 1.5 m del suelo.

### 10.5 Filtros

Los filtros servirán primordialmente para evitar la entrada de polvo, suciedad e insectos a la tubería y al sistema; se puede utilizar cualquier tipo de filtro que cumpla con esa función básica. Se recomiendan los filtros clase M según la norma EN 779:2012.<sup>26</sup>

GRUPO	CLASE	RENDIMIENTO MEDIO (Am) FRENTE A POLVO SINTÉTICO %	EFICACIA MEDIA (Em) FRENTE A PARTICULAS DE 0.4 um %	EFICACIA MÍNIMA FRENTE A PARTICULAS DE 0.4 um %
GRUESO	G1	50 ≤ Am < 65	—	—
	G2	65 ≤ Am < 80	—	—
	G3	80 ≤ Am < 90	—	—
	G4	90 ≤ Am	—	—
MEDIO	M5	—	40 ≤ Em < 60	—
	M6	—	60 ≤ Em < 80	—
FINO	F7	—	80 ≤ Em < 90	35
	F8	—	90 ≤ Em < 95	55
	F9	—	95 ≤ Em	70

*Clasificación de los Filtros de Aire, NORMATIVA EN 779:2012*

Fuente: <https://abccvalidaciones.com.ar/clasificacion-de-los-filtros-de-aire/>

<sup>25</sup> <https://about-haus.com/como-construir-un-pozo-canadiense/>

<sup>26</sup> <https://abccvalidaciones.com.ar/clasificacion-de-los-filtros-de-aire/>

## 10.6 Tubos horizontales enterrados

Según las condiciones a las cuales estará situado el sistema debajo de la tierra, a 2.5 metros de profundidad, es necesario utilizar tubería que resista esas condiciones y que sea de superficie interior lisa para ayudar al flujo de aire. Es importante que contengan una capa interior antimicrobiana. Cabe mencionar que es importante que los tubos estén impermeabilizados ante el radón. Por su bajo valor comercial, fácil mantenimiento, garantía de 50 años y disponibilidad se pudo concluir que el material apto para el sistema es el Policloruro de Vinilo (PVC).

Se recomienda usar tubos de PVC con junta pegada.<sup>27</sup>

### **Beneficios:**

Asegura estanqueidad de las juntas y resistencia a la corrosión.

No favorece el desarrollo de algas, hongos y raíces.

La unión del tubo con cada accesorio es soldada a través de una fusión química.

Absorbe y soporta los frecuentes movimientos estructurales, sin sufrir deterioros.

### **Usos:**

Conducción de desagües sanitarios, pluviales y ventilaciones en viviendas, edificios residenciales y comerciales.

Está diseñado para utilizarse en aplicaciones no presurizadas donde la temperatura de operación no excederá de 60°C.

Se pueden conseguir por ejemplo con la empresa Amanco Wavin Argentina

Descripción técnica:

- Tuberías con sello IRAM 13447
- Las tuberías y accesorios van desde 40 a 200mm.
- Espesor constante de 3,2mm a lo largo de todo el tubo.
- Textura lisa.
- Todos los accesorios tienen la opción MH y HH

## 10.7 Punto de drenaje

En verano se puede formar en el interior de los tubos agua condensada, a causa del enfriamiento del aire aspirado. Para asegurar la operatividad a largo plazo del intercambiador aire-tierra y evitar la formación de olores, es preciso evacuar el condensado de forma definida. Se pondrán los tubos con una inclinación del 1% y así el agua condensada en las tuberías se dirige al punto de drenaje. Cada 4 a 5 meses, se pide un camión limpia fosas para limpiar los desechos del sistema.

---

<sup>27</sup> <https://preview.wavin.com/es-ar/cat%C3%A1logo/edificacion/sistema-cloacal-y-pluvial/nivel-1-pvc-junta-pegada>

## 10.8 Carga térmica

Vamos a calcular el balance térmico tanto para verano como para invierno, con el fin de encontrar la ventilación adecuada.

### Balance térmico Verano:

#### Condiciones Interiores

1. Máximo confort: 24 °[C]

#### Condiciones exteriores

Para dimensionar vamos a utilizar la peor condición de temperatura, comparando entre los valores anuales del año 2020 y lo que dice la norma IRAM 11603/1996. De estos dos se elegirá el más alto.

1. Temperatura Máxima en Verano: 30 [°C] (Año 2020)
2. Temperatura máxima de diseño según norma IRAM 11603/1996:

LOCALIDAD:	LA PLATA, Centro.
PROVINCIA:	BUENOS AIRES
LATITUD:	35
LONGITUD:	57.56
ASNM:	15 m
Temp. Media:	21,8 °C
Temp. máxima media:	27,8 °C
Temp. mínima media:	16,8 °C
Temperatura Diseño verano:	31,3 °C

*Datos climáticos área gran La Plata, Verano.*

*Fuente: Norma IRAM 11603/1996.*

### Carga térmica por Conducción $Q_c$

Para este cálculo como vimos en la sección 9, se usaron las ecuaciones 14 y 15 y obtenemos los siguientes datos:

Elementos	Material	Superficie material [m <sup>2</sup> ]	Coficiente de transmisión K [W/m <sup>2</sup> K]	$\Delta T$ [°C]	$q_c$ [W]
<b>Pared 1 (Suroeste)</b>					
Pared exterior	20 cm de ladrillo revocado en ambas caras sin aislación	21,55	2,3	7,3	361,82



TRABAJO FINAL DE CARRERA, FACULTAD DE INGENIERÍA:  
TUE ALI. Sistema de climatización para refrigeración y calefacción a partir de una fuente de energía geotérmica

Puerta	Madera maciza 45 mm espesor	1,85	5,6	7,3	75,42
Ventana 1 (x3)	Vidrio laminado 3x3	3,11	5,6	7,3	126,93
Ventana 2 (x5)	Vidrio laminado 3x3	3,50	5,6	7,3	143,08
<b>Pared 2 (Noroeste)</b>					
Pared exterior	20 cm de ladrillo revocado en ambas caras sin aislación	16,80	2,3	7,3	282,07
<b>Pared 3 (Sureste)</b>					
Pared exterior	20 cm de ladrillo revocado en ambas caras sin aislación	16,80	2,3	7,3	282,07
<b>Pared 4 (Noreste)</b>					
Pared exterior	20 cm de ladrillo revocado en ambas caras sin aislación	18,23	2,3	7,3	306,08
Ventana - Puerta (x3)	Vidrio laminado 3x3	11,77	5,6	7,3	481,16
<b>Techo</b>					
	Techo con aislación y cielorraso de yeso	56	0,6	7,3	245,28
<b>Carga térmica por conducción a través de la envolvente <math>Q_c</math></b>					<b>2303,92</b>

### Carga térmica solar $Q_s$

Para la carga térmica solar, se utilizó la ecuación 20 nombrada en la sección 9.

Los datos de radiación total diaria ( $I_s$ ) se sacan de la siguiente tabla:

Tabla D.7: Datos de radiación solar total (directa+difusa+reflejada) para la zona bioambiental "IIIb"

Hora	Horizontal	Sur	Sureste	Este	Noreste	Norte	Noroeste	Oeste	Suroeste
6	141	146	370	407	289	51	51	51	51
7	300	151	382	453	367	109	109	109	109
8	449	163	376	472	420	170	163	163	163
9	577	210	353	462	444	259	210	210	210
10	675	245	313	423	438	327	245	245	245
11	736	268	268	360	402	370	268	268	268
12	757	275	275	275	338	384	338	275	275
13	736	268	268	268	268	370	402	360	268
14	675	245	245	245	245	327	438	423	313
15	577	210	210	210	210	259	444	462	353
16	449	163	163	163	163	170	420	472	376
17	300	151	109	109	109	109	367	453	382
18	141	146	61	51	51	51	289	407	370
Radiación total diaria (W/m²)	6523	2749	3519	4040	3825	2963	3825	4040	3519
Radiación total diaria (MJ/m²d)	23,48	9,9	12,67	14,54	13,77	10,67	13,77	14,54	12,67

Datos para zona de Buenos Aires

Fuente: Catedra UNLP Instalaciones I y II, Autor: Dr. Ing. Arq. Jorge D. Czajkowski, 2016.

Consideramos la radiación a las 13 horas.

$F_{ES} = 1$  por ser vidrio simple

Orientación	Plano vidriado	Superficie vidriada (m²)	$I_s$ [W/m²]	$F_{ES}$	$Q_s$ [W]
Suroeste	Vidrio simple	6,605	268	1	1770,14
Noreste	Vidrio simple	11,77	268	1	3154,36
<b>Carga térmica solar <math>Q_s</math></b>					<b>4924,50</b>

<b>TOTAL CALOR SENSIBLE EXTERNO (<math>Q_c + Q_s</math>)</b>	<b>7228,42</b>
--	----------------

### Carga térmica por fuentes internas $Q_o$ (Calor sensible)

Se utilizaron los datos de las tablas en la sección 9.2.5:

Cantidad de personas: 2

Grado de actividad: Sentado en reposo

Calor sensible por grado de actividad: 63,8 [W]

Calor latente por grado de actividad: 40,6 [W]

Illuminación para vivienda (Máxima) tipo LED: 4 [W/m²]

Total por vivienda de 56 m²: 224 W

TRABAJO FINAL DE CARRERA, FACULTAD DE INGENIERÍA:  
 TUE ALI. Sistema de climatización para refrigeración y calefacción a partir de una fuente de energía geotérmica

Calor Sensible	Cantidad	Factor	q <sub>o</sub> Sensible [W]
Ocupantes (Cantidad)	2	63,8	127,60
Iluminación (potencia en W)	1680	-	224,00
Computadora tipo notebook		-	200,00
Heladera común con freezer		-	360,00
Lavarropas		-	300,00
Secador de pelo		-	675,00
Televisor		-	300,00
Horno		-	1326,00
Calentador de agua (2 lts)		-	116,00
Pequeño mechero Bunsen		-	1120,00
<b>Carga térmica por fuentes internas Q<sub>o</sub></b>			<b>4748,60</b>

Calor Latente	Cantidad	Factor	q <sub>o</sub> Latente [W]
Ocupantes (Cantidad)	2	40,6	81,20
Secador de pelo		-	115,00
Horno		-	1326,00
Calentador de agua (2 lts)		-	29,00
Pequeño mechero Bunsen		-	280,00
<b>Carga térmica por fuentes internas Q<sub>o</sub></b>			<b>1831,20</b>

**Carga térmica por ventilación Q<sub>a</sub>**

Para la carga térmica por ventilación, se utilizó la ecuación 19 nombrada en la sección 9.

Para la Cantidad de aire a renovar C<sub>AR</sub> en [m<sup>3</sup>/h] se utilizó la siguiente tabla quedando:

$$C_{AR} = N_{pers} \times C_{avp}$$

$$C_{AR} = 2 \times 15 = 30 \text{ m}^3/\text{h}$$

TRABAJO FINAL DE CARRERA, FACULTAD DE INGENIERÍA:

TUE ALI. Sistema de climatización para refrigeración y calefacción a partir de una fuente de energía geotérmica

DESTINO	ACTIVIDAD	Verano	Verano/ Invierno	Invierno - Renovaciones Horarias	
		m <sup>3</sup> / min/pers.	Caudal de aire m <sup>3</sup> /h/persona	Mínima	Recomendada
Vivienda	Min - Med - Máx	0,58 - 0,58 - 0,58	15	1,2	1,5
Oficina	Min - Med - Máx	0,50 - 0,50 - 0,50	15	1,2	1,5
Comercio	Min - Med - Máx	0,33 - 0,50 - 0,83	15 - 20 - 25	1,2 - 1,5 - 2,0	1,5 - 2,0 - 2,5
Industria	Min - Med	0,33 - 0,50	15 - 20	1,2 - 1,5	1,5 - 1,2
Bares	Med - Máx	0,50 - 1,5	30 - 90	2	3
Sala operación	Min	2	120	10	20
Cine, teatro	Min	0,6	36	2,5	3,5

Cantidad de aire recomendado para ventilación de locales tipo según intensidad de actividad en verano o invierno

Fuente: Catedra UNLP Instalaciones I y II, Autor: Dr. Ing. Arq. Jorge D. Czajkowski, 2016.

$$\Delta W = 9,7 \text{ [g/Kg]}$$

$$\Delta T = 7,3 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$Q_{a\text{sensible}} = 30 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} (0,25 \times 7,3^\circ\text{C}) = 54,75 \text{ [W]}$$

$$Q_{a\text{latente}} = 30 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \left( 0,61 \times 9,7 \frac{\text{g}}{\text{Kg}} \right) = 177,51 \text{ [W]}$$

<b>TOTAL CARGA DE REFRIGERACIÓN</b>		
<b>CARGA TOTAL DE CALOR SENSIBLE</b>		
Carga térmica sensible externa	7228,42	W
Carga térmica sensible interna	<b>4748,60</b>	W
Carga térmica sensible por ventilación	54,75	W
<b>CARGA TOTAL DE CALOR LATENTE</b>		
Carga térmica por fuentes internas	<b>1831,20</b>	W
Carga térmica por ventilación latente	177,51	W
<b>TOTAL</b>	<b>14040,48</b>	<b>W</b>
<b>TOTAL en Tn refrigeración = Total (W) / 3480</b>	<b>4</b>	<b>Tn</b>

**Balance térmico Invierno:**

**Condiciones Interiores**

1. Máximo confort: 20 [°C]

**Condiciones exteriores**

Temperatura Mínima en Invierno: 6,7 [°C] (Año 2020)

Si bien la temperatura mínima en invierno del año 2020 es mayor que la indicada en la norma IRAM 11603/1996, se utilizaran los valores según norma:

LOCALIDAD:	LA PLATA, Centro.
PROVINCIA:	BUENOS AIRES
LATITUD:	35
LONGITUD:	57.56
ASNM:	15 m
Temp. Media:	10,2 °C
Temp. máxima media:	15,2 °C
Temp. mínima media:	6,9 °C
Temperatura Diseño invierno:	2,40 °C

*Datos climáticos área gran La Plata.*

*Fuente: Norma IRAM 11603/1996.*

### Carga térmica por Conducción $Q_c$

Para este cálculo como vimos en la sección 9, se usaron las ecuaciones 14 y 15 y obtenemos los siguientes datos:

Elementos	Material	Superficie material [m <sup>2</sup> ]	Coficiente de transmisión K [W/m <sup>2</sup> K]	$\Delta T$ [°C]	qc [W]
<b>Pared 1 (Suroeste)</b>					
Pared exterior	20 cm de ladrillo revocado en ambas caras sin aislación	21,55	2,3	17,6	872,34
Puerta	Madera maciza 45 mm espesor	1,85	5,6	17,6	181,84
Ventana 1 (x3)	Vidrio laminado 3x3	3,11	5,6	17,6	306,03
Ventana 2 (x5)	Vidrio laminado 3x3	3,50	5,6	17,6	344,96
<b>Pared 2 (Noroeste)</b>					
Pared exterior	20 cm de ladrillo revocado en ambas caras sin aislación	16,80	2,3	17,6	680,06
<b>Pared 3 (Sureste)</b>					

TRABAJO FINAL DE CARRERA, FACULTAD DE INGENIERÍA:  
TUE ALI. Sistema de climatización para refrigeración y calefacción a partir de una fuente de energía geotérmica

Pared exterior	20 cm de ladrillo revocado en ambas caras sin aislación	16,80	2,3	17,6	680,06
<b>Pared 4 (Noreste)</b>					
Pared exterior	20 cm de ladrillo revocado en ambas caras sin aislación	18,23	2,3	17,6	737,95
Ventana - Puerta (x3)	Vidrio laminado 3x3	11,77	5,6	17,6	1160,05
<b>Techo</b>					
	Techo con aislación y cielorraso de yeso	56	0,6	17,6	591,36
<b>Pérdidas totales por conducción</b>					<b>5554,67</b>

**Pérdidas por infiltración  $Q_i$**

Para este cálculo como vimos en la sección 9, se utilizó la ecuación 17 obteniendo los siguientes datos:

$$Q_i = 0,35 \times 3 \times 168 \times 17,6 = 3104,68 [W]$$

N= 3

$\Delta T [^{\circ}C] = 17,6$

V (Volumen a calefaccionar) = 168 m<sup>3</sup>

<b>Pérdidas por infiltración <math>Q_i</math></b>	<b>3104,68 W</b>
---	------------------

<b>TOTAL CARGA DE CALEFACCIÓN</b>		
Pérdidas totales por conducción	5554,67	W
Pérdidas totales por infiltración	3104,68	W
<b>TOTAL</b>	<b>8659,35</b>	<b>W</b>
<b>TOTAL en Tn refrigeración = Total (W) / 3480</b>	<b>2,49</b>	<b>Tn</b>

## 10.9 Ventilación

El aire que este en las tuberías va a necesitar de un elemento que lo impulse y lo haga circular e ingresar a la casa. Para ello se ingresará el aire a la tubería con un ventilador intercalado a la entrada y el ingreso a la vivienda será a través de rejilla en forma natural.

La elección del ventilador viene determinada por algunas variables para garantizar la correcta renovación de aire y el confort de los usuarios:

- El caudal de aire a mover en función de la renovación de aire requerida.
- La presión requerida, debe ser suficiente para vencer las pérdidas de carga de todos los elementos del sistema.
- El nivel sonoro (o ruido) originado por estos equipos debe ser el menor posible.

Para el cálculo de las presiones se consideró al aire como fluido incompresible y se utilizaron conceptos de la hidráulica básica y las expresiones de Bernoulli.

La presión total ( $h_T$ ) se define como la suma de las presiones estática ( $h_E$ ) y dinámica ( $h_D$ ):

$$h_T = h_E + h_D$$

La presión estática actúa en todos sentidos dentro del conducto. Se manifiesta en el mismo sentido y en el contrario de la corriente. Incluyen las pérdidas por fricción en tramos rectos ( $h_1$ ), las pérdidas localizadas por accesorios ( $h_2$ ) y las pérdidas por entrada ( $h_3$ ). Se expresa en milímetros de columna de agua (mmH<sub>2</sub>O) o metros de columna de agua (mH<sub>2</sub>O). La suma de estas pérdidas constituye la pérdida de presión estática total.

La presión dinámica es aquella que actúa en el sentido de la velocidad del aire.

### Cálculo de presión dinámica ( $h_D$ ) en mmH<sub>2</sub>O

$$h_D = \rho_{aire} \times \frac{v^2}{2}$$

$$\rho_{aire} \text{ a } 30^\circ\text{C y } 1 \text{ atm de presión es } = 1,16 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$h_D = 1,16 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \times \frac{(3 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2} = 5,22 \text{ Pa o } 0,53 \text{ mmH}_2\text{O}$$

### Cálculo de pérdida de carga ( $h_E$ ) en mmH<sub>2</sub>O

#### Perdidas por fricción en tubería

Datos:

Re= 39349,5665 (Flujo Turbulento)

e(rugosidad) para tubos de PVC= 0,0015 mm

$$v = 3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$e_r$  (rugosidad absoluta) para tubos de PVC =  $\frac{e}{\text{Diámetro}}$

$$e_r = \frac{e}{\text{Diámetro}} = \frac{0,0015 \text{ mm}}{200 \text{ mm}} = 0,0000075$$

Utilizando el diagrama de Moody, con en número de Reynolds y la rugosidad absoluta vemos que  $f$  es igual a 0,02.

Luego la ecuación de perdidas en la tubería será:

$$\gamma \times h_T = \gamma \times f \times \frac{L}{D} \times \frac{v^2}{2g} = 11,38 \frac{Kg}{m^3} \times 0,02 \times \frac{30 m}{0,2 m} \times \frac{(3 \frac{m}{s})^2}{19,62 \frac{m}{s^2}} = 15,7 Pa \text{ o } 1,6 mmH_2O$$

### Pérdidas por accesorios

Se calculan buscando el  $k$  equivalente de acuerdo al tipo de codo (90° suave) diámetro de 8". Se encuentra que  $k=0,26$ .

La fórmula para ver las perdidas por codo es:

$$\gamma \times h_l = \gamma \times k \times \frac{v^2}{2g} = 11,38 \frac{Kg}{m^3} \times 0,26 \times \frac{(3 \frac{m}{s})^2}{19,62 \frac{m}{s^2}} = 1,36 Pa \text{ (cada codo)}$$

El total por los 4 codos es: 5,46 Pa o 0,55 mmH<sub>2</sub>O

### Pérdidas en la entrada:

$K=1$  entonces la ecuación queda:

$$\gamma \times h_e = 11,38 \frac{Kg}{m^3} \times 1 \times \frac{(3 \frac{m}{s})^2}{19,62 \frac{m}{s^2}} = 5,22 Pa \text{ o } 0,53 mmH_2O$$

Recopilando los datos obtenemos la siguiente tabla:

Presión dinámica (mmH <sub>2</sub> O)	Pérdida de carga (mmH <sub>2</sub> O)				Presión Total (mmH <sub>2</sub> O)	Presión Total (Pa)
	Tramos rectos	Entrada	Codos	Total		
0,53	1,6	0,53	0,55	2,68	3,21	31,47

El ventilador elegido debe poder trabajar con las siguientes variables:

Caudal	Pérdida de carga	Velocidad del aire
336 m <sup>3</sup> /h	3,21 mmH <sub>2</sub> O	3 m/s

Considerando lo anterior, los cálculos de caudal máximo entre el balance invierno y verano calculado en la sección 10.8 y velocidad mínima de circulación, se elige el siguiente equipo:

VENTILADORES HELICOCENTRÍFUGOS IN-LINE, Serie TD-MIXVENT, modelo TD-800/200





*Fuente:*

[https://www.airexconcepcion.cl/archivos/ficha\\_tecnica/146/es\\_750\\_756\\_td\\_mixvent\\_fid7015.pdf](https://www.airexconcepcion.cl/archivos/ficha_tecnica/146/es_750_756_td_mixvent_fid7015.pdf)

**Descripción:** material plástico, con caja de bornes externa, cuerpo-motor desmontable sin necesidad de tocar los conductos, motor regulable 230V-50Hz, de 2 velocidades, Clase B, IP44 (2), rodamientos a bolas de engrase permanente y protector térmico.

**Modelo 800:** pie-soporte de chapa de acero galvanizada protegida con pintura epoxi-poliéster anticorrosiva y cuerpo-motor en material plástico.

El mismo tiene un caudal de descarga libre de 880 m<sup>3</sup>/h, una velocidad de 2780 rpm con posibilidad de regular velocidad, una potencia absorbida máxima de 95 W, Intensidad absorbida máxima de 0,45 A y permite intercalarse en conductos de 200mm.

Su curva característica nos indica que con un caudal de 350 m<sup>3</sup>/h, el ventilador vence una presión estática de 20 mmH<sub>2</sub>O, cumpliendo con los requisitos de pérdida de carga calculados anteriormente.

Ficha técnica del ventilador se encuentra en Anexo 4.

### **10.10 diseño (cálculo de modelo y largo)**

De acuerdo a lo visto en la sección 8, con los cálculos del modelo teórico planteado obtenemos que el largo de la tubería para obtener un delta de 6°C (30°C a 24°C) es de 30 m y se hará circular un caudal de aire de 336 m<sup>3</sup>/h (197,7 cfm) a una velocidad de 3 m/s.

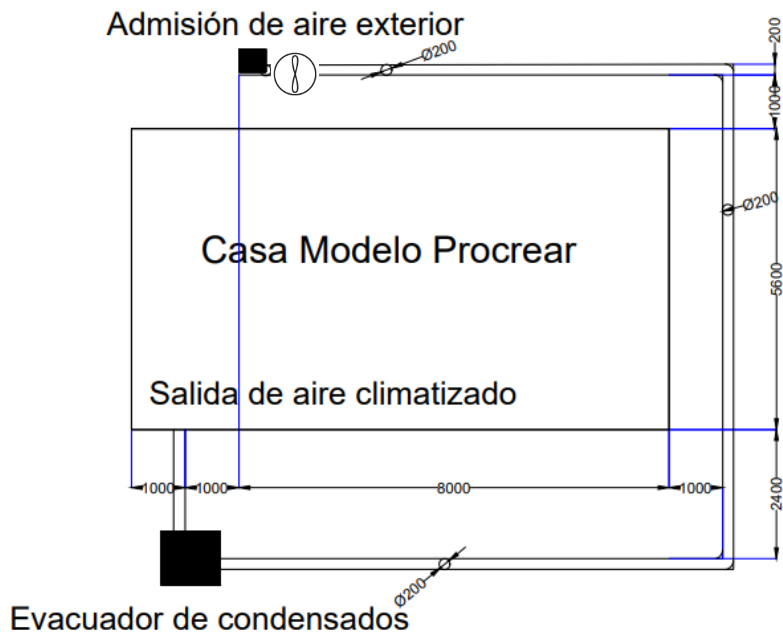
Con el dato de caudal y velocidad requerida mediante la ecuación de continuidad de Bernoulli y la ley de conservación de la masa, se obtiene que el diámetro de las tuberías seleccionadas será de 0,2 m o 200 mm.

Los cálculos planteados se encuentran en Anexo 3.

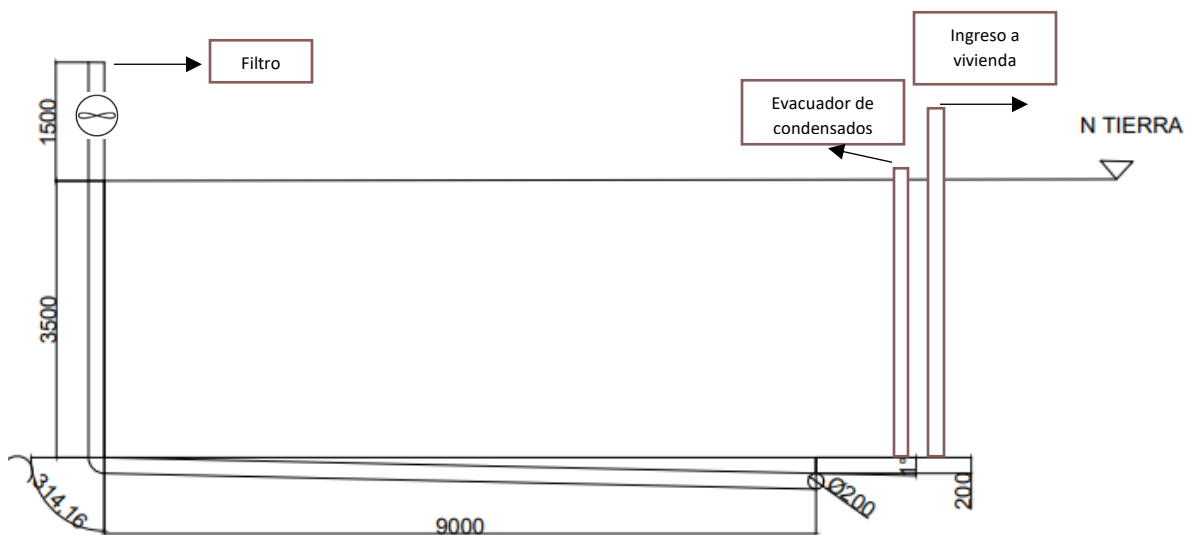
TRABAJO FINAL DE CARRERA, FACULTAD DE INGENIERÍA:  
 TUE ALI. Sistema de climatización para refrigeración y calefacción a partir de una fuente de energía geotérmica

LAY-OUT

PLANTA:



CORTE:



Se enterrará con una pendiente de 1° en cada sector, quedando el ultimo tubo enterrado a 3,9 m bajo el nivel de la superficie.

## 10.11 Conexiones y encendido

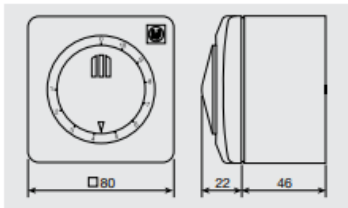
La especificación del ventilador elegido (Anexo 4) en el punto 10.9 indica que se puede conectar y regular la velocidad con reguladores clase RMB-1,5 o REB-1.

Estos deben estar conectados mediante cable al ventilador y en una posición fija en el interior de la vivienda, para el acceso del usuario.

### REB-1N / REB-1NE / REB-2,5N / REB-2,5NE



Reguladores de tensión electrónicos monofásicos, manuales.  
 Aplicación en superficie (modelos N) o empotrables (modelos NE).  
 Protegidos por fusible + fusible de recambio.  
 Cumplen con la Directiva de Compatibilidad Electromagnética 89/336/CEE.  
 Ajuste de mínima.  
 Puesta en marcha, regulación y paro con el mismo botón.

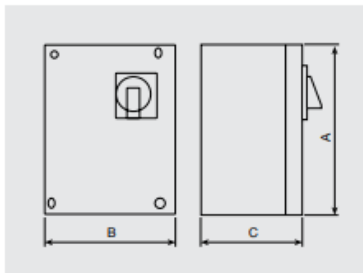


Modelo	Red eléctrica		Índice de protección	Potencia (VA)	Intensidad máxima (A)	Aislamiento	Temperatura de utilización (°C)
	Frecuencia (Hz)	Tensión (V)					
REB-1N/1NE	50	220-240	IP44	220	1	Clase II	0/+40
REB-2,5N/2,5NE				550	2,5		



### RMB

Reguladores de tensión electromecánicos por transformador, monofásicos, manuales.  
 Tensión de alimentación: 1/230V/50-60Hz.  
 Interruptor de posiciones (0-1-2-3-4).  
 Tensión de salida: 80, 105, 130, 160 y 230V.  
 Luz piloto.



Modelo	Intensidad máxima (A)	Caja	Índice de protección	Dimensiones			Peso (Kg)
				A	B	C	
RMB-1,5	1,5	ABS	IP56	230	180	95	3
RMB-3,5	3,5						4
RMB-8	8			10			
RMB-10	10			12			

En el mercado actual, existen formas de comandar y controlar aparatos electromecánicos de forma inalámbrica o a través de wifi. En el caso de que el usuario quiera agregar esta función a su instalación, presento 2 maneras de conexión sencillas que permiten encender/monitorear la instalación con mayor facilidad:

### **1. Comando del ventilador elegido en el punto 10.9 con Wifi a la red IoT**

Internet of Things (IoT) describe la red de objetos físicos (cosas) que incorporan sensores, software y otras tecnologías con el fin de conectar e intercambiar datos con otros dispositivos y sistemas a través de Internet. Estos dispositivos van desde objetos domésticos comunes hasta herramientas industriales sofisticadas. En los últimos años, IoT se ha convertido en una de las tecnologías más importantes del siglo XXI. Ahora que podemos conectar a Internet objetos cotidianos (electrodomésticos de cocina, automóviles, termostatos, monitores de vigilancia para bebés, etc.) a través de dispositivos integrados, la comunicación perfecta entre personas, procesos y cosas es posible.

Mediante la informática de bajo coste, la nube, big data, analítica y tecnologías móviles, las cosas físicas pueden compartir y recopilar datos con una mínima intervención humana. En este mundo hiperconectado, los sistemas digitales pueden grabar, supervisar y ajustar cada interacción entre las cosas conectadas.<sup>28</sup>

Para buscar un comando compatible con el ventilador elegido, busque en la página de Tasmota un módulo que abarque la necesidad presentada: Comando del encendido del ventilador.

Tasmota es un firmware alternativo para dispositivos basados en ESP8266. Nos permite controlarlos a través de una interfaz web, denominada Web UI, donde se pueden configurar diferentes parámetros, como el protocolo de comunicación MQTT o HTTP.

El firmware también se lo conoce con el nombre de Soporte Lógico Inalterable y, de manera simple, se puede decir que es un programa informático que permite que un dispositivo funcione tal y como el creador lo ha diseñado. Incluso, sin el firmware los diferentes equipos electrónicos no funcionarían. Generalmente este programa se almacena dentro de un tipo de memoria específica, cuyo nombre es ROM (Read Only Memory). Suele ser un tipo de memoria reescribible, para poder instalar actualizaciones del fabricante o versiones creadas por el usuario.<sup>29</sup>

El ESP8255 es un chip Wi-Fi de bajo coste con pila TCP/IP completa y capacidad de MCU (Micro Controller Unit) producida por el fabricante chino Espressif Systems, con sede en Shanghai.<sup>30</sup>

---

<sup>28</sup> <https://www.oracle.com/cl/internet-of-things/what-is-iot/>

<sup>29</sup> <https://internetpasoapaso.com/firmware/>

<sup>30</sup> <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2017/09/12/que-es-esp8266/>

TRABAJO FINAL DE CARRERA, FACULTAD DE INGENIERÍA:

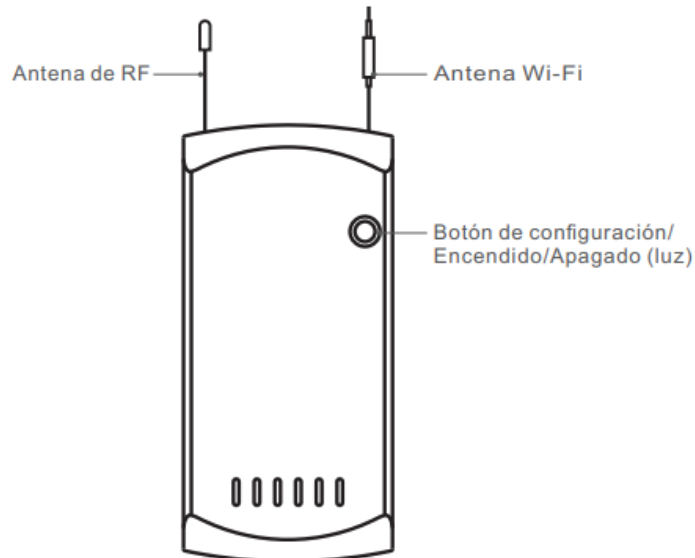
*TUE ALI. Sistema de climatización para refrigeración y calefacción a partir de una fuente de energía geotérmica*

Explicado esto, se selecciona Sonoff Ifan03, que es un controlador de ventilador y requiere que el aparato a controlar tenga las siguientes características para el correcto funcionamiento:

Ventilador: Max. AC100-240V 50Hz 2A

Wi-Fi: IEEE 802.11 b / g / n 2.4GHz

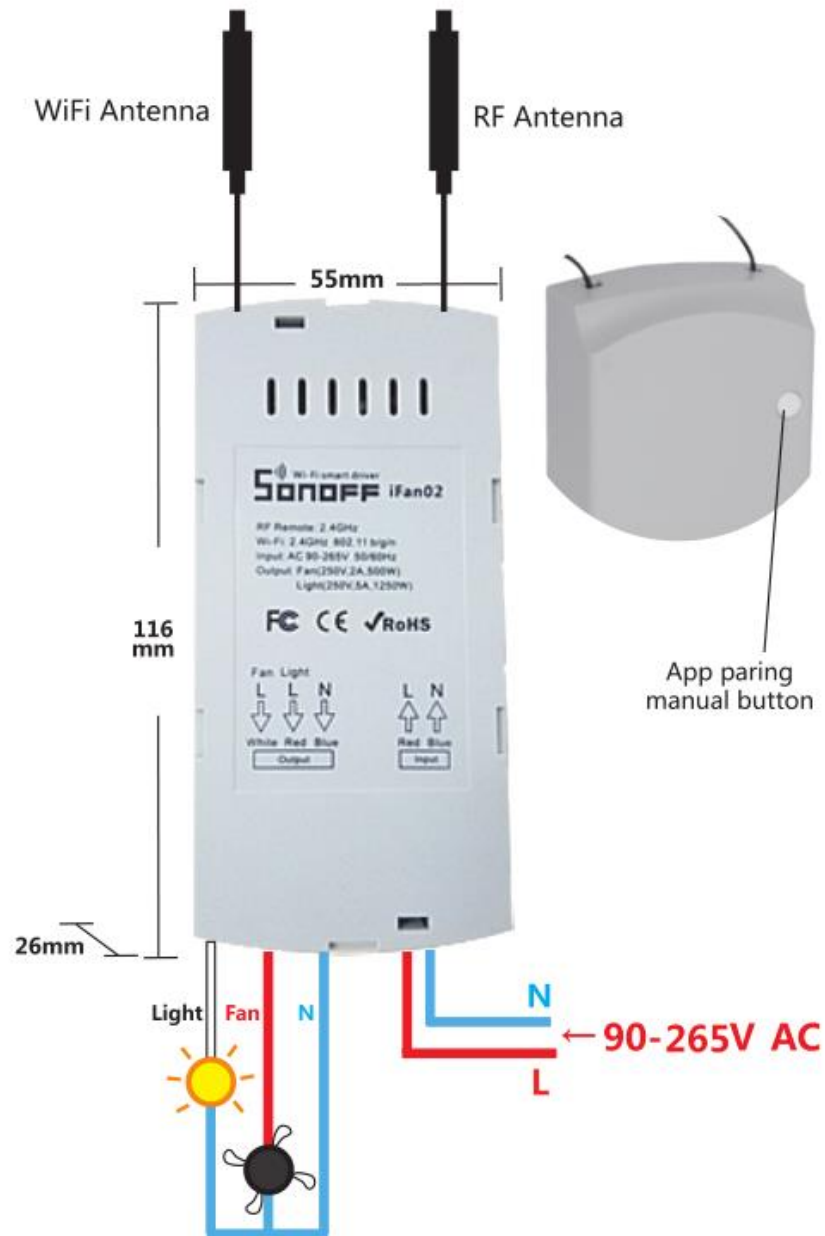
### Introducción al producto



Fuente: <http://dl.itead.cc/ifan03/iFan03-user-manual%20V1.0.pdf>

El dispositivo trabaja por wifi o puede ser controlado por control remoto.

TRABAJO FINAL DE CARRERA, FACULTAD DE INGENIERÍA:  
 TUE ALI. Sistema de climatización para refrigeración y calefacción a partir de una fuente de energía geotérmica



Fuente: <https://fccid.io/2APN5IFAN03/User-Manual/User-Manual-4294829.pdf>

Los cables que salen del módulo están rotulados para ser conectadas de la siguiente manera:

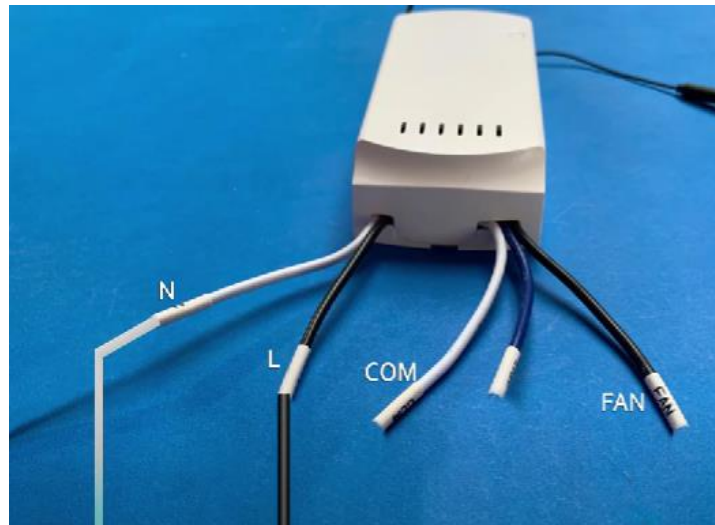
Cable L → Fase

Cable N → Neutro

Cable Fan → Salida hacia el ventilador

Cable Light → Opcional para conexión de luz en caso de ventiladores de techo

TRABAJO FINAL DE CARRERA, FACULTAD DE INGENIERÍA:  
 TUE ALI. Sistema de climatización para refrigeración y calefacción a partir de una fuente de energía geotérmica



Una vez encendido, Tasmota genera una red Wifi temporal a la que debemos conectarnos para generar nuestra red Wifi. Debemos tener la dirección IP de esta red para conectarnos por Tasmota. Para ubicar el IP, usaremos el Wireless Network Watcher. Esta es una herramienta que escanea la red inalámbrica y muestra la lista de todas las computadoras y dispositivos que están actualmente conectados a nuestra red.

Una vez nos conectamos a la red Wifi, debemos nombrar esta red, la cual aparecerá en el Wireless Network Watcher y nos brindará el IP.

192.168.86.53	yeelink-light-lamp1_miip621f.lan	34-CE-00-C2-62-1F	XIAOMI Electronics,CO,...	yeelink-light-lamp1_miip621f...	4/23/2020
192.168.86.28	lr-apple-tv.lan	50-32-37-9F-55-6B	Apple, Inc.	lr-apple-tv.lan	4/23/2020
192.168.86.57		2C-79-D7-F3-43-64	Sagemcom Broadband ...		4/23/2020
192.168.86.36	iphonesonoffdiy.lan	D8-1C-79-89-0D-F5	Apple, Inc.	iphonesonoffdiy.lan	4/23/2020
192.168.86.59		2C-79-D7-F3-42-DB	Sagemcom Broadband ...		4/23/2020
192.168.86.61		5C-FF-FF-77-FF-79	Shenzhen Kezhonglong ...		4/23/2020
192.168.86.63	DESKTOP-19CT0S1.lan	94-65-9C-B1-34-6A	Intel Corporate	DESKTOP-19CT0S1.lan	4/23/2020
192.168.86.62	bl-8b-2c-75.lan	C8-F7-42-8B-2C-75	HangZhou Gubei Electr...	bl-8b-2c-75.lan	4/23/2020
192.168.86.37	imx6ull14k14evk.lan	58-B3-FC-59-50-2D	SHENZHEN RF-LINK TE...	imx6ull14k14evk.lan	4/23/2020
192.168.86.64	mbsecuritycam-tasmota.lan	C4-4F-33-B0-17-6A	Espressif Inc.	mbsecuritycam-tasmota.lan	4/23/2020
192.168.86.39	mb-main-light-tasmota.lan	D8-F1-5B-C5-7D-4A	Espressif Inc.	mb-main-light-tasmota.lan	4/23/2020
192.168.86.66	kbdarimainlamp4-tasmota.lan	2C-F4-32-AA-14-47	Espressif Inc.	kbdarimainlamp4-tasmota.lan	4/23/2020
192.168.86.40	yeelink-light-strip1_mioo57484157.lan	34-CE-00-8B-2F-CA	XIAOMI Electronics,CO,...	yeelink-light-strip1_mioo57484...	4/23/2020
192.168.86.67	pwr-patio-lampstring-tasmota.lan	D8-F1-5B-8C-27-5D	Espressif Inc.	pwr-patio-lampstring-tasmot...	4/23/2020
192.168.86.41	chuangmi-remote-v2_mibtd493.lan	40-31-3C-BB-D4-93	XIAOMI Electronics,CO,...	chuangmi-remote-v2_mibtd4...	4/23/2020
192.168.86.60	chuangmi-plug-m3_mioo234538882.L...	44-23-7C-57-91-82	Beijing Xiaomi Mobile S...	chuangmi-plug-m3_mioo2345...	4/23/2020
192.168.86.44	yeelink-light-lamp4_mibt68a5.lan	04-CF-8C-0F-68-A5	XIAOMI Electronics,CO,...	yeelink-light-lamp4_mibt68a5...	4/23/2020
192.168.86.76	tasmota000000000000.lan	D8-F1-5B-8D-A8-4E	Espressif Inc.	00000-ventilador.lan	4/23/2020
192.168.86.50		F4-B8-5E-4E-2F-DA	Texas Instruments		4/23/2020

Una vez tenemos el IP, debemos ingresar el número en el buscador/navegador de internet. Se nos abrirá una ventana de Tasmota con varias opciones a elegir. Debemos abrir la pestaña de configuración y luego la pestaña módulo. Una vez ingresamos, debemos seleccionar el dispositivo utilizado (IFan 03) y guardar, así el dispositivo se reinicia. Una vez configurado, Tasmota presenta un botón para comandar el dispositivo. El botón Toggle es para comandar la luz de ventilador de techo, en el caso de que el dispositivo se utilizara para controlar este tipo de sistemas. Los botones 0 1 2 y 3 son para controlar el ventilador en 4 velocidades:

TRABAJO FINAL DE CARRERA, FACULTAD DE INGENIERÍA:

TUE ALI. Sistema de climatización para refrigeración y calefacción a partir de una fuente de energía geotérmica

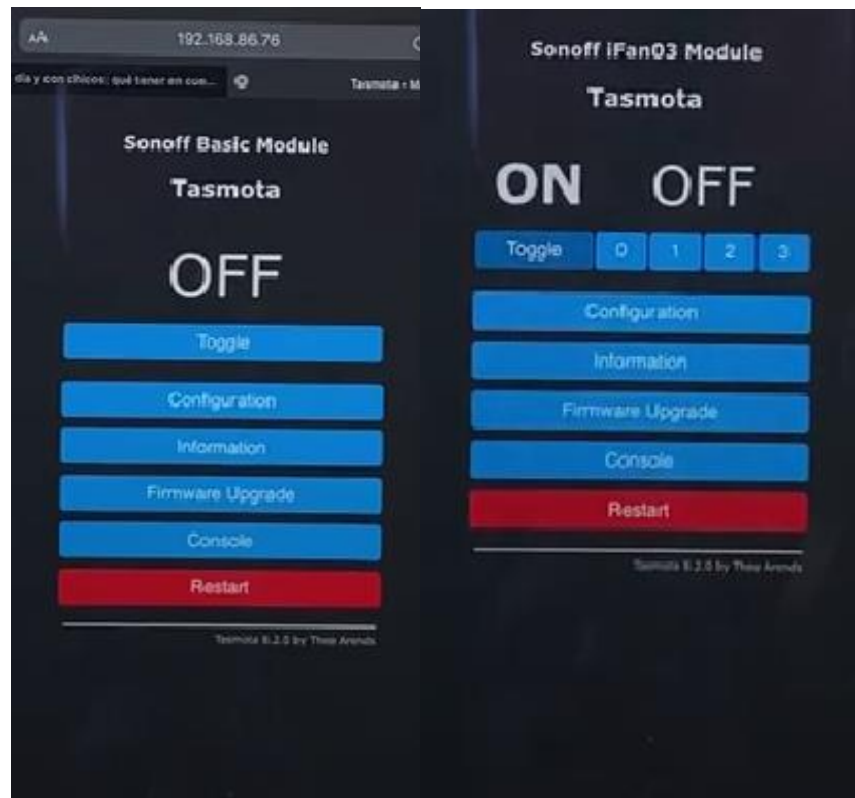
0 → Apagado

1 → baja

2 → media

3 → Alta

Ambos botones (luz y ventilador) son independientes, con lo cual apagar uno no influye en los comandos del otro.



*Fuente: Internet*

Para conectar el control remoto con IFan 03:

Se debe desconectar la energía eléctrica

Mantener presionado un botón del control RF

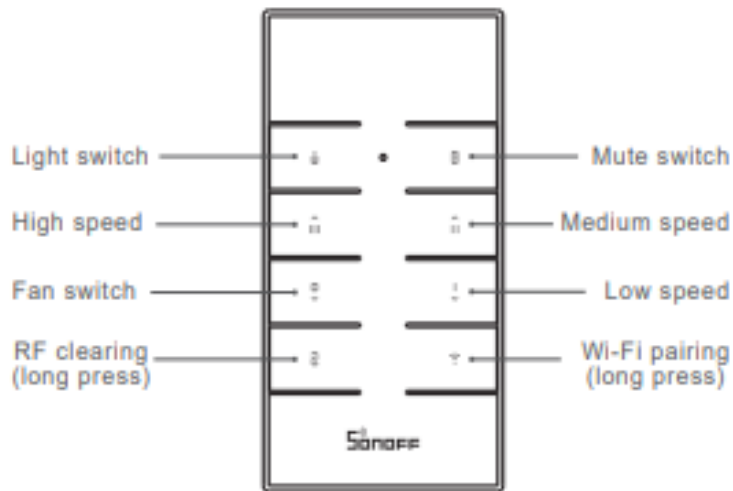
Conectar la energía eléctrica

Aguardar una serie de clics de los relés

Soltar el botón del control

Comandos del control remoto:





Fuente: <https://fccid.io/2APN5IFAN03/User-Manual/User-Manual-4294829.pdf>

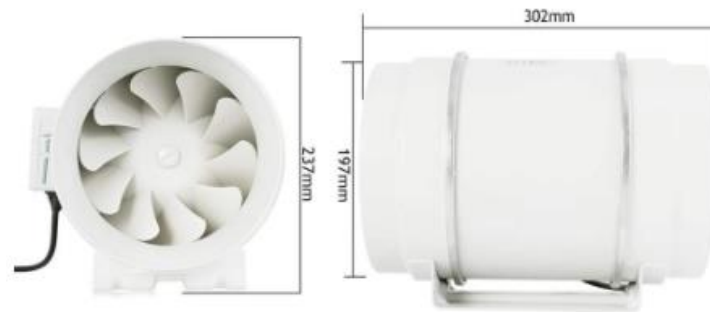
Manual de usuario se encuentra en Anexo 5.

## 2. Ventilador integrado con comando inalámbrico

Otra opción es comprar un ventilador que ya viene con un sistema de control integrado, el cual tiene muchas más funciones que el mencionado anteriormente. Están disponibles en el mercado ya armado, solo se deben conectar a la red eléctrica.

Un ejemplo de ventilador es de la marca Hon & Guan. Es un ventilador de conducto en línea con temporizador, Extractor de 8 pulgadas con controlador inteligente para ventilación.

Este cumple con los requerimientos necesarios de diámetro, caudal y velocidad.



## PERFORMANCE

Model: HF-200PMZC

Voltage: 220-240V/50Hz

Noise: 63dB

Speed: 2450RPM

Net Weight: 4.9KG

Air Flow: 840m<sup>3</sup>/h

Power: 128W

Diameter: 200mm

Especificaciones del producto:

Tres velocidades: baja/media/alta

Voltaje: 220 ~ 240V

Frecuencia: 50Hz

Potencia: 123/125/128W

Corriente: 0,75/0,97/1,20 amperios

Velocidad de rotación: 1950/2200/2450RPM

Volumen del aire: 690/765/840m<sup>3</sup>/h

Presión de aire: 274/313/352Pa

Ruido: 55/59/63dB

Precisión de la pantalla de temperatura: ± 1 °C

Consumo de energía: <1W

Corriente de salida: 6A (carga resistiva) 3A (carga inductiva).

Carcasa: PC + plástico ABS retardante de llama

Dimensiones del ventilador: 302x310x237mm

Peso: 4,9 KG

Clase de protección: IPX2

Temperatura de funcionamiento: -20 ~ 60 °C

Dimensiones del controlador: 85\*85mm

Longitud del cable del controlador: 5m

TRABAJO FINAL DE CARRERA, FACULTAD DE INGENIERÍA:  
*TUE ALI. Sistema de climatización para refrigeración y calefacción a partir de una fuente de energía geotérmica*

Se puede instalar de forma horizontal y vertical



El ventilador viene con un monitor LCD que se conecta con cable (debe estar cerca de la instalación) y permite monitorear y controlar los parámetros de temperatura interior de la vivienda, encendido/apagado, permite determinar un tiempo de apagado y controlar nivel de velocidad baja, media y alta del ventilador.



*Fuente: Internet*

## 11. COMPARACIÓN DE COSTOS. SISTEMA CONVENCIONAL VERSUS SISTEMA CON UTILIZACION DE ENERGÍA GEOTÉRMICA

### 11.1 Evaluación económica sistema convencional

Se utiliza como ejemplo el consumo y aparatos actuales de una vivienda de 155 m<sup>3</sup> acondicionada con Split frio/calor.

#### Gasto Energético sistema convencional:

Considerando Aire acondicionado Clase A y temperatura de uso constante a 24°C por 12 horas diarias, la potencia instalada del sistema según Edenor<sup>31</sup> es 1179 kWh con un consumo estimado mensual de 8055 pesos argentinos, es decir 80 USD<sup>32</sup>

ELECTRODOMÉSTICO	CANTIDAD	KWH	USO DIARIO	CONSUMO MENSUAL
Aire acondicionado (4300 frigorías)	1	1.56 kWh	12	573 kWh
Aire acondicionado (2200 frigorías)	2	0.8 kWh	12	606 kWh



Fuente: <https://simulador.edenor.com/>

<sup>31</sup> <https://simulador.edenor.com/>

<sup>32</sup> <https://www.bna.com.ar/Cotizador/MonedasHistorico>

**Evaluación Económica (Inversión) alternativa sistema convencional:**

Elemento	Descripción	Precio Unitario (USD)	Precio Total (USD)
Split frio-calor	Se utilizan 3 Split para climatizar el volumen total	900	2700
Mano de obra	Instalación de los equipos	100	300
Total			3000

Si bien este sistema es sencillo, es dependiente de los combustibles fósiles, por lo que tendrá efectos en el medio ambiente (conlleva al consumo de recursos naturales no renovables, genera emisiones a la atmósfera, entre otros).

## 11.2 Evaluación económica sistema geotérmico

Se consideran los gastos de provisiones y servicios de manera aproximada para la instalación del sistema.

Equipo	Volumen (m <sup>3</sup> )	Tiempo de uso diario (h)	Potencia (W)	Consumo de energía (KWh/d)	Consumo de energía (KWh/mes)
Ventilador del intercambiador de calor geotérmico	168	12	95	1,14	34,2

El sistema geotérmico consume un 2,9% del sistema convencional con Split frio-calor.

**Evaluación Económica (Inversión) alternativa sistema geotérmico:**

Elemento	Precio (USD)
Mano de obra	600
Excavadora	80
Sistema de impulsión de aire: Ventilador	400
Filtro	8
Colector ligado a la torre de entrada	16
Conductos horizontales	200
Conductos distribuidores	40

Evacuador de condensados	100
Sonoff Ifan03	40
Total	1484

**Evaluacion Economica (gasto mensual) alternativa sistema geotérmico:**

La potencia instalada del sistema es 34,2 kWh. Según Edenor<sup>33</sup> el consumo estimado mensual es de 217 pesos argentinos, es decir 2,13 USD<sup>34</sup>



Fuente: <https://simulador.edenor.com/>

## 12. VALIDACIÓN SOCIAL

Es un sistema sencillo y de bajo costo, pensado para un público interesado en reducir el gasto energético. Por este motivo considero importante poder replicarlo en barrios vulnerables, los cuales tienen dificultad para acceder a sistemas de climatización y no pueden afrontar los costos de las

<sup>33</sup> <https://simulador.edenor.com/>

<sup>34</sup> <https://www.bna.com.ar/Cotizador/MonedasHistorico>

facturas eléctricas. Este servicio de climatización también puede ser extendido a usuarios que tengan espacio para poder instalarlo y a su vez persigan los objetivos de reducción de energía.

Actualmente está implementado un sistema de climatización geotérmico en un barrio de Bariloche, por lo que pretendo extrapolar información sobre la aceptación de la gente, que ya cuenta con esto desde hace 2 años.

### **13. CONCLUSIONES**

En forma teórica se demuestra que el sistema cumple con los objetivos planteados. Es posible modificar la temperatura de un ambiente con el uso de la energía geotérmica de baja entalpía. Para la zona de estudio fue necesario enterrar los tubos a una altura de 1,5 metros bajo la superficie del suelo, quedando el último tubo a 3,9 metros debido a la pendiente de 1° de inclinación para la evacuación de condensados. Esto, en conjunto con el largo de la tubería calculada en el modelo presentado, permitió bajar o aumentar la temperatura del ambiente en 6°C.

El único aparato dependiente de energía eléctrica es el ventilador elegido que funciona como impulsor de aire exterior hacia el ambiente, forzando la circulación de aire en las tuberías. Esto debido a que la bibliografía recomienda para uso natural, un aire con una velocidad mínima de 5 m/s y no siempre se cumple esta condición. En el caso de que se quiere optar por un sistema totalmente sustentable, se puede eliminar el impulsor de aire y el sistema usaría una ventilación natural. Otra alternativa es conectar el ventilador con una fuente de energía solar como fuente de alimentación, ya que éste es de bajo consumo.

Los cálculos presentados pueden utilizarse extrapolarando las fórmulas a otro tipo de viviendas y zonas para evaluar las condiciones del sistema a instalar.

La demanda energética es notablemente menor al sistema convencional de Split frío-calor no solo en tema de costos sino en consumo de energía eléctrica de las residencias. El sistema geotérmico consume un 97% menos que el sistema convencional con Split frío-calor. Esto impacta directamente en el 13,5% del consumo energético total del país que se emplea en acondicionamiento térmico.

La conexión a la red IoT y el monitoreo integrado en los ventiladores es una alternativa muy explotada en el mercado actual y de fácil acceso al usuario común. Estos módulos se pueden encontrar en plataformas como Mercado Libre, Aliexpress, EBay, entre otros.

La cantidad de grados a modificar en la temperatura de la vivienda, dependerá de factores como el largo y diámetro de las tuberías y la zona de aplicación, pero se demuestra que son totalmente adaptables a las necesidades del usuario. En este estudio se propuso como objetivo bajar 6°C dadas las condiciones exteriores, pero se puede requerir mayor o menor diferencia de temperatura variando



TRABAJO FINAL DE CARRERA, FACULTAD DE INGENIERÍA:

*TUE ALI. Sistema de climatización para refrigeración y calefacción a partir de una fuente de energía geotérmica*

estos parámetros. El valor límite está dado por la temperatura media anual de la zona elegida, es por eso que es más eficiente el sistema en verano que en invierno, ya que la temperatura media anual de la provincia de Buenos Aires esta entre los  $19 \pm 2^{\circ}\text{C}$ , con lo cual en verano los cálculos permiten fácilmente alcanzar temperaturas de  $24^{\circ}\text{C}$  pero en invierno el límite a alcanzar es  $21^{\circ}\text{C}$ , considerando que en el exterior nuestra temperatura sea de  $15^{\circ}\text{C}$  (Para nuestros cálculos son  $6^{\circ}\text{C}$  los que se disminuyen o aumentan). Explicado esto, es posible que el usuario deba complementar en invierno el uso de otra fuente de calefacción junto con este sistema, pero igualmente reduce sus consumos ya que el ambiente a calefaccionar esta pre-climatizado.



## 14. BIBLIOGRAFÍA:

- 2ª Jornadas de Energías Renovables UFLO Comahue, Archivo PDF PRESENTACIÓN-ADI-GEOTERMIA-2014
- Uso de energía Geotérmica para el acondicionamiento de aire en viviendas hacia un uso más racional y eficiente de la energía, autores: L. M. Iannelli<sup>1</sup>, E. J. Bezzo, A. Bermejo, P. L. Cozza, J. A. Fiora, J.A. Niño, R. Prieto, P. Romero y S. Gil
- Proyecto de Geotermia de Emprendé ConCiencia, autor: Maria Celeste Lemos
- Sistemas de climatización Geotérmica, empresa GALAICONTROL
- [https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/caligari\\_-\\_energia.pdf](https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/caligari_-_energia.pdf)
- <https://ember-climate.org/wp-content/uploads/2021/03/Global-Electricity-Review-2021-Argentina-Translated.pdf>
- <https://ember-climate.org/wp-content/uploads/2021/03/Global-Electricity-Review-2021-Argentina-Translated.pdf>
- <http://www.energia.gob.ar/contenidos/verpagina.php?idpagina=3877>
- <http://datos.minem.gob.ar/dataset/balances-energeticos>
- Acondicionamiento térmico de aire usando energía geotérmica-ondas de calor. Autor: Leila Iannelli y Salvador Gil Pág. 99
- <https://www.edesur.com.ar/novedades/cuanto-consume-un-aire-acondicionado/>
- <https://www.irena.org/geothermal>
- <https://www.appa.es/appa-geotermica-de-baja-entalpia/que-es-la-energia-geotermica-de-baja-entalpia/>
- DISEÑO DE CLIMATIZACIÓN APROVECHANDO ENERGÍA GEOTÉRMICA UTILIZANDO INTERCAMBIADOR DE CALOR AIRE-TIERRA EN FINCA PRIMAVERA, PUEBLO NUEVO VIÑAS, SANTA ROSA. Autor: Jorge Alejandro Avilés Jiménez
- EFICIENCIA ENERGÉTICA A TRAVÉS DE UTILIZACIÓN DE POZOS CANADIENSES CON EL ANÁLISIS DE DATOS DE UN CASO REAL “CASA POMARET”, ANA MARÍA CABEZAS, BARCELONA, OCTUBRE 2012
- Jorge Alejandro Avilés Jiménez, DISEÑO DE CLIMATIZACIÓN APROVECHANDO ENERGÍA GEOTÉRMICA UTILIZANDO INTERCAMBIADOR DE CALOR AIRE-TIERRA EN FINCA PRIMAVERA, PUEBLO NUEVO VIÑAS, SANTA ROSA
- DETERMINACIÓN DE CONSUMOS ENERGÉTICOS SEGÚN AISLAMIENTO TÉRMICO Y ORIENTACIÓN, MEDIANTE SIMULACIÓN ENERGÉTICA. CASO DE LA VIVIENDA UNIFAMILIAR, V. L. Volantino, J.T. Bernacchia, D. H. Pizzorno

- Aplicación de Energía Geotérmica de Baja Entalpía para Ahorro de Energía Eléctrica en Oficina de Altel Telefonía Móvil SRL, Olivos, Provincia de Buenos Aires, María Celeste Lemos
- <https://www.hagaloustedmismo.cl/proyectos/como-hacer-un-pozo-de-absorcion.html>)
- <https://www.argentina.gob.ar/habitat/procrear/lotescoservicios/modelos-de-viviendas-procrear>
- Acondicionamiento térmico de aire usando energía geotérmica-ondas de calor, Autores: Leila Iannelli, Salvador Gil
- [https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/34659/mod\\_resource/content/1/Guia%20de%20estudio%203%20-%202017-%20Temperatura%20del%20suelo.pdf](https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/34659/mod_resource/content/1/Guia%20de%20estudio%203%20-%202017-%20Temperatura%20del%20suelo.pdf)
- Confort térmico, su importancia para el diseño arquitectónico y la calidad ambiental del espacio interior Autor: Paola Jara  
<https://www.revistas.usach.cl/ojs/index.php/amasc/article/view/2529/2318> Pág. 111
- (Iannelli & Gil, Ondas de Calor Determinación de temperaturas del pasado, 2012)
- CALCULATION TOOL FOR EARTH HEAT EXCHANGERS GAEA, St.Benkert, F.D. Heidt\*, D. Schöler
- Heat and Mass Transfer, Hans Dieter Baehr, Karl Stephan
- Catedra UNLP Instalaciones I y II, Autor: Dr. Ing. Arq. Jorge D. Czajkowski, 2016
- Acondicionamiento térmico de aire usando energía geotérmica-ondas de calor, Autor: S. Gil
- <https://about-haus.com/como-construir-un-pozo-canadiense/>
- <https://abccvalidaciones.com.ar/clasificacion-de-los-filtros-de-aire/>
- <https://preview.wavin.com/es-ar/cat%C3%A1logo/edificacion/sistema-cloacal-y-pluvial/nivel-1-pvc-junta-pegada>
- <https://www.oracle.com/cl/internet-of-things/what-is-iot/>
- <https://internetpasoapaso.com/firmware/>
- <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2017/09/12/que-es-esp8266/>
- <https://simulador.edenor.com/>
- <https://www.bna.com.ar/Cotizador/MonedasHistorico>
- Catedra UNLP Instalaciones I y II, Autor: Dr. Ing. Arq. Jorge D. Czajkowski, 2016.
- Norma IRAM 11603/1996.
- [https://www.airexconcepcion.cl/archivos/ficha\\_tecnica/146/es\\_750\\_756\\_td\\_mixvent\\_fid7015.pdf](https://www.airexconcepcion.cl/archivos/ficha_tecnica/146/es_750_756_td_mixvent_fid7015.pdf)

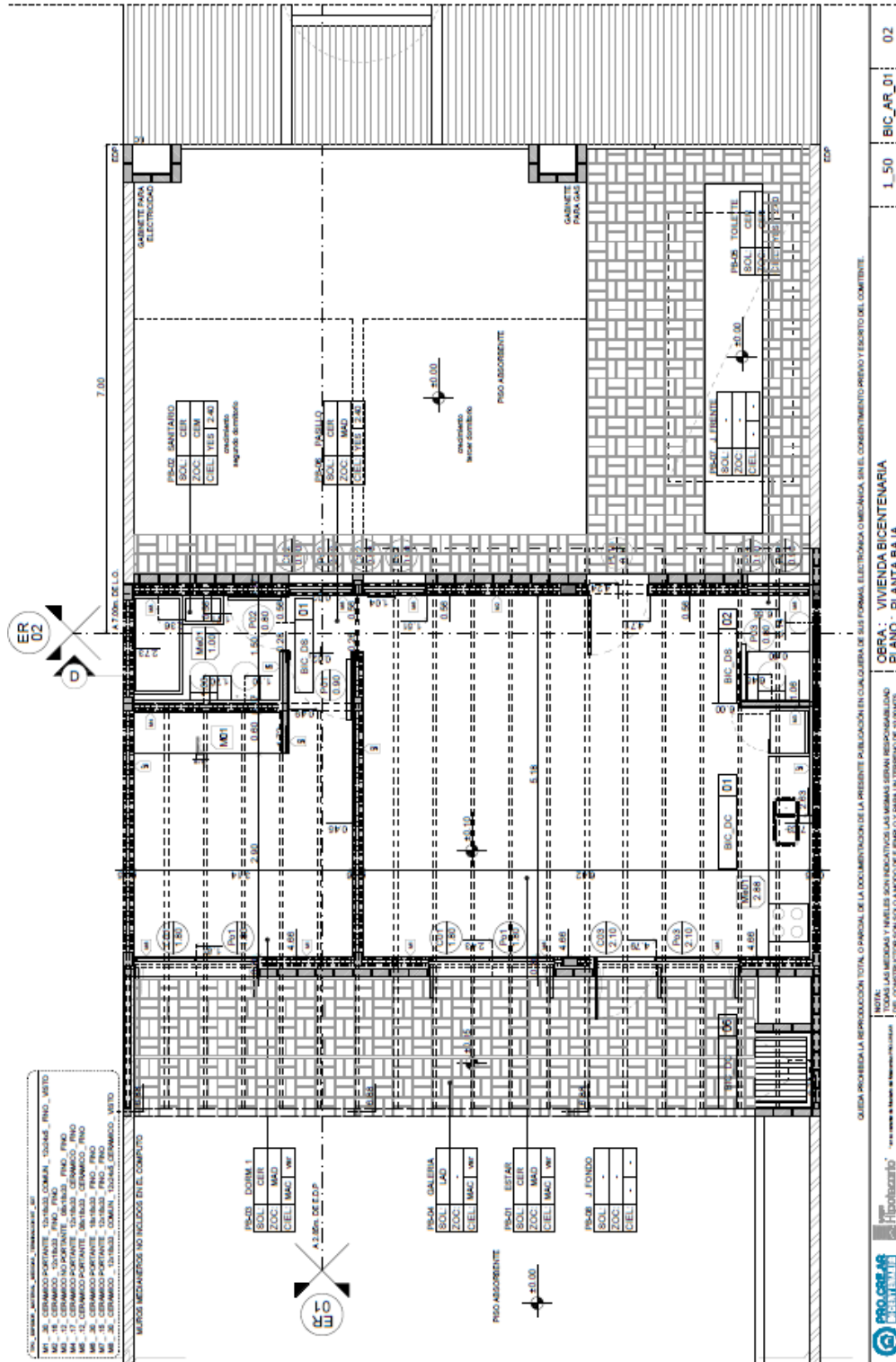
## ANEXO 1: BALANCE ENERGÉTICO NACIONAL

FORMAS DE ENERGÍA	OFERTA						CENTROS DE TRANSFORMACIÓN						CONSUMO								
	P		N		O		CENTRALES ELÉCTRICAS		T		A		C		CONSUMO		CONSUMO				
	IMP	EXP	VAR	NOA	ERT	FEA	SP	UA	PA	AD	AL	NO	RE	CO	RE	CO	RE	CO			
Energía Hidráulica	2.534	-	-	-	-	2.888	-2.623	-5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
Energía Nuclear	-	-	-	-	-	2.778	-2.778	-5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
Gas Natural de Píez	39.631	-	-	-60	-665	38.977	-	-34.610	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
Petróleo	24.899	-	-151	-4.077	-	23.797	-	-30.594	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
Carbón Lignero	12	-	-	-	-	881	-255	-10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
Léña	1.023	-	-	-	-	1.603	-362	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
Bogajo	561	-	-	-	-	891	-312	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
Alcornoques Vegetales	1.074	-	-	-	-	1.074	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
Alcornoques Vegetales	422	-	-	-	-	422	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
Energía Eólica	938	-	-	-	-	838	-609	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
Energía Solar	116	-	-	-	-	118	-115	-0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
Otros Fósiles	423	-	-	-	-	428	-42	-260	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
<b>TOTAL I</b>	<b>72.165</b>	<b>-161</b>	<b>-4.007</b>	<b>-80</b>	<b>-342</b>	<b>71.628</b>	<b>-8.265</b>	<b>-1.048</b>	<b>-34.610</b>	<b>-20.864</b>	<b>-1.486</b>	<b>-472</b>	<b>-421</b>	<b>-4.083</b>	<b>1.621</b>	<b>-81</b>	<b>44</b>	<b>-126</b>	<b>780</b>		
Energía Eléctrica	12.439	-	-	-	-	11.681	11.276	1.163	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Gas Dióxido por Redes	30.327	-	-	-	-	32.724	-11.823	-1.610	30.327	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Gas de Refinado	1.040	-	-	-	-	806	-	-79	1.040	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Gas Licuado	2.659	-	-	-	-	1.629	-	-	1.347	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Gasolina Natural	989	-	-	-	-	749	-	-	989	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Otros Naturales	1.230	-	-	-	-	881	-	-	1.230	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Carbón Total	4.429	-	-	-	-	4.429	-	-	4.429	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Carbón Total	557	-	-	-	-	365	-	-	557	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Carbón Total	8.278	-	-	-	-	8.278	-725	-41	8.278	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Carbón Total	2.999	-	-	-	-	1.881	-456	-146	2.999	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Carbón Total	3.478	-	-	-	-	2.629	-	-	3.478	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Carbón Total	86	-	-	-	-	86	-	-	86	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Carbón Total	469	-	-	-	-	469	-	-	469	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Carbón Total	1.279	-	-	-	-	1.279	-	-	1.279	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Carbón Total	385	-	-	-	-	385	-	-	385	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Carbón Total	410	-	-	-	-	410	-	-	410	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Carbón Total	1.020	-	-	-	-	1.020	-	-	1.020	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
<b>TOTAL II</b>	<b>70.881</b>	<b>8.419</b>	<b>284</b>	<b>-4.680</b>	<b>-42</b>	<b>69.222</b>	<b>-16.106</b>	<b>-2.064</b>	<b>-</b>	<b>-790</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-468</b>	<b>-2.887</b>	<b>48.796</b>	<b>3.264</b>	<b>4.198</b>	<b>13.184</b>	<b>3.226</b>	<b>12.486</b>
<b>BALANCE DE TRANSFORMACIÓN</b>																					
<b>ENERGÍA PRIMARIA + SECUNDARIA</b>																					
<b>ENERGÍA PRIMARIA</b>																					
<b>ENERGÍA SECUNDARIA</b>																					
<b>TOTAL</b>																					
<b>PRODUCCIÓN PERÍODOS</b>																					



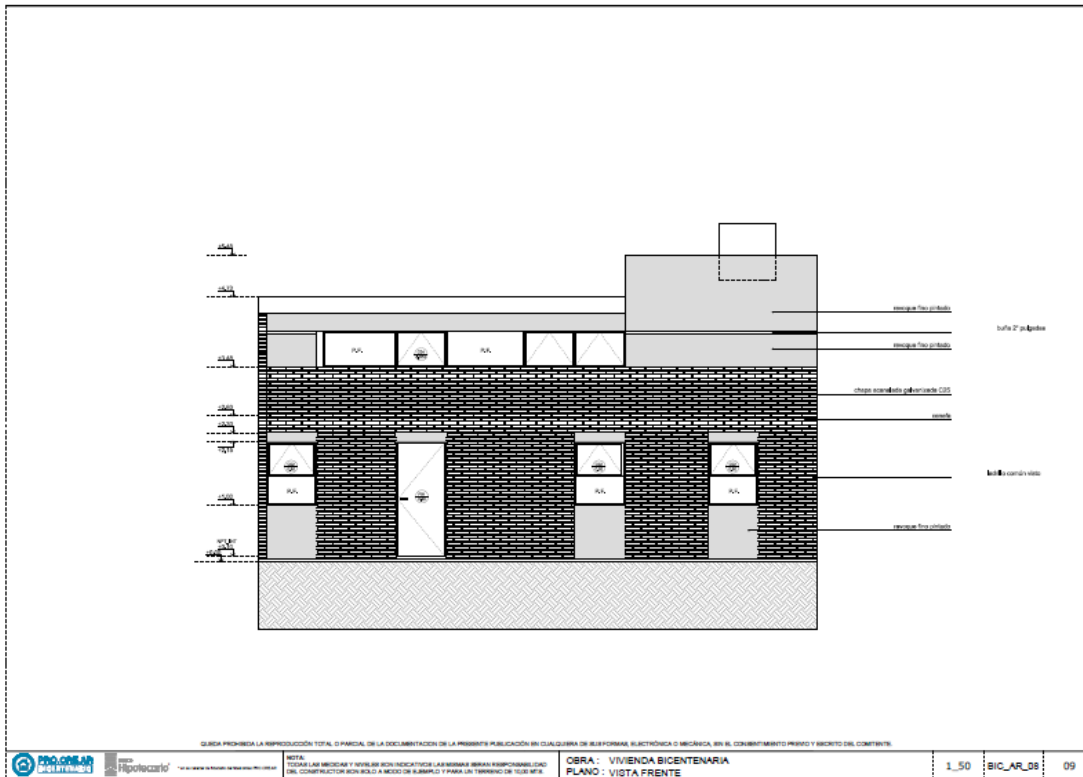
TRABAJO FINAL DE CARRERA, FACULTAD DE INGENIERÍA:  
 TUE ALI. Sistema de climatización para refrigeración y calefacción a partir de una fuente de energía geotérmica

Planta Baja

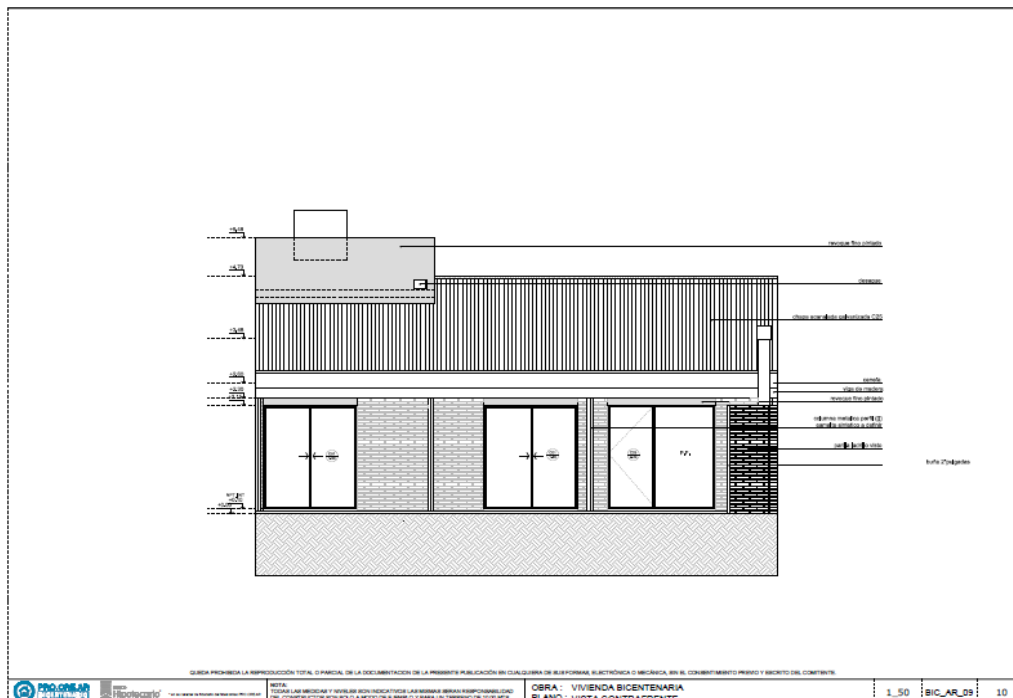


TRABAJO FINAL DE CARRERA, FACULTAD DE INGENIERÍA:  
 TUE ALI. Sistema de climatización para refrigeración y calefacción a partir de una fuente de energía geotérmica

Vista Frente

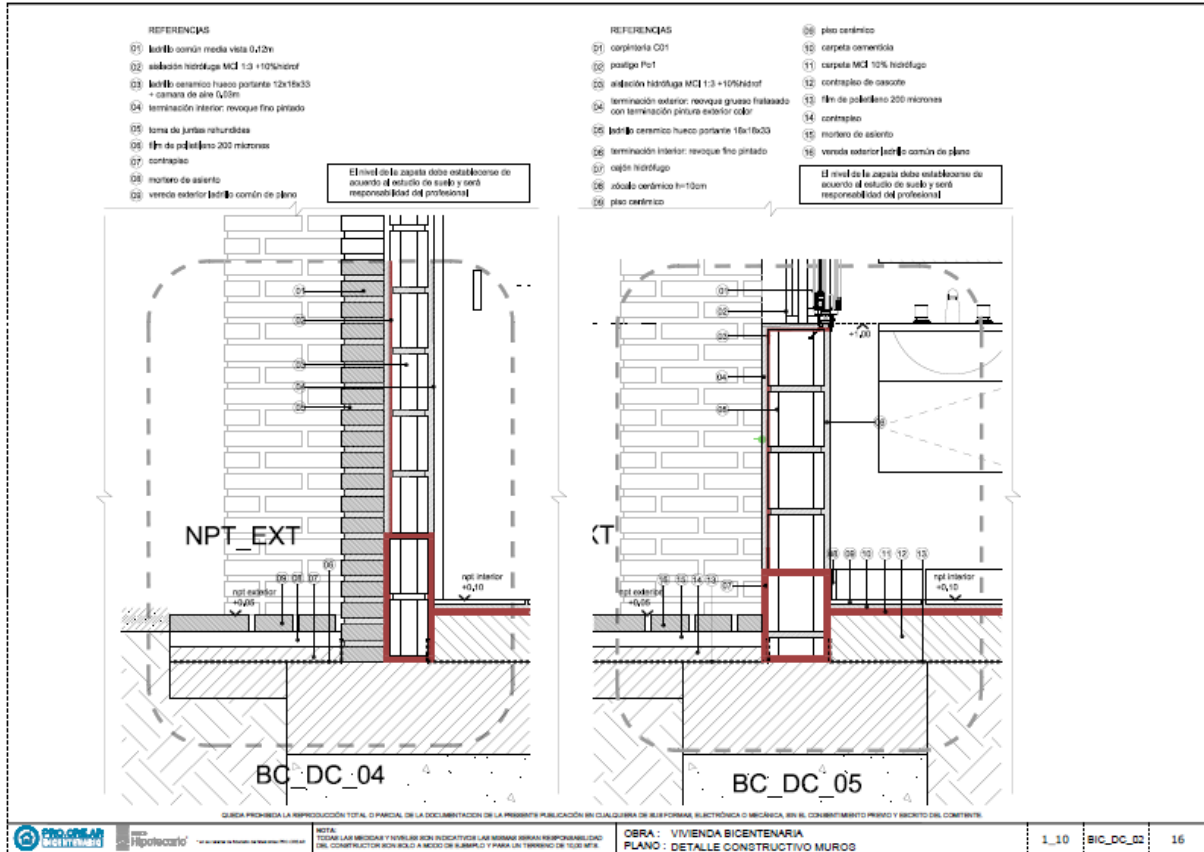


Vista Contrafrente

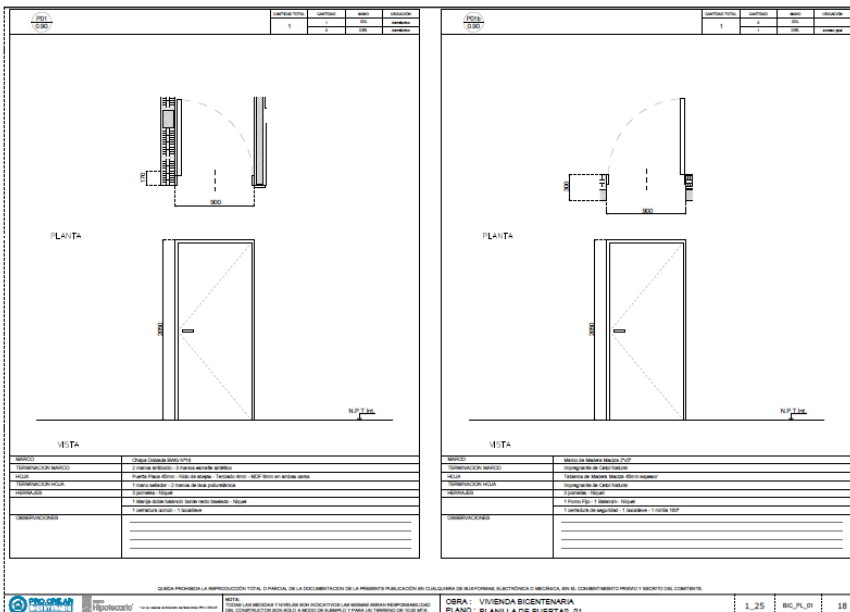


TRABAJO FINAL DE CARRERA, FACULTAD DE INGENIERÍA:  
 TUE ALI. Sistema de climatización para refrigeración y calefacción a partir de una fuente de energía geotérmica

Detalle constructivo de muros



Planilla de puertas



TRABAJO FINAL DE CARRERA, FACULTAD DE INGENIERÍA:  
 TUE ALI. Sistema de climatización para refrigeración y calefacción a partir de una fuente de energía geotérmica

Planilla de carpinterías

COT	CANTIDAD TOTAL	CANTIDAD	MODO	UBICACION
2.15	1			

INTERIOR

EXTERIOR

PLANTA

VISTA

PROFUNDIDAD	Aluminio - Tipo Linea Moderna
ESPESOR	Aluminio - Tipo Linea Moderna - Color MP
ACABA	2 JALINAS - 1 PANELO - 1 PANELO DE APOYO
TIPO	LANTERNO 3+3
TERMINACION	Aluminio Pintado con Esmalte
HERRAJES	Proteja de Siderita
COMENTARIOS	

QUEDA PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DE LA DOCUMENTACIÓN DE LA PRESENTE PUBLICACIÓN EN CUALQUIERA DE SUS FORMAS, ELECTRÓNICA O MECÁNICA, SIN EL CONSENTIMIENTO PREVIO Y ESCRITO DEL CONTENEDOR.

NOTA: TODAS LAS MEDIDAS Y NIVELES SON INDICATIVOS. LAS MEDIDAS SERÁN RESPONSABILIDAD DEL CONSTRUCTOR EN SU CASO A MEDIO DE SUBMUESTRO Y PARA UN TERRENO DE TIPO MP.	OBRA: VIVIENDA BICENTENARIA PLANO: PLANILLA DE CARPINTERIAS_01	1_25	BIC_PL_04	21
---	---	------	-----------	----

COT	CANTIDAD TOTAL	CANTIDAD	MODO	UBICACION
1.30	2			

INTERIOR

EXTERIOR

PLANTA

VISTA

PROFUNDIDAD	Aluminio - Tipo Linea Moderna
ESPESOR	Aluminio - Tipo Linea Moderna - Color MP
ACABA	2 JALINAS - CORONA
TIPO	LANTERNO 3+3
TERMINACION	Aluminio Pintado con Esmalte
HERRAJES	Proteja de Siderita
COMENTARIOS	

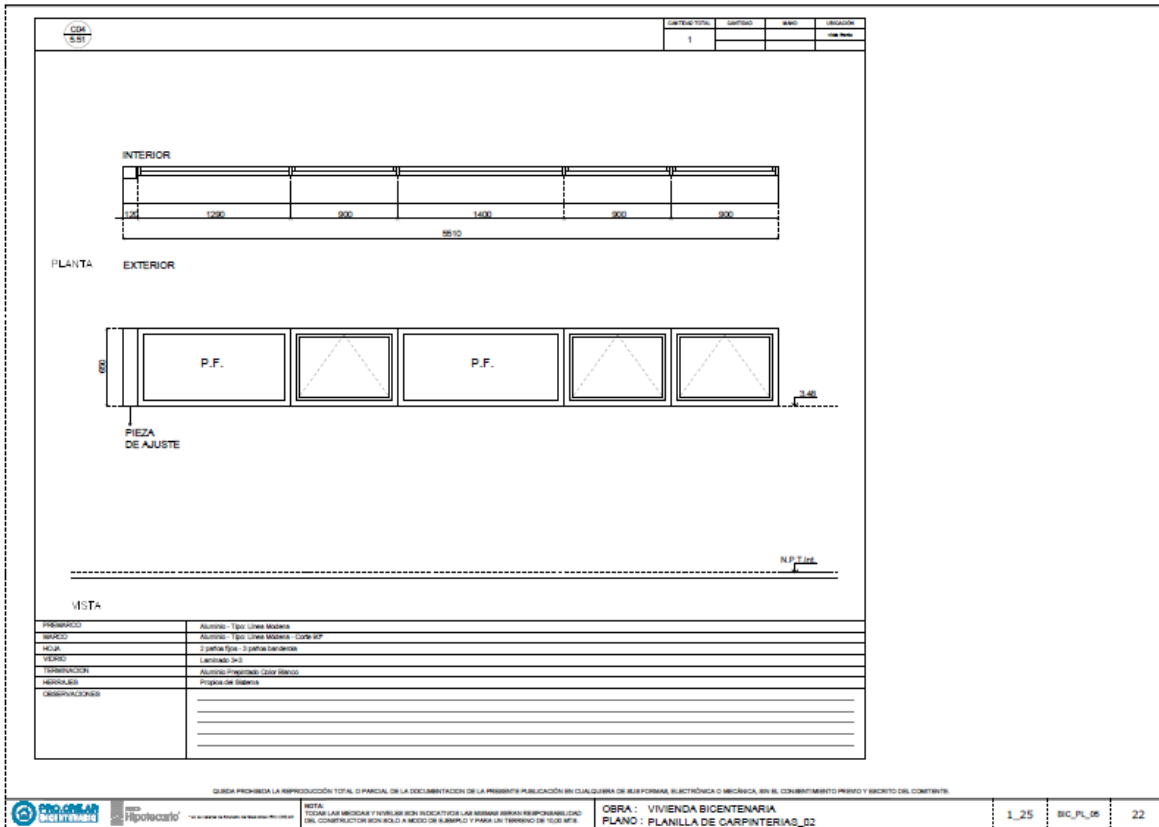
  

QUEDA PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DE LA DOCUMENTACIÓN DE LA PRESENTE PUBLICACIÓN EN CUALQUIERA DE SUS FORMAS, ELECTRÓNICA O MECÁNICA, SIN EL CONSENTIMIENTO PREVIO Y ESCRITO DEL CONTENEDOR.

NOTA: TODAS LAS MEDIDAS Y NIVELES SON INDICATIVOS. LAS MEDIDAS SERÁN RESPONSABILIDAD DEL CONSTRUCTOR EN SU CASO A MEDIO DE SUBMUESTRO Y PARA UN TERRENO DE TIPO MP.	OBRA: VIVIENDA BICENTENARIA PLANO: PLANILLA DE CARPINTERIAS_01	1_25	BIC_PL_05	20
---	---	------	-----------	----



TRABAJO FINAL DE CARRERA, FACULTAD DE INGENIERÍA:  
 TUE ALI. Sistema de climatización para refrigeración y calefacción a partir de una fuente de energía geotérmica



### ANEXO 3: CÁLCULO DEL LARGO DE LA TUBERÍA DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR

Datos de entrada		
Suelo en Buenos Aires		
Nombre	Dimensión	Unidad
Densidad media	1800-2500	Kg/m <sup>3</sup>
Calor específico	920	J/KgK
Conductividad térmica media (K)	1,67	W/m K
Capacidad térmica volumétrica	2300000	mj/m <sup>3</sup> K
Área a climatizar		
Nombre	Dimensión	Unidad
Volumen	168	m <sup>3</sup>
n° de renovaciones	2	--
n° de renovaciones x hora	336	m <sup>3</sup> /h
Instalación		
Nombre	Dimensión	Unidad
Yo	3,6	m
ro	0,1	m
Diámetro tubos	0,2	m
$\Delta Z$	0,1	m
Área tubo	0,03141593	m <sup>2</sup>
t <sub>o</sub>	31500000	s
Aire		
Nombre	Dimensión	Unidad
Cp Aire a 25°C	1005	J/Kg K
Tm anual	18,6	°C
Tm entrada aire	18,6	°C
Tmax entrada aire	30	°C
T salida esperada	24	°C
Viscosidad cinemática del aire	0,0000151	--
Pr	0,72	--
Tat	30	°C
Velocidad del aire	2,97089227	m/s
Densidad del aire a 20°C y 101,325 Kpa	1,2	Kg/m <sup>3</sup>
Conductividad térmica media aire (KA)	0,02	W/m K

TRABAJO FINAL DE CARRERA, FACULTAD DE INGENIERÍA:  
 TUE ALI. Sistema de climatización para refrigeración y calefacción a partir de una fuente de energía geotérmica

Fórmulas		
Caudal		
Q	A*v	Unidades
v	10695,2122	m/h
	2,97089227	m/s
Reynolds		
Re	39349,5665	--
Ecuación 9 Nu		
Nu	87,1048052	--
Ecuación 8 hi		
hi	8,71048052	--
Ecuación 7 UL		
UL	5,47018176	W/m K
Ecuación 1 U*		
U*	0,4485479	--
Ecuación 3 z̄		
z̄	1,33422122	--
Ecuación 2		
Ts2	19,3036721	°C
Ecuación Ts2*		
Ts2*	26,6878448	°C
Ecuación 6		
QS2	-1,8118091	W
m flujo masico en tuberías		
m	0,112	Kg/s
v*	0,09333333	m3/s
Ecuación 6		
Tat,out	29,9839036	°C

ITERACIONES	
Temperatura en [°C]	Metros de tubería [m]
30	0

TRABAJO FINAL DE CARRERA, FACULTAD DE INGENIERÍA:

*TUE ALI. Sistema de climatización para refrigeración y calefacción a partir de una fuente de energía geotérmica*

29,98	0,1
29,96	0,2
29,94	0,3
29,92	0,4
29,9	0,5
29,88	0,6
29,86	0,7
29,84	0,8
29,82	0,9
29,8	1
29,78	1,1
29,76	1,2
29,74	1,3
29,72	1,4
29,7	1,5
29,68	1,6
29,66	1,7
29,64	1,8
29,62	1,9
29,6	2
29,58	2,1
29,56	2,2
29,54	2,3
29,52	2,4
29,5	2,5
29,48	2,6
29,46	2,7
29,44	2,8
29,42	2,9
29,4	3
29,38	3,1
29,36	3,2
29,34	3,3
29,32	3,4
29,3	3,5

TRABAJO FINAL DE CARRERA, FACULTAD DE INGENIERÍA:

*TUE ALI. Sistema de climatización para refrigeración y calefacción a partir de una fuente de energía geotérmica*

29,28	3,6
29,26	3,7
29,24	3,8
29,22	3,9
29,2	4
29,18	4,1
29,16	4,2
29,14	4,3
29,12	4,4
29,1	4,5
29,08	4,6
29,06	4,7
29,04	4,8
29,02	4,9
29	5
28,98	5,1
28,96	5,2
28,94	5,3
28,92	5,4
28,9	5,5
28,88	5,6
28,86	5,7
28,84	5,8
28,82	5,9
28,8	6
28,78	6,1
28,76	6,2
28,74	6,3
28,72	6,4
28,7	6,5
28,68	6,6
28,66	6,7
28,64	6,8
28,62	6,9
28,6	7

TRABAJO FINAL DE CARRERA, FACULTAD DE INGENIERÍA:

TUE ALI. Sistema de climatización para refrigeración y calefacción a partir de una fuente de energía geotérmica

28,58	7,1
28,56	7,2
28,54	7,3
28,52	7,4
28,5	7,5
28,48	7,6
28,46	7,7
28,44	7,8
28,42	7,9
28,4	8
28,38	8,1
28,36	8,2
28,34	8,3
28,32	8,4
28,3	8,5
28,28	8,6
28,26	8,7
28,24	8,8
28,22	8,9
28,2	9
28,18	9,1
28,16	9,2
28,14	9,3
28,12	9,4
28,1	9,5
28,08	9,6
28,06	9,7
28,04	9,8
28,02	9,9
28	10
27,98	10,1
27,96	10,2
27,94	10,3
27,92	10,4
27,9	10,5

TRABAJO FINAL DE CARRERA, FACULTAD DE INGENIERÍA:

*TUE ALI. Sistema de climatización para refrigeración y calefacción a partir de una fuente de energía geotérmica*

27,88	10,6
27,86	10,7
27,84	10,8
27,82	10,9
27,8	11
27,78	11,1
27,76	11,2
27,74	11,3
27,72	11,4
27,7	11,5
27,68	11,6
27,66	11,7
27,64	11,8
27,62	11,9
27,6	12
27,58	12,1
27,56	12,2
27,54	12,3
27,52	12,4
27,5	12,5
27,48	12,6
27,46	12,7
27,44	12,8
27,42	12,9
27,4	13
27,38	13,1
27,36	13,2
27,34	13,3
27,32	13,4
27,3	13,5
27,28	13,6
27,26	13,7
27,24	13,8
27,22	13,9
27,2	14

TRABAJO FINAL DE CARRERA, FACULTAD DE INGENIERÍA:

*TUE ALI. Sistema de climatización para refrigeración y calefacción a partir de una fuente de energía geotérmica*

27,18	14,1
27,16	14,2
27,14	14,3
27,12	14,4
27,1	14,5
27,08	14,6
27,06	14,7
27,04	14,8
27,02	14,9
27	15
26,98	15,1
26,96	15,2
26,94	15,3
26,92	15,4
26,9	15,5
26,88	15,6
26,86	15,7
26,84	15,8
26,82	15,9
26,8	16
26,78	16,1
26,76	16,2
26,74	16,3
26,72	16,4
26,7	16,5
26,68	16,6
26,66	16,7
26,64	16,8
26,62	16,9
26,6	17
26,58	17,1
26,56	17,2
26,54	17,3
26,52	17,4
26,5	17,5



## TRABAJO FINAL DE CARRERA, FACULTAD DE INGENIERÍA:

TUE ALI. Sistema de climatización para refrigeración y calefacción a partir de una fuente de energía geotérmica

26,48	17,6
26,46	17,7
26,44	17,8
26,42	17,9
26,4	18
26,38	18,1
26,36	18,2
26,34	18,3
26,32	18,4
26,3	18,5
26,28	18,6
26,26	18,7
26,24	18,8
26,22	18,9
26,2	19
26,18	19,1
26,16	19,2
26,14	19,3
26,12	19,4
26,1	19,5
26,08	19,6
26,06	19,7
26,04	19,8
26,02	19,9
26	20
25,98	20,1
25,96	20,2
25,94	20,3
25,92	20,4
25,9	20,5
25,88	20,6
25,86	20,7
25,84	20,8
25,82	20,9
25,8	21

TRABAJO FINAL DE CARRERA, FACULTAD DE INGENIERÍA:

*TUE ALI. Sistema de climatización para refrigeración y calefacción a partir de una fuente de energía geotérmica*

25,78	21,1
25,76	21,2
25,74	21,3
25,72	21,4
25,7	21,5
25,68	21,6
25,66	21,7
25,64	21,8
25,62	21,9
25,6	22
25,58	22,1
25,56	22,2
25,54	22,3
25,52	22,4
25,5	22,5
25,48	22,6
25,46	22,7
25,44	22,8
25,42	22,9
25,4	23
25,38	23,1
25,36	23,2
25,34	23,3
25,32	23,4
25,3	23,5
25,28	23,6
25,26	23,7
25,24	23,8
25,22	23,9
25,2	24
25,18	24,1
25,16	24,2
25,14	24,3
25,12	24,4
25,1	24,5

TRABAJO FINAL DE CARRERA, FACULTAD DE INGENIERÍA:

*TUE ALI. Sistema de climatización para refrigeración y calefacción a partir de una fuente de energía geotérmica*

25,08	24,6
25,06	24,7
25,04	24,8
25,02	24,9
25	25
24,98	25,1
24,96	25,2
24,94	25,3
24,92	25,4
24,9	25,5
24,88	25,6
24,86	25,7
24,84	25,8
24,82	25,9
24,8	26
24,78	26,1
24,76	26,2
24,74	26,3
24,72	26,4
24,7	26,5
24,68	26,6
24,66	26,7
24,64	26,8
24,62	26,9
24,6	27
24,58	27,1
24,56	27,2
24,54	27,3
24,52	27,4
24,5	27,5
24,48	27,6
24,46	27,7
24,44	27,8
24,42	27,9
24,4	28

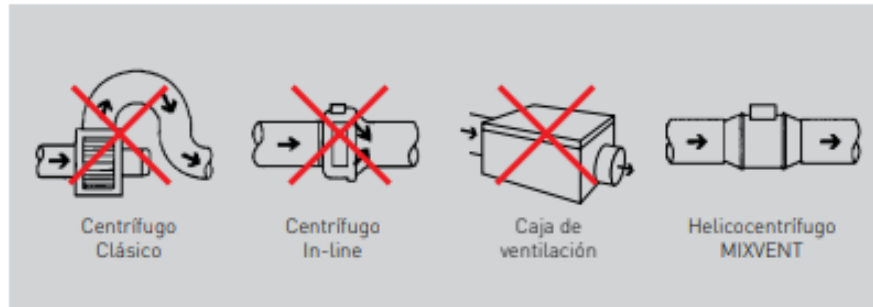
TRABAJO FINAL DE CARRERA, FACULTAD DE INGENIERÍA:

*TUE ALI. Sistema de climatización para refrigeración y calefacción a partir de una fuente de energía geotérmica*

24,38	28,1
24,36	28,2
24,34	28,3
24,32	28,4
24,3	28,5
24,28	28,6
24,26	28,7
24,24	28,8
24,22	28,9
24,2	29
24,18	29,1
24,16	29,2
24,14	29,3
24,12	29,4
24,1	29,5
24,08	29,6
24,06	29,7
24,04	29,8
24,02	29,9
24	30

## ANEXO 4: ESPECIFICACIONES VENTILADOR SELECCIONADO

VENTILADORES HELICOCENTRÍFUGOS IN-LINE Serie TD-MIXVENT



### MONTAJE



Fijar el soporte.



Colocar el cuerpo motor.



Realizar las conexiones.



Acoplar los conductos.

TRABAJO FINAL DE CARRERA, FACULTAD DE INGENIERÍA:  
TUE ALI. Sistema de climatización para refrigeración y calefacción a partir de una fuente de energía geotérmica

**CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS**

	160	250	350	500	800	800N	1000	1300	2000	4000	6000
CARCASA POLIPROPILENO	•	•	•	•	•	•					
CARCASA ACERO	•						•	•	•	•	•
HÉLICE ABS	•	•	•	•	•	•					
HÉLICE ALUMINIO							•	•	•	• <sup>[1]</sup>	• <sup>[1]</sup>
CLASE MOTOR	II	II	II	II	II	II	I	I	I	I	I
PROTECTOR TÉRMICO POR FUSIBLE	•	•	•								
PROTECTOR TÉRMICO REARME MANUAL (PTC)				•	•	•	•	•	•	•	•
RODAMIENTOS A BOLAS ENGRASE PERMANENTE	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
MOTOR REGULABLE DE UNA VELOCIDAD										•	•
MOTOR REGULABLE (2) DE DOS VELOCIDADES	•	•	•	•	•	•	•	•	•		

[1] Modelos con hélice de aluminio de fundición de una sola pieza.

[2] Los modelos que incorporan temporizador (TD-MIXVENT-T) no son regulables.

**CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS**

TD-MIXVENT	Velocidad (r.p.m.)	Potencia absorbida máxima (W)	Intensidad absorbida máxima (A)	Caudal en descarga libre (m <sup>3</sup> /h)	Temperatura de trabajo (°C)	Nivel de presión sonora* (dB(A))	Ø Conducto (mm)	Peso (kg)	Regulador posible de velocidad
TD-160/100 N SILENT	2500	20	0,16	180	-20/+40	24	100	1,4	RMB-1,5 / REB-1
	2200	12	0,10	140		21			
TD-250/100	2200	24	0,11	240	-20/+40	31	100	2,0	RMB-1,5 / REB-1
	1850	18	0,10	180		26			
TD-350/125	2250	30	0,13	360	-20/+40	33	125	2,0	RMB-1,5 / REB-1
	1900	22	0,10	280		28			
TD-500/150	2500	50	0,22	580	-20/+60	33	150	2,7	RMB-1,5 / REB-1
	1950	44	0,19	430		29			
TD-500/160	2500	50	0,22	580	-20/+60	33	160	2,7	RMB-1,5 / REB-1
	1950	44	0,19	430		29			
TD-800/200N	2780	95	0,45	880	-20/+60	37	200	4,9	RMB-1,5 / REB-1
	2480	90	0,43	700		33			
TD-800/200	2500	120	0,50	1.100	-20/+60	39	200	4,9	RMB-1,5 / REB-1
	2000	100	0,45	800		33			
TD-1000/250	2800	125	0,50	1.010	-40/+60	40	250	9,4	RMB-1,5 / REB-1
	2610	85	0,35	900		38			
TD-1300/250	2520	180	0,80	1.300	-40/+60	43	250	9,4	RMB-1,5 / REB-1
	2000	140	0,60	1.100		39			
TD-2000/315	2700	255	1,20	2.000	-40/+60	47	315	14,0	RMB-1,5 / REB-2,5
	2000	160	0,80	1.550		42			
TD-4000/355	1400	345	1,53	3.800	-40/+40	44	355	19,0	RMB-3,5 / REB-2,5
TD-6000/400	1400	665	2,97	5.500	-40/+40	44	400	26,0	RMB-8 / REB-5

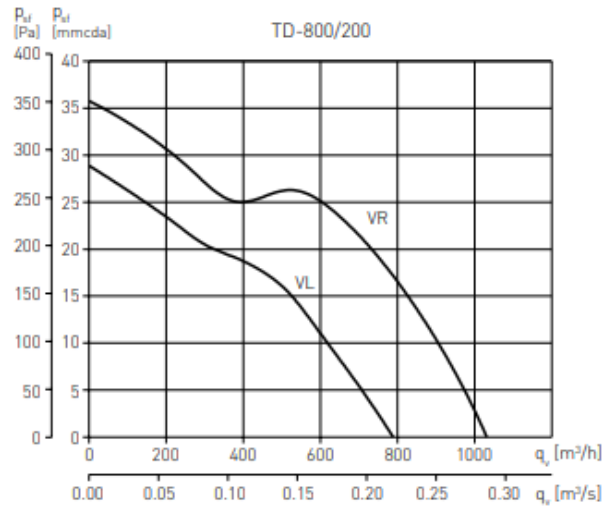
TRIFASICOS

TD-4000/355 TRIF	1375	345	0,75	3.800	-40/+70	44	355	19,0	RMT-1,5
TD-6000/400 TRIF	1375	650	2,10	5.500	-40/+60	44	400	26,0	RMT-2,5

\* Nivel de presión sonora, radiado a 3 metros en campo libre, con tubos rígidos en aspiración y descarga.

### CURVAS CARACTERÍSTICAS

- $q_v$  = Caudal en  $m^3/h$  y  $m^3/s$ .
- $p_{st}$  = Presión estática en mmcda y Pa.
- Aire seco normal a  $20^\circ C$  y 760 mmHg.
- Ensayos realizados de acuerdo a Norma ISO 5801 y AMCA 210-99.



### ACCESORIOS INCLUIDOS



**GSA-100**  
 Tubo flexible circular de aluminio de 100 mm de diámetro. 4 m de longitud.



**GR-100**  
 Reja exterior.



**BOR-100**  
 Boca de aspiración.



**BA-50**  
 Banda adhesiva de aluminio para fijar los elementos que componen los kits de extracción remota [conducto, brida, campana o grupo, y extractor]. 5 m de longitud.

Fuente:

[https://www.airexconcepcion.cl/archivos/ficha\\_tecnica/146/es\\_750\\_756\\_td\\_mixvetid7015.pdf](https://www.airexconcepcion.cl/archivos/ficha_tecnica/146/es_750_756_td_mixvetid7015.pdf)

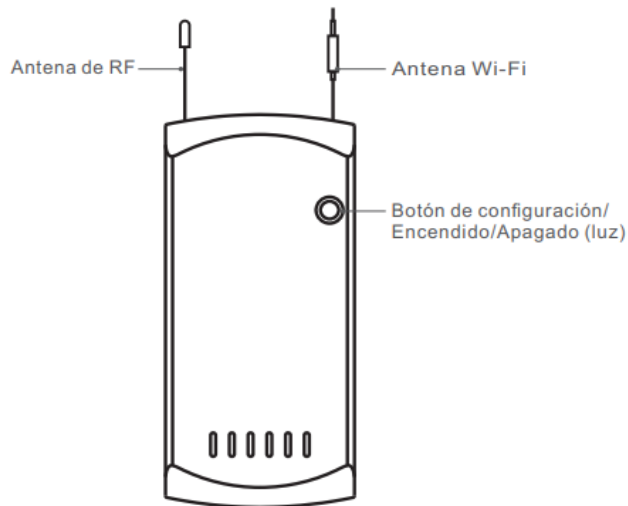
Compuesto por:

- 1 Extractor TD-250T
- + 4 m conducto flexible GSA
- + 1 Boca de aspiración BOR-100
- + 1 Reja de descarga GR-100
- + Rollo cinta adhesiva BA

El extractor TD-250 T dispone de un temporizador regulable ente 1 y 30 minutos que mantiene el aparato en funcionamiento por el periodo de tiempo seleccionado después de apagarlo.

## ANEXO 5: ESPECIFICACIONES IFAN 03

### Introducción al producto



### Características

Control remoto

Apague la luz o el ventilador desde cualquier parte, programe el encendido/apagado y comparta la aplicación con su familia para controlarlo.

SONOFF TECHNOLOGIES CO., LTD.

Español

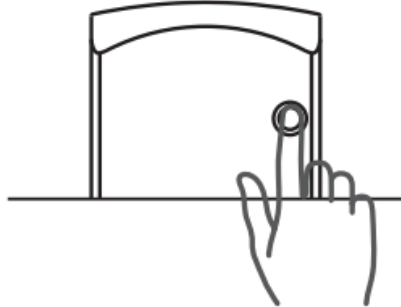
### Especificaciones

Modelo	iFan03
Entrada	CA100-240 V 50/60Hz 5A
Salida	Luz: CA100-240 V 50/60 Hz 3A Lámpara de tungsteno: 660 W/220 V máxima LED: 300 W/220 V máxima Ventilador de techo: CA 100-240 V 50/60 Hz máxima
Sistemas operativos	Android 4.1 o posterior e iOS 9.0 o posterior
Estándar Wi-Fi	IEEE 802.11 b/g/n 2.4GHz
RF	433.92MHz
Materiales	PC V0
Dimensiones	116x55x26 mm



### Restablecimiento de los ajustes de fábrica

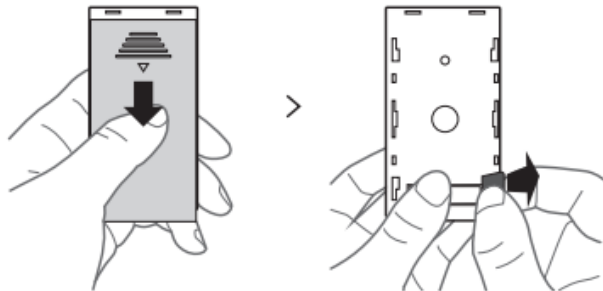
Mantenga pulsado el botón de configuración del controlador o el botón de emparejamiento de Wi-Fi del control remoto RM433 durante 5 segundos hasta que el ventilador emita dos pitidos cortos y uno largo y suéltelo. El dispositivo se pone en modo de emparejamiento rápido (Touch).



ⓘ Restablezca el dispositivo a los valores predeterminados de fábrica si desea utilizar otras redes Wi-Fi. A continuación, vuelva a conectar la red.

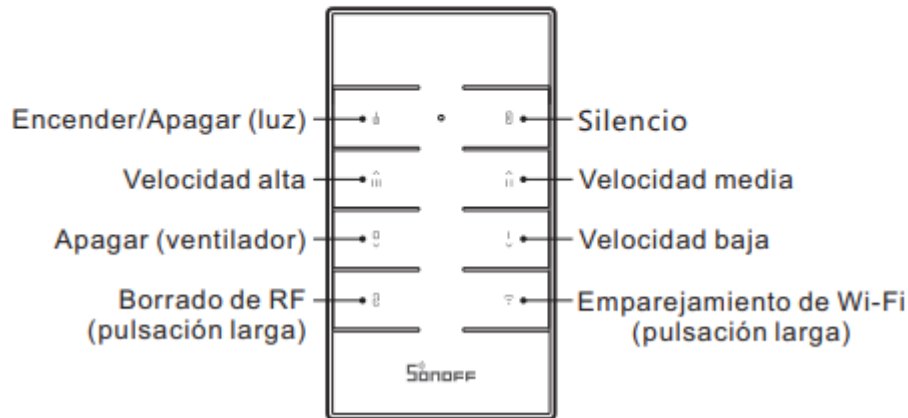
### RM433 control remot

Antes de utilizar el producto, presione y empuje hacia abajo la tapa posterior para quitarla y, a continuación, presione la batería y tire de la lámina aislante para quitarla.



Modelo	RM433
RF	433,92 MHz
Fuente de alimentación	Pila extraíble de 12 V (Modelo: 27A)
Material	PC V0
Dimensiones	86x45x12,5 mm

El interruptor admite el control remoto en la banda de frecuencias de 433,92 MHz para encender y apagar. Después de emparejar con un botón, todos los botones pueden controlar el dispositivo conectado. y es un control inalámbrico local de corto alcance; no un control Wi-Fi.



#### **Métodos de emparejamiento RF:**

Pulse cualquier botón en un plazo de 5 s después de volver a encenderlo, hasta que el ventilador de techo emita un pitido y el emparejamiento se haya realizado correctamente. Si no se realiza ninguna operación en un plazo de 5 segundos, vuelva a encender el dispositivo para emparejarlo.

#### **Métodos de borrado RF:**

Pulsación larga hasta que el ventilador emita dos pitidos para borrar el código correctamente.

#### **Métodos de emparejamiento Wi-Fi:**

Mantenga pulsado durante 5 segundos hasta que el ventilador emita dos pitidos cortos y uno largo acceder al modo de emparejamiento rápido (Touch).

- ① Pulse brevemente cualquier botón para salir del modo actual en modo de emparejamiento rápido (Touch).

TRABAJO FINAL DE CARRERA, FACULTAD DE INGENIERÍA:  
*TUE ALI. Sistema de climatización para refrigeración y calefacción a partir de una fuente de energía geotérmica*



El aparato está conformado por

- 2 capacitores de 3  $\mu\text{F}$  y 2.5  $\mu\text{F}$  dimensionados para un circuito de 220 V.
- Un chip Wifi programable ESP8255 (32-bit MCU & 2.4 GHz Wi-Fi SoCs)
- 1 Buzzer
- 3 relé de ventilador
- 1 relé de luz