

UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

PATROCINANTE: ING. ÁLVARO SUAZO SCHWENCKE

**“PREFACTIBILIDAD DE UN SISTEMA DE
REFRIGERACIÓN EN BASE A CIRCULACIÓN DE
AGUA POTABLE POR UNA VIVIENDA”**

**Proyecto de Título presentado en conformidad a los requisitos para obtener el
Título de Ingeniero Civil**

RUTH VALERIA ROA REYES

Concepción, Mayo 2018

AGRADECIMIENTOS

“EL AGRADECIMIENTO ES LA MEMORIA DEL CORAZÓN”

Agradezco en primer lugar al pilar fundamental de mi vida, mi familia, pero principalmente mi Madre y hermano. Sin su incondicional apoyo, el término de este largo proceso no hubiese sido posible.

Agradezco a las personas de la universidad que me dieron las oportunidades para continuar mis estudios, entendiendo las circunstancias que me llevaron a fracasar, confiando en mis capacidades y jugándose a por mi persona.

Agradezco a los buenos compañeros y amigos que tuve, por su ayuda y apoyo, tanto en los momentos necesarios durante el transcurso de las asignaturas, como en el desarrollo de este proyecto de título.

Agradezco la gran vocación docente del profesor Luis Cerda M. del Depto. de Ingeniería Mecánica, por su asistencia sin ser estudiante del departamento en el que se desarrolla, brindada con la mejor disposición.

Agradezco a mi profesor patrocinante Álvaro Suazo Sch., no sólo por su gran apoyo, paciencia y motivación en los momentos de flaqueza del desarrollo de este proyecto, sino también por la gran labor desarrollada como Director de Escuela, con empatía y dedicación por los estudiantes.

Agradezco a cada docente, por su entrega en el ejercicio de la profesión, pero principalmente a aquellos que me brindaron su apoyo en los momentos críticos de mi paso por la universidad, como lo son Alexander Opazo V. y Pedro Cisterna O.

Agradezco a los funcionarios de la universidad, especialmente a Jessica Zagal A. y Angeline Córdova Y., por su incondicional entrega en sus funciones para suplir las necesidades de los estudiantes, siempre atendíéndolas con la mejor disposición.

Agradezco a la vida por las oportunidades y por haberlos colocado en mi camino.

GRACIAS ... TOTALES.

*“Nadie encuentra el camino
sin haberse perdido varias veces”.*

ÍNDICE

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
1. INTRODUCCIÓN	3
1.1 Justificación	4
1.2 Objetivos	4
1.2.1 Objetivo General	4
1.2.2 Objetivo Específicos	4
2. CARGAS TÉRMICAS	5
2.1 Descripción de la Vivienda	5
2.2 Cálculo Transmitancia Térmicas	8
2.3 Cálculo de Cargas Térmicas	15
3. Diseño Sistema de Refrigeración	23
3.1 Determinación del punto de rocío	24
3.2 Diseño refrigerante suelo-muro	27
3.3 Determinación caudal de agua	31
3.4 Verificación del sistema de refrigeración suelo-muro refrescante	33
4. ANÁLISIS DE COSTOS	35
5. ANALISIS DE RESULTADOS	36
6. CONCLUSIONES	38
7. BIBLIOGRAFÍA	39
ANEXO	41

PREFACTIBILIDAD DE UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN EN BASE A CIRCULACIÓN DE AGUA POTABLE POR UNA VIVIENDA

Autora: Ruth Valeria Roa Reyes

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío-Bío

Correo electrónico: rroa@alumnos.ubiobio.cl

Profesor patrocinante: Álvaro Suazo Schwencke

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío-Bío

Correo electrónico: asuazo@ubiobio.cl

RESUMEN

En el presente trabajo se estudió el comportamiento de un sistema de refrigeración invisible dentro de una vivienda ya existente, para analizar su prefactibilidad técnica y económica. El sistema consiste en la circulación de agua potable en las superficies de ésta, por medio de tuberías. Se calculó los aportes térmicos internos y externos, con lo que se realizó el diseño del sistema. La solución debe considerar las superficies de piso y todos los muros exteriores para lograr la capacidad de refrigeración necesaria para mitigar la potencia térmica que recibe la vivienda. Sin embargo, para cumplir lo anterior, se trabajó con una distancia entre tubos, menor a los rangos recomendados por la UNE-EN-1264:2009 dando como resultado un largo de tubería que requiere realizar uniones, pudiendo generar problemas de filtraciones. Se debe tener un elevado valor de caudal, el cual tendría que estar circulando constantemente para no producir saltos térmicos mayores a los exigidos para la eficiencia del sistema. Además las pérdidas de carga arrojan valores elevados para el sistema completo suelo-muros, pudiéndose concluir que no es viable técnicamente realizar el proyecto. Por otro lado, los costos asociados a inversión también son elevados, por ende económicamente tampoco es viable ejecutarlo.

Palabras claves: Confort térmico, Vivienda unifamiliar, Cargas térmicas, Instalación agua potable, Temperatura.

5237 Palabras Texto + 44 Figuras/Tablas*250 + 1 Figuras/Tablas*500 = 16737

FEASABILITY STUDY OF A REFRIGERATION SYSTEM BASED ON THE CIRCULATION OF DRINKING WATER THROUGH THE HOUSE.

Author: Ruth Valeria Roa Reyes

Civil and Environmental Engineering Department, Universidad del Bío-Bío

e-mail: rroa@alumnos.ubiobio.cl

Professor: Álvaro Suazo Schwencke

Civil and Environmental Engineering Department, Universidad del Bío-Bío

e-mail: asuazo@ubiobio.cl

ABSTRACT

The current research consists of the behavior of a non-visible refrigeration system inside an already built house, for further analysis on its technical and economical feasibility. System is based on the circulation of drinking water through the surfaces of the house by using a pipes system. Calculations were made in terms of internal and external thermic values, which were later used to design the system. Proposal must consider the floor and exterior wall surfaces to reach the desired refrigeration capacities required by the house. However, in order to do that, the present study was based on a distance between the pipes that is lower than the ones advised at UNE-EN-1264:2009, resulting in a pipe range that requires a linking process, which can cause some water filtration issues. Water affluence value has to be high, and it also requires to constantly circulating avoiding bigger thermic variations than the ones required by efficiency system itself. The loss of thermic charges result in higher values for the complete floor and wall refrigeration system, from what it can be concluded that the execution of the project faces technical issues at this point and it is not viable to implement it. On the other hand, the economic investment required by the project is expensive, so in the end, in terms of technical and economic aspects it is not viable to execute the project.

Key Words: Thermal Comfort, one person house, thermic charge, Drinking water installation, Temperature.

1. INTRODUCCIÓN

Debido al inminente aumento de las temperaturas y las cada vez más frecuentes olas de calor producidas por el calentamiento global (OMM, 2016), es que se hace necesario en las viviendas sistemas de refrigeración para disminuir las temperaturas y lograr una sensación térmica confortable en temporada de verano.

La Norma ISO 7730 define el confort térmico como “Esa condición de mente en la que se expresa la satisfacción con el ambiente térmico”. Para lograr lo anterior, el Ministerio de Vivienda y Urbanismo en el año 1994 incorporó la reglamentación térmica definiendo una estrategia donde considera tres acciones secuenciales:

“1° Disminuir al máximo las demandas de energía.

2° Utilizar y optimizar las ganancias internas y externas.

3° En el caso de requerir calefacción o refrigerar, utilizar sistemas no contaminantes, eficientes y de bajo costo”. MINVU (1994)

Es por ello y por el cuidado del medio ambiente, que se requiere con suma urgencia implementar sistemas de refrigeración pasivos (sin consumo de energía), o bien de bajo consumo energético.

Existen variadas alternativas en el mercado para sobrellevar las altas temperaturas a las que se está expuesto en verano, las cuales pueden ser económicas de adquirir, pero no consideran el costo ambiental. Por lo anterior, se evaluará una alternativa de climatización que permita reducir la demanda energética de la vivienda, de carácter pasivo, consistiendo en un sistema de refrigeración domiciliaria en base a circulación de agua potable en circuito abierto.

Se analizará una vivienda ya diseñada, evaluando cómo se comporta frente al diseño propuesto en cuanto a materialidad y dimensionamiento de las tuberías. De acuerdo a ello, se concluirá si el proyecto es viable o no en cuanto a efectividad técnica y económica.

1.1 Justificación

El problema central identificado para el desarrollo de este proyecto, es el incremento de las temperaturas dentro de las viviendas en época de verano, con valores superiores a los niveles de confort. Lo anterior afecta directamente dos entes principales, la población y el medio ambiente.

La población, por los altos niveles de consumo energéticos que implican los sistemas convencionales que se encuentran en el mercado y el ambiente, por el impacto ambiental acumulativo en el tiempo.

Se enfocará este proyecto en la Región del Biobío, específicamente con datos analizados de la zona de Concepción, tomando como fuente refrigerante el recurso agua.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Determinar la prefactibilidad técnica y económica de un sistema de climatización invisible para refrigeración domiciliaria, basado en circulación de agua potable por elementos constructivos, con el fin de disminuir las temperaturas en temporada de verano dentro de una vivienda.

1.2.2 Objetivo Específicos

- Determinar las cargas térmicas de la vivienda.
- Diseñar el sistema de refrigeración.
- Evaluar costos del proyecto.
- Analizar resultados.

2. CARGAS TÉRMICAS

Para considerar la viabilidad del proyecto, se debe analizar la prefactibilidad técnica y económica del sistema propuesto. Se determinará la ganancia de calor de la vivienda y se comparará con lo que aportaría el diseño del sistema, para luego analizar los costos asociados.

Transmitancias

En la determinación de las cargas térmicas, se debe considerar una serie de factores, como el tipo de material que compone los elementos de la vivienda, analizando la capacidad que tienen de transmitir calor hacia el interior por efectos de radiación o infiltración, así como también los aportes que producen internamente las personas, la iluminación y los artefactos dentro de la vivienda.

2.1 Descripción de la Vivienda

Se considera una vivienda social tipo construida el año 2017 en la Región del Biobío.

Los proyectos tipo deben estar sujetos a requerimientos normativos evaluados y aprobados por DITEC o SERVIU, los cuales consideran la Ley General de Urbanismo y Construcción, Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones, Cuadro Normativo Art. 19 del D.S. N° 19 del D.S. N° 174 (V. y U.), de 2005, Itemizado Técnico Resolución exenta N° 2070 de 2009, Normativas específicas y Acreditación Acústico, Fuego y Térmica, siendo ésta última la de nuestro interés para efectos del estudio del proyecto.

Respecto a esto último, el MINVU ha realizado modificaciones a la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones denominadas 1° y 2° Etapas de Reglamentación Térmica. Esta última entrando en vigencia el año 2007, permite que los requisitos de construcción sean aún más exigentes según señala el Art. N° 4.1.10 del respectivo reglamento. Todo con el fin de mejorar el confort térmico de la población, llegándose hoy en día a la certificación obligatoria respecto de la demanda energética máxima de las edificaciones en general, expresada en kWh/m² año.

En las figuras 1.a, 1.b, 1.c y 1.d se muestra la vivienda elegida para el análisis, con sus elevaciones frontal, lateral derecha, lateral izquierda y planta, sin embargo, para efectos de prefactibilidad de la propuesta, sólo se considerará la estancia estar-comedor de superficie igual a 11,7 m².



Figura 1.a. Elevación Frontal.



Figura 1.b. Elevación Lateral Derecha.

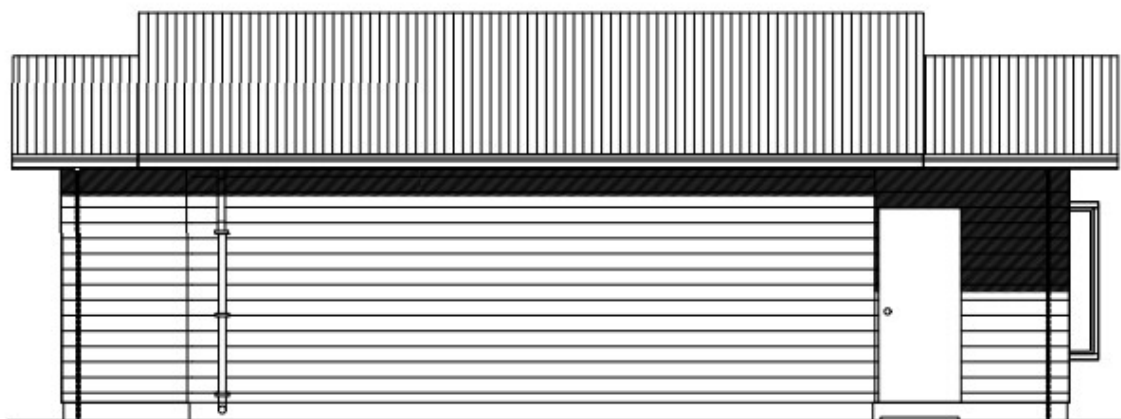


Figura 1.c. Elevación Lateral Izquierda.

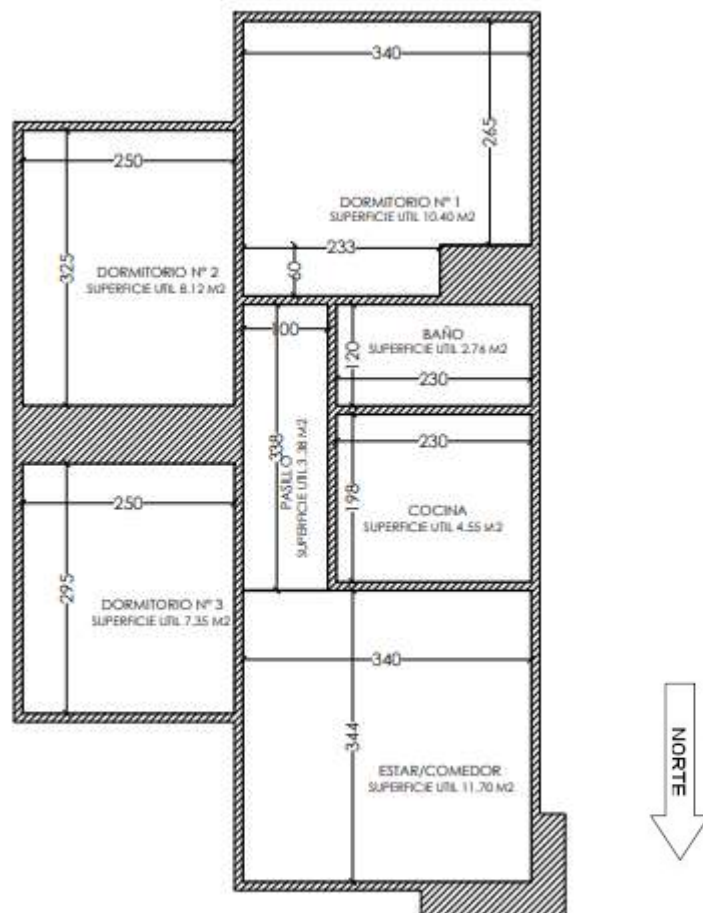


Figura 1.d. Vista de Planta.

2.2 Cálculo Transmitancia Térmicas

La Reglamentación térmica 1° Etapa, del artículo 4.1.10 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción (2007), define el parámetro U, como el “Flujo de calor que pasa por unidad de superficie del elemento y por grado de diferencia de temperatura entre los dos ambientes separados por dicho elemento. Corresponde al inverso de la resistencia térmica total R_{tT} y se expresa en W/m^2K . Experimentalmente se determina según la norma NCh851 o bien por la NCh853Of.2007”

La formulación es la siguiente:

$$U = \frac{1}{R_t} \quad \text{Ec. (1)}$$

U: Coeficiente de transmitancia térmica

R_t : Resistencia térmica de los materiales m^2K/W

La resistencia térmica R_t , corresponde a la oposición al paso del calor que presentan los elementos de construcción y se calcula como sigue:

$$R_t = R_{si} + \sum \frac{e}{\lambda} + R_{se} \quad \text{Ec. (2)}$$

R_t : Resistencia térmica de los materiales m^2K/W

R_{si} : Resistencia térmica de superficie al interior m^2K/W

R_{se} : Resistencia térmica de superficie al exterior m^2K/W

e: Espesor del material m

λ : Conductividad térmica del material W/mK

Para el cálculo de transmitancias, se deben considerar todos los elementos de la envolvente, definida como la serie de elementos constructivos a través de los cuales se produce el flujo térmico entre el ambiente interior y el exterior de la edificación, constituida básicamente por los complejos de techumbre, muros, pisos y ventanas.

La Reglamentación térmica 1° Etapa, del artículo 4.1.10 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción (2007), cuenta con valores límites de U según la zona que le corresponda al proyecto, donde los elementos que constituyen la envolvente térmica, deberán ser menores o iguales a estos valores. Según la figura 1 del anexo A, la Región del Biobío pertenece a la Zona 4 y sus valores límites se muestran en la figura 2 extraída del mismo reglamento.

ZONA	TECHUMBRE		MUROS		PISOS VENTILADOS	
	U W/m ² K	Rt m ² K/W	U W/m ² K	Rt m ² K/W	U W/m ² K	Rt m ² K/W
1	0,84	1,19	4,0	0,25	3,60	0,28
2	0,60	1,67	3,0	0,33	0,87	1,15
3	0,47	2,13	1,9	0,53	0,70	1,43
4	0,38	2,63	1,7	0,59	0,60	1,67
5	0,33	3,03	1,6	0,63	0,50	2,00
6	0,28	3,57	1,1	0,91	0,39	2,56
7	0,25	4,00	0,6	1,67	0,32	3,13

Figura 2. Tabla Valores Límites de Transmitancia y Resistencia Térmica. (MINVU, 2007)

Transmitancia Térmica en Piso

El piso de la vivienda en evaluación consiste en un radier corriente en contacto con el suelo (figura 3). Por tanto, según la NCh853Of.2007, se puede considerar el concepto de transmitancia térmica lineal, siendo igual a la relación entre el flujo de calor que sale del recinto por metro de perímetro exterior del piso, con la diferencia de temperatura entre el ambiente exterior e interior del recinto. La tabla 4 de la norma se adjunta como figura 2 en el anexo A, de donde se toma el valor de 1,4 W/mK para los cálculos, como muestra la tabla 1.

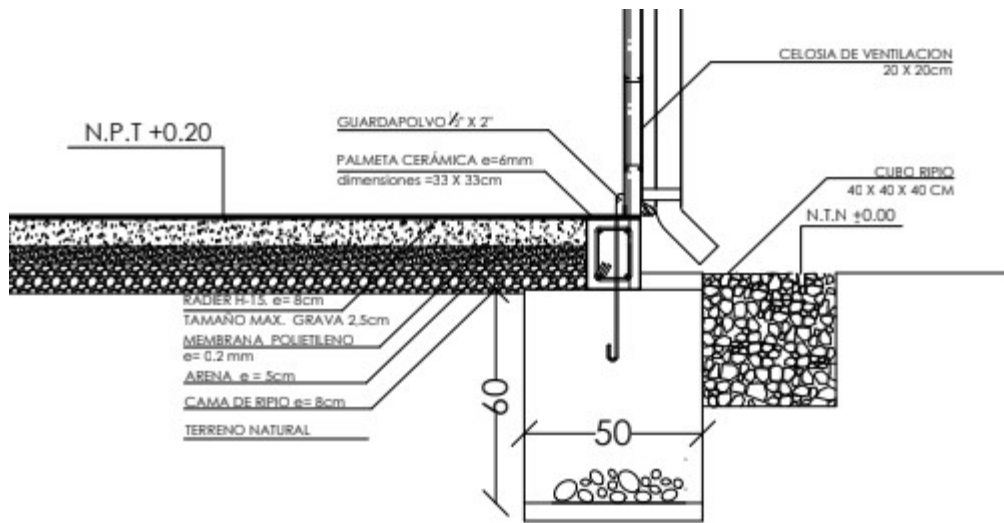


Figura 3. Corte Escantillón, Piso Vivienda.

Tabla 1. Cálculo transmitancia térmica en piso (Elaboración propia)

Capas	Espesor	Conductividad	Rt
	[m]	[W/mK]	[m ² K/W]
Radier corriente			0.71
		Rt suelo	0.71
		U suelo	1.40

Transmitancia Térmica en Ventanas

MINVU (2006), entrega en la tabla 9, valores de U para ventanas con doble vidrio hermético, los cuales se pueden utilizar para simplificación de cálculos. Las ventanas de la vivienda analizada, corresponden al tipo VS de aluminio sin rotura de puente térmico. Por tanto se utiliza el valor de 5,8 W/m²K.

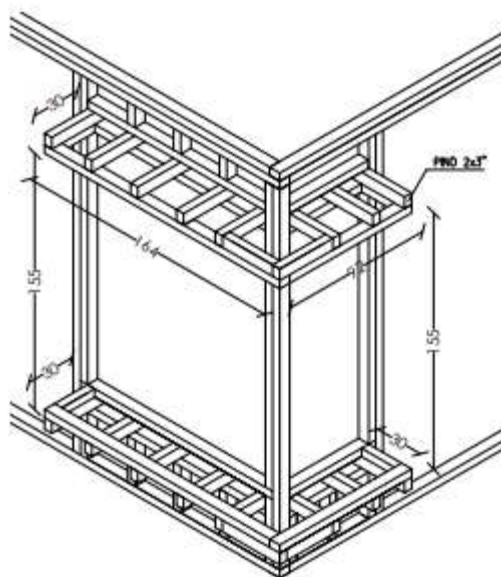


Figura 4. Ventanas.

Para el resto de los elementos de la envolvente, se utilizan las ecuaciones 1 y 2. En el caso del cálculo de las resistencias térmicas, los valores de R_{si} y R_{se} se obtienen de la tabla 2 de la NCh853.Of2007 y en el caso de las conductividades térmicas de los materiales, de la tabla A.1 del anexo A de misma normativa.

Transmitancia en Puertas

El cálculo de transmitancia térmica para puertas, posee un método único, calculándose como elementos heterogéneos simples según la NCh853.Of2007. En este caso, corresponde a una puerta de materialidad pino. El valor total de la resistencia térmica se obtiene de la ecuación 1. Con el inverso de este valor se obtiene la transmitancia térmica, resultados mostrados en la tabla 2.

Tabla 2. Cálculo transmitancia térmica en puerta (Elaboración propia).

Capas	Espesor	Conductividad	Rt
	[m]	[W/mK]	[m ² K/W]
R _{se}			0.12
Pino Joint (Marco+Pilastra)	0.09	0.23	0.39
R _{si}			0.05
Rt puerta			0.56
U puerta [W/m²K]			1.78

Transmitancia Térmica en Cielo

En este caso, al tratarse de un techo ventilado (figura 5), sólo se considera el cielo de la vivienda para los cálculos de transmitancia, el cual debe dividirse en dos partes: la zona aislante y la zona de puente térmico. Con los dos resultados, se calcula un U ponderado, con porcentajes de 90% y 10% respectivamente para cada zona como muestra la tabla 3.3. El valor de la cámara de aire se obtiene de la tabla C.2 anexo C de la NCh853.Of2007.

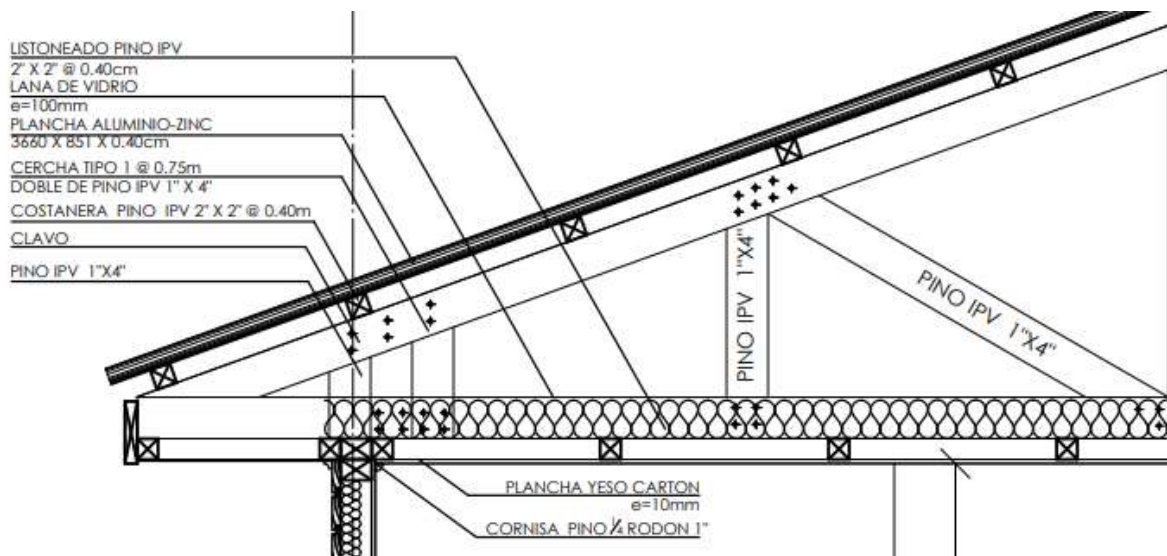


Figura 5. Corte Escantillón, Techumbre.

Tabla 3.1. Cálculo transmitancia térmica cielo, sector aislante (Elaboración propia)

Capas	Espesor	Conductividad	Rt
Sector Aislante	[m]	[W/mK]	[m ² K/W]
R _{se}			0.05
Lana de vidrio	0.1	0.042	2.38
Yeso Cartón	0.01	0.26	0.04
Cámara de aire			0.14
R _{si}			0.09
Rt₁ Cielo			2.70
U₁ Cielo [W/m²K]			0.37

Tabla 3.2. Cálculo transmitancia térmica cielo, sector puente térmico (Elaboración propia).

Capas	Espesor	Conductividad	Rt
Sector Puente Térmico Viga	[m]	[W/mK]	[m ² K/W]
R _{se}			0.05
Pino IPV 2x2@0.4cm	0.05	0.104	0.48
Yeso Cartón	0.01	0.26	0.04
R _{si}			0.09
Rt₂ Cielo			0.66
U₂ Cielo [W/m²K]			1.52

Tabla 3.3. Cálculo transmitancia térmica ponderada cielo (Elaboración propia).

Sector	U	Porcentaje	U _{Parcial}
	[W/m ² K]	%	[W/m ² K]
Aislante	0.37	90	0.33
Puente Térmico Viga	1.52	10	0.15
U_p Cielo [W/m²K]			0.49

Tabla 3.4. Comparación U calculado v/s U límite reglamentación Térmica (Elaboración propia)

U Cielo	<	U _{lím} Cielo
W/m ² K		W/m ² K
0.49	>	0.38

Como se observa en la tabla 3.4, la transmitancia térmica del cielo de la vivienda, no cumple con el límite aceptado por la Reglamentación Térmica (figura 2), sin embargo, se trabajará igualmente con este valor para los siguientes cálculos.

Transmitancia térmica en muro

El muro de la vivienda (figura 6) se calcula de igual forma que el cielo, con el dato de cámara de aire extraído de la tabla C.1 anexo C de la NCh853.Of2007. Los resultados se muestran en las tablas 4.1 a 4.4.



Figura 6. Corte Escantillón, Muro.

Tabla 4.1. Cálculo transmitancia térmica muro, sector aislante (Elaboración propia)

Capas	Espesor	Conductividad	Rt
Sector Aislante	[m]	[W/mK]	[m ² K/W]
R _{se}			0.05
Terciado Ranurado	0.01	0.28	0.03
PEX 10kg/m ³	0.05	0.04	1.16
Cámara de Aire			0.17
R _{si}			0.12
Rt₁ muro			1.53
U₁ muro [W/m²K]			0.65

Tabla 4.2. Cálculo transmitancia térmica muro, sector puente térmico viga (Elaboración propia)

Capas	Espesor	Conductividad	Rt
Sector Puente Térmico Viga	[m]	[W/mK]	[m ² K/W]
R _{se}			0.05
Terciado Ranurado	0.01	0.28	0.03
Pino IPV 2x3"	0.08	0.10	0.72
Pino Tinglado 3/4x4"	0.02	0.10	0.18
R _{si}			0.12
Rt₂ muro			1.10
U₂ muro [W/m²K]			0.91

Tabla 4.3. Cálculo transmitancia térmica ponderada muro (Elaboración propia)

Sector	U	Porcentaje	U _{Parcial}
	[W/m ² K]	%	[W/m ² K]
Aislante	0.65	20	0.13
Puente Térmico	0.91	80	0.72
U_p muro [W/m²K]			0.86

Tabla 4.4. Comparación U calculado v/s U límite reglamentación Térmica (Elaboración propia)

U muro	<	U _{lím} muro
[W/m ² K]		[W/m ² K]
0.86	<	1.7

La transmitancia térmica del muro cumple con el límite aceptado por la Reglamentación Térmica (figura 2).

2.3 Cálculo de Cargas Térmicas

Teniendo los valores de transmitancias, se procede a determinar las cargas térmicas para el diseño del sistema de refrigeración. Se deben determinar las aportaciones de calor que deben extraerse, considerando tanto las cargas térmicas interiores como exteriores, ya que todas aportan calor a la vivienda.

De lo anterior se tendrá que el calor total aportado al sistema, se expresa como sigue:

$$Q_t = Q_i + Q_e$$

Ec. (3)

Q_t : Ganancia de calor total W

Q_i : Ganancia interna de calor W

Q_e : Ganancia externa de calor W

Ganancias Internas de Calor

Las cargas térmicas interiores incluyen iluminación, equipos y personas

$$Q_i = Q_{iluminación} + Q_{personas} + Q_{aparatos}$$

Ec. (4)

La norma UNE-EN ISO 7730 establece los límites de las condiciones interiores de diseño para el confort térmico dentro de un recinto.

Para el caso del sistema en análisis, al tratarse de un sistema de refrigeración, se usarán los datos para la estación de verano, por lo tanto, las condiciones de diseño serán las indicadas en la tabla 5.

Tabla5. Condiciones interiores de diseño (Elaboración propia)

Condiciones Internas de diseño		
Temperatura interior	Humedad Relativa	Velocidad del Aire
[°C]	%	[m/s]
26	50	0.25

La iluminación produce calor sensible, su potencia va a depender del tipo, sin embargo se recomienda usar de 10 a 25 W/m² para efectos de cálculos.

$$Q_{iluminación} = S \cdot P$$

Ec. (5)

S: Superficie estar-comedor m²

P: Potencia de iluminación por metro cuadrado W/m²

Tabla 6. Cálculo carga por iluminación (Elaboración propia)

S	P	Q _{iluminación}
[m ²]	[W/m ²]	[W]
11.7	10	117

Las personas generan un calor sensible y un calor latente cuyos valores varían dependiendo de la actividad que realicen. Aportan este calor, ya que la temperatura promedio de una persona (37°C) es mayor a la que idealmente debe mantenerse el recinto. Los valores de este calor se obtienen de la UNE-EN ISO 7730 cuando la persona está en reposo y a la temperatura de diseño considerada para el proyecto de 26 °C, por lo que el total de calor, considerando el calor sensible y latente suma la cantidad de 90 W. El calor aportado, considerando dos personas en la estancia de diseño se muestra en la tabla 7.

$$Q_{personas} = n \cdot C_{sp} \quad Ec. (6)$$

n: Número de personas

C_p: Calor sensible y latente aportado por las personas W/m²

Tabla 7. Cálculo carga aportada por las personas (Elaboración propia)

N	C _p	Q _{personas}
	[W]	[W]
2	90	180

Para la potencia de cada aparato, se utilizó las recomendaciones de Enel Distribución (2018), la cual entregó los resultados de la tabla 8.

Tabla 8. Cálculo carga aportada por los equipos (Elaboración propia)

Televisor Led 32"	Equipo de Sonito	Computador	Q _{aparatos}
[W]	[W]	[W]	[W]
75	99	160	334

Ganancias Externas de Calor

Las cargas térmicas exteriores incluyen transmisión, infiltración y radiación. Las cargas por renovación no se considerarán, ya que no hay equipo de ventilación en la vivienda.

$$Q_e = Q_{infiltración} + Q_{transmisión} + Q_{radiación} \quad Ec. (7)$$

Las temperaturas máximas de la estación Carriel Sur de la Dirección Meteorológica de Chile y correspondientes a los meses desde Diciembre a Marzo (temporada de verano), se muestran en la tabla 9, entre paréntesis el día de registro. Para el diseño se considerará el mayor valor, es decir 30 °C registrado en el mes de Enero 2018.

Tabla 9. Temperaturas máximas últimas tres temporadas de verano (Elaboración propia)

Mes/Año	2015	2016	2017	2018
	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]
Diciembre	27.8 (31)	26.2 (28)	24.2 (30)	
Enero		29.9 (30)	24.1 (26)	30.2 (7)
Febrero		26.7 (23)	28.7 (21)	26.4 (12)
Marzo		25.4 (1-10)	26.1 (16)	25.5 (1)

Las cargas térmicas por infiltración se producen debido a la entrada de una porción de aire a través de pequeños huecos por mal sello de ventanas, puertas u orificios, los cuales pueden causar grandes flujos de no ser controlados. Se estiman como sigue:

$$Q_{infiltración} = \dot{m} \cdot \rho \cdot c_{p \text{ aire}} \cdot (T_e - T_i) \quad Ec. (8)$$

\dot{m} : Caudal volumétrico del aire de infiltración m³

ρ : Densidad del aire kg/m³

$c_{p \text{ aire}}$: Calor específico del aire J/kg°C

T_e : Temperatura exterior de diseño °C

T_i : Temperatura interior de diseño °C

Tabla 10. Cálculo ganancia por infiltración (Elaboración propia)

\dot{m}	ρ	$C_p \text{ aire}$	T_e	T_i	$Q_{\text{infiltración}}$
[m ³ /s]	[kg/m ³]	[J/kg°C]	[°C]	[°C]	[W]
0.0078	1.2	1004	30	26	37.59

Las cargas térmicas aportadas por transmisión se producen por la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior de la vivienda, produciéndose un flujo de calor a través de los cerramientos. Este flujo depende de la conductividad térmica de cada material. Se considera para los cálculos, ya que en verano es desfavorable al existir una temperatura mayor en el exterior de la deseada para el confort en el interior. Se calcula cada cerramiento por separado, como indica la tabla 11.

$$Q_{\text{transmisión}} = U \cdot S \cdot (T_e - T_i) \quad \text{Ec. (9)}$$

U: Transmitancia térmica del cerramiento W/m²K

S: Superficie del cerramiento m²

T_e: Temperatura exterior de diseño °C

T_i: Temperatura interior de diseño °C

Tabla 11. Cálculo ganancia por transmisión (Elaboración propia)

Cerramiento	U	S	T _e	T _i	Q _{parcial transmisión}
	[W/m ² K]	[m ²]	[°C]	[°C]	[W]
Piso	1.40	11.70	30	26	65.52
Ventanas	5.80	2.82	30	26	65.52
Puerta	1.78	1.85	30	26	13.15
Cielo	0.49	11.70	30	26	22.70
Muros	0.86	16.55	30	26	56.63
Q_T transmisión [W]					223.52

Grandes ganancias de calor se pueden generar por la radiación solar que incide en las viviendas. Se obtienen por medio de las superficies exteriores, que son las expuestas al Sol, donde la mayor ganancia es a través de los elementos traslucidos, como lo son las ventanas.

Por lo tanto, es de vital importancia la orientación de la vivienda, siendo para el hemisferio sur ideal que la parte frontal, que es la que generalmente posee una mayor superficie de ventanas, se encuentre orientada hacia el norte, dispuestas hacia el recorrido del Sol, logrando así maximizar las ganancias solares.

El cálculo es más complejo que los anteriores, teniendo formas de cálculo distintas para ventanas y el resto de los cerramientos (Carrier, 2009). Cabe destacar que la mayoría de los cálculos se realizan para las 15 h, hora a la que hace unos años era la de mayor radiación solar.

La radiación a través de las ventanas se obtiene con:

$$Q_{r \text{ ventanas}} = S \cdot G_{m\acute{a}x} \cdot F_{al} \cdot F_p \cdot F_l \quad \text{Ec. (10)}$$

S: Superficie de ventanas m²

G_{máx}: Aportaciones solares a través de vidrio sencillo kcal/hm². Tabla 15 (Carrier, 2009) para una orientación de 40° latitud sur para el mes de diseño, Enero

F_{al}: Factor de almacenamiento sobre carga térmica. Tabla 11 (Carrier, 2009) considerando una densidad aproximada de la vivienda entre 100 y 150 kg/m² para las 15 h con pantalla interior

F_p: Factor de protección de ventana. Tabla 16 (Carrier, 2009) para tipo de vidrio sencillo ordinario con persianas color medio

F_l: Factor de limpieza, como mínimo es 0.85, por lo tanto se ocupará el valor de 0.9 considerando que la atmosfera no está muy limpia. (Carrier, 2009)

Tabla 12. Cálculo ganancia por radiación a través de ventanas (Elaboración propia)

Orientación	S	G _{máx}	F _{al}	F _p	F _l	Q _r parcial ventana
	[m ²]	[kcal/hm ²]				[kcal/h]
Norte	2.45	187	0.50	0.65	0.90	134.01
Oeste	0.37	444	0.67	0.65	0.90	65.09
Este	0	444	0.14	0.65	0.90	0
Sur	0	65	1.00	0.65	0.90	0
Q_r T ventanas [kcal/h]						199.09
Q_r T ventanas [W]						231.39

La radiación a través de muros y techo se calcula con:

$$Q_{r\ m\ y\ t} = U \cdot S \cdot \Delta T_{eq} \quad Ec. (11)$$

U: Transmitancia térmica W/m²K

S: Superficie de ventanas m²

ΔT_{eq}: Diferencia de temperatura equivalente °C, con

$$\Delta T_{eq} = a + \Delta t_{es} + b \cdot \frac{R_s}{R_m} \cdot (\Delta t_{em} - \Delta t_{es}) \quad Ec. (12)$$

a: Corrección proporcionada por la tabla 20 (Carrier, 2009), teniendo en cuenta un incremento de temperatura distinto de 8 °C entre las temperaturas interior y exterior (esta última tomada a las 15 horas del mes considerado) y una variación de la temperatura seca exterior distinta de 11 °C

Δt_{es}: Diferencia equivalente de temperatura a la hora considerada para la pared a la sombra

Δt_{em}: Diferencia equivalente de temperatura a la hora considerada para la pared soleada, tabla 19 ó 20 (Carrier, 2009)

b: Coeficiente que considera el color de la cara exterior de la pared. Se considerará color medio con b=0.78

R_s: Máxima insolación kcal/hm², correspondiente al mes y latitud supuestos, a través de una superficie acristalada vertical para la orientación considerada (en el caso de pared); u horizontal (techo), tabla 15 ó 6 (Carrier, 2009)

R_m : Máxima insolación kcal/hm², en el mes de Julio a 40° de latitud Norte, a través de una superficie acristalada, vertical, para la orientación considerada (pared) u horizontal (techo), tabla 15 ó 6 (Carrier, 2009)

Tabla 13. Temperaturas para cálculo del factor “a” (Elaboración propia)

Temperaturas de diseño			Temperaturas día más cálido (7/1/18)		
T_e	T_i	$(T_e - T_i)$	$T_{máx}$	$T_{mín}$	$(T_{máx} - T_{mín})$
[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]
30	26	4	30	13.8	16

El incremento de temperatura entre las temperaturas interior y exterior da como resultado 4 °C y la variación de la temperatura seca exterior 16 °C. Por lo tanto el factor de corrección “a” es -6.4.

Tabla 14. Cálculo temperatura equivalente (Elaboración propia)

Orientación	a	ΔT_{es}	b	R_s	R_m	ΔT_{em}	ΔT_{eq}
		[°C]		[kcal/hm ²]	[kcal/hm ²]	[°C]	[°C]
Norte	-6.4	6.7	0.78	187	344	15.6	4.07
Oeste	-6.4	6.7	0.78	444	344	17.8	11.47
Este	-6.4	6.7	0.78	444	339	7.2	0.81
Sur	-6.4	6.7	0.78	65	339	6.7	0.30
Techo	-6.4	7.2	0.78	631	631	20	10.78

Tabla 15. Cálculo ganancia por radiación a través de muros y techo (Elaboración propia)

Orient	U	S	ΔT_{eq}	Q_r par m y t
	[W/m ² K]	[m ²]	[°C]	[W]
Norte	0.86	5.71	4.07	19.90
Oeste	0.86	7.88	11.47	77.39
Este	0.86	2.96	0.81	2.05
Sur	0.86	0.00	0.30	0.00
Techo	0.49	11.70	10.78	61.21

Tabla 16. Cálculo ganancia total por radiación (Elaboración propia)

Q_r T ventanas	Q_r T muros y techo	$Q_{radiación}$
[W]	[W]	[W]
231.39	160.55	391.94

Habiendo calculado todas las cargas externas que afectan a la vivienda, la tabla 17 muestra el total de calor aportado por infiltración, transmisión y radiación.

Tabla 17. Cálculo ganancia externa total (Elaboración propia)

$Q_{\text{infiltración}}$	$Q_{\text{transmisión}}$	$Q_{\text{radiación}}$	Q_e
[W]	[W]	[W]	[W]
37.59	223.52	391.94	653.05

Tabla 18. Cálculo ganancia global de calor (Elaboración propia)

Q_i	Q_e	Q_T
[W]	[W]	[W]
631	653.05	1284.05

Considerando las ganancias internas y externas, el calor total que recibe la vivienda es de 1284.05 W.

3. Diseño Sistema de Refrigeración

El requerimiento del sistema de refrigeración que se diseñará debe satisfacer la demanda de calor de 1284.05 W calculada anteriormente. De no ser igual o mayor a este valor y además cumpliendo los requerimientos de pérdidas de carga, el sistema no será técnicamente viable.

El diseño consiste en hacer circular agua potable por las superficies de la vivienda, a través de tuberías, con el fin de que el agua absorba el exceso de calor del ambiente para lograr una estancia con mejor confort térmico, donde es muy importante controlar y regular la humedad, lo cual va relacionado con la temperatura de impulsión del agua para evitar condensación en la estancia.

Debido a que en Chile no se cuenta con normativas para el sistema en estudio, la metodología de diseño se realizará según la Guía de Suelo Radiante realizada por Fegeca (2017) y la norma UNE-EN 1264:2009.

3.1 Determinación del punto de rocío

Este punto es de suma importancia, ya que se debe cautelar que la temperatura de la superficie donde se instalará el sistema, sea mayor a la temperatura de rocío para evitar efectos de condensación. La temperatura de rocío es la más baja temperatura a la que empieza a condensarse el vapor de agua contenido en el aire. Se produce en las superficies interiores de los elementos de construcción.

Para la determinación de la temperatura de rocío, se utiliza el diagrama psicrométrico de la figura 7, el cual representa un sistema de control basado en la humedad relativa.

Las condiciones de diseño son una temperatura interior de 26 °C y una humedad relativa de 50%. Recurriendo al gráfico, el valor de la temperatura de rocío es de 14,7 °C, por tanto, la temperatura del piso debe ser mayor a este valor.

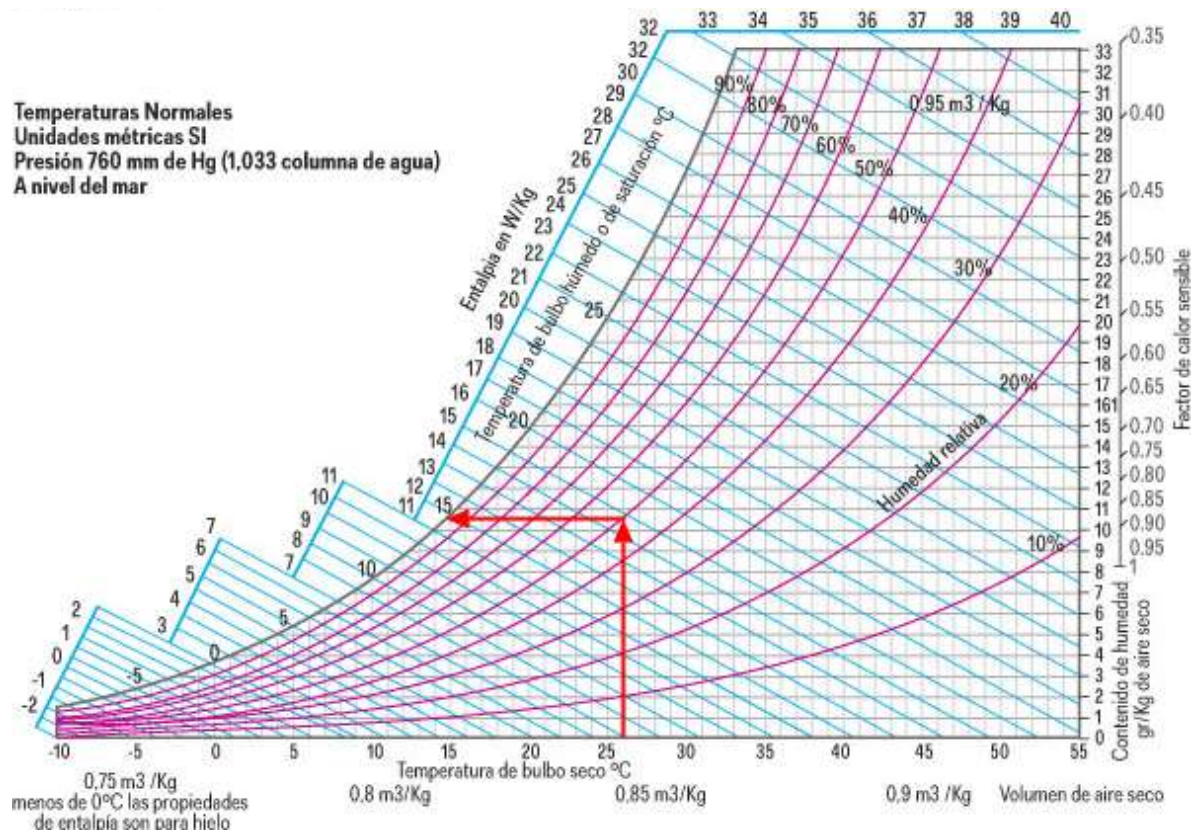


Figura 7. Diagrama psicrométrico (<https://www.mundohvacr.com>)

Temperatura media logarítmica

Teniendo la temperatura de rocío, se calcula la temperatura media logarítmica, que es la diferencia entre el agua y la estancia. Con la ecuación 13, dará como resultado la temperatura que limite la superficie de trabajo en el diagrama de curvas características, sin embargo, la UNE-EN 1264:2009 permite llegar a valores de $\Delta T_{\text{tubo}}/2$ más.

$$\Delta T_{c \text{ desv}} = \frac{T_i - T_{\text{imp}} - (T_i - T_{\text{sal}})}{\ln \left[\frac{T_i - T_{\text{imp}}}{T_i - T_{\text{sal}}} \right]} \quad \text{Ec. (13)}$$

$$\Delta T_{c \text{ desv}} = 8,96 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

T_i : Temperatura interior de diseño $^\circ\text{C}$

T_{imp} : Temperatura de impulsión del agua $^\circ\text{C}$, la cual debe estar por sobre la temperatura de rocío para no producir efectos de condensación

T_{sal} : Temperatura de salida del agua $^\circ\text{C}$, la UNE-UN-1264:2009 determina una diferencia entre la entrada y la salida menor o igual a $2 \text{ }^\circ\text{C}$ para la efectividad del sistema.

En la tabla 19 se muestran los valores y resultados.

Tabla 19. Temperatura media logarítmica (Elaboración propia)

T_i	T_{imp}	ΔT_{tubo}	T_{sal}	$\Delta T_{c \text{ desv}}$
[$^\circ\text{C}$]	[$^\circ\text{C}$]	[$^\circ\text{C}$]	[$^\circ\text{C}$]	[$^\circ\text{C}$]
26	16	2	18	8.96

Curvas Características

La UNE-UN-1264:2009 define distintos tipos de curvas para el diseño. Las curvas características básicas, que describen la relación entre la potencia térmica específica Q y la

diferencia de temperatura entre la sala y la superficie ($T_i-T_{s,m}$), se aplica a todos los sistemas de calefacción o refrigeración radiante y son indicadas en la tabla 20.

Tabla 20. Curvas características básicas (Elaboración propia)

Tipo curva	Q
Suelo refrescante	$Q=7 \cdot (T_i-T_{s,m})$
Techo refrescante	$Q=8.92 \cdot (T_i-T_{s,m})$
Pared radiante/refrescante	$Q=8 \cdot (T_i-T_{s,m})$

Las curvas límite son las que representan los límites de la densidad de flujo máximo y la diferencia de temperatura entre el fluido de refrigeración y la sala, tabla 21.

Tabla 21. Curvas características límite (Elaboración propia)

Paso	$q_{\text{lím}}$
[m]	[W]
0.05	$q=5.34 \cdot (\Delta T_{c \text{ desv}}+1)$
0.075	$q=5.07 \cdot (\Delta T_{c \text{ desv}}+1)$
0.1	$q=4.81 \cdot (\Delta T_{c \text{ desv}}+1)$
0.15	$q=4.33 \cdot (\Delta T_{c \text{ desv}}+1)$
0.2	$q=3.9 \cdot (\Delta T_{c \text{ desv}}+1)$
0.225	$q=3.7 \cdot (\Delta T_{c \text{ desv}}+1)$

Dando como resultado lo señalado en la tabla 22.

Tabla 22. Densidad de flujo límite de calor (Elaboración propia)

Paso	Factor	$(\Delta T_{c \text{ desv}}+1)$	$q_{\text{lím}}$
[m]		[°C]	[W/m ²]
0.05	5.34	9.96	53.20
0.075	5.07	9.96	50.51
0.1	4.81	9.96	47.92
0.15	4.33	9.96	43.14
0.2	3.90	9.96	38.86
0.225	3.70	9.96	36.86

Para que el sistema de diseño refrigerante funcione, la potencia de la vivienda debe ser menor o igual a la entregada en las curvas anteriores.

Se tiene cuatro opciones, presentadas en la tabla 23, sin embargo, sólo distribuyendo esta carga en el piso y todos los muros exteriores de la estancia estar-comedor, se logra un valor menor a lo que entregan las curva límite de diseño.

Tabla 23. Densidad de flujo de calor requerido (Elaboración propia)

Superficie	S	q
	[m ²]	[W/m ²]
Piso	11.70	109.75
Muro Oeste	16.55	77.60
Piso y Muro Oeste	19.58	65.57
Piso y Muros Exteriores	28.25	45.46

3.2 Diseño refrigerante suelo-muro

Teniendo los resultados, se pudo dilucidar que el diseño debe abarcar una gran superficie de la estancia. Se diseñará por separado para suelo y muros, ya que el factor para el cálculo de la potencia máxima varía para ambos tipos de superficies como se mencionó en la tabla 20.

Estructuras de diseño piso refrescante

Para piso, se elige el Tipo A de la normativa UNE-EN-1264:2009 (figura 8), que consiste en un sistema donde los tubos están embebidos total o parcialmente dentro de una capa de mortero (placa) entre el forjado y el revestimiento del suelo. Es el diseño más antiguo y económico.

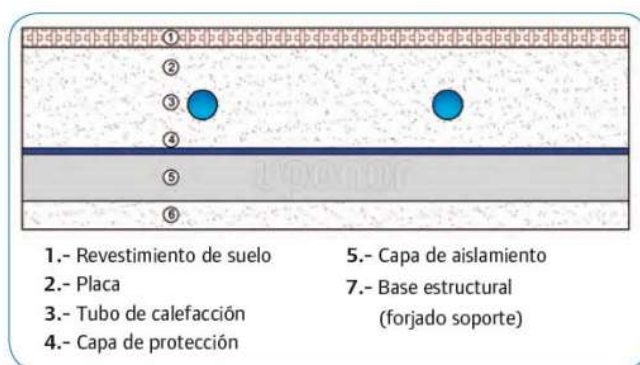


Figura 8. Estructura piso refrescante (UNE-UN-1264:2009)

El diámetro pequeño de la tubería es el recomendado según la UNE-EN-1264:2009 considerando que es para rehabilitación de vivienda, lo cual implica que el volumen de la estancia se verá reducido por el sistema, quedando la estructura de piso mostrada en la tabla 24.

Tabla 24. Sistema suelo refrescante (Elaboración propia)

Estructura	Tipo de material	Tipo de medida	Valor	Rt
			[m]	[m ² K/W]
Aislante porta tubos	PEX	Espesor	0.01	0.028
Tubería	PEX	Diámetro	0.016	0.006
Mortero autonivelante	Cemento	Espesor	0.05	0.036
Revestimiento	Cerámica	Espesor	0.006	0.003

Nota: La resistencia térmica de la tubería, corresponde a la calculada de acuerdo al espesor de ésta misma, el cual corresponde a 2 mm con una conductividad térmica de 0.35 m²K/W.

La forma de distribución de los tubos, queda definida en forma de espiral (figura 9).

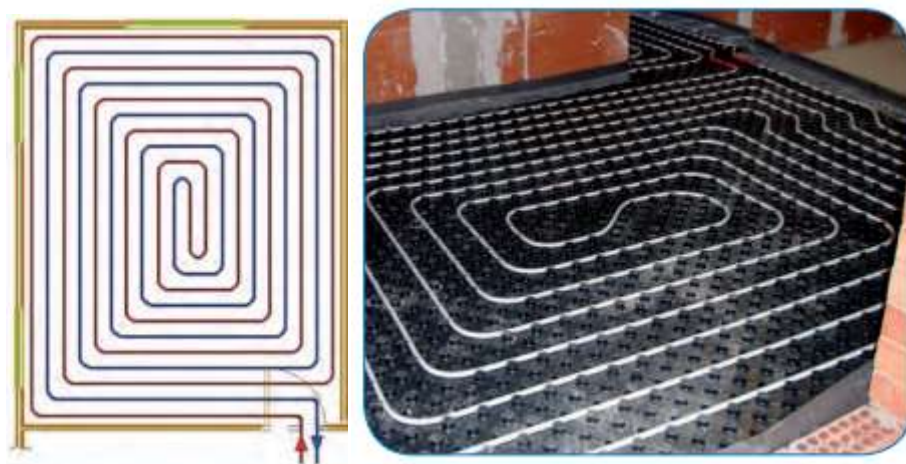


Figura 9. Distribución de tubería piso refrescante (UNE-UN-1264:2009)

Estructuras de diseño muro refrescante

Para muro se elige un tipo parecido al suelo, varía en que se reemplaza el mortero por planes yeso-cartón, lo cual sirve además de revestimiento (figura 10). La distribución se eligió en forma de serpentin, ya que en espiral la instalación se complicaría por los elementos puerta y ventanas. Las dimensiones se muestran en la tabla 25.

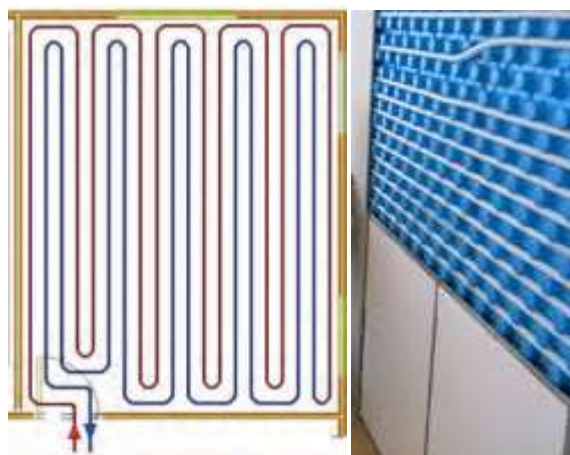


Figura 10. Distribución de tubería muro refrescante (UNE-UN-1264:2009)

Tabla 25. Sistema muro refrescante (Elaboración propia)

Estructura	Tipo de material	Tipo de medida	Valor	Rt
			[m]	[m ² K/W]
Aislante porta tubos	PEX	Espesor	0.01	0.028
Tubería	PEX	Diámetro	0.016	0.006
Yeso-cartón	Yeso-cartón	Espesor	0.03	0.12

Determinación temperatura media de la superficie del suelo

Corresponde a la temperatura que alcanzará el suelo según la densidad de flujo térmico demandada, la distribución de la carga total en la superficie del suelo o en los muros supera el valor límite. Se considera este último como valor de diseño, es decir 53,20 [W/m²] dado en la tabla 26, Uponor (2013) . La temperatura máxima del suelo, se obtiene de la curva característica básicas de la tabla 20.

Tabla 26. Temperatura media diseño muro-suelo (Elaboración propia)

Superficie	q	Factor	T _i	T _{s,m}
	[W/m ²]		[°C]	[°C]
Suelo	53.20	7	26	18.40
Muros	53.20	8	26	19.35

Determinación longitud de la tubería

Corresponde al largo que puede ser distribuido dentro de la superficie donde se instalará el sistema, respecto al paso o distancia entre tuberías dado por la curva límite, resultados en la tabla 27.

$$L = \frac{A_F}{e} + 2 \cdot l \quad \text{Ec. (14)}$$

A_F: Área a climatizar cubierta por el circuito [m²], incluyendo las bandas perimetrales

e: Separación entre tuberías [m], con un distancia máxima y recomendable de 15 cm

l: distancia entre el colector y el área a climatizar m. Debido a que el sistema no contará con colectores al ser un sistema que se abastecerá directo de la fuente de suministro de agua potable, no se considerará esta parte de la ecuación.

Tabla 27. Largo tubería diseño muro-suelo (Elaboración propia)

Superficie	A _F	E	L
	[m ²]	[m]	[m]
Suelo	11.7	0.05	234
Muros	16.5	0.05	330.94

3.3 Determinación caudal de agua

La potencia térmica de un sistema de refrigeración, está compuesto por una recepción térmica específica y una ganancia de calor hacia abajo, por lo que el caudal de diseño estaría dado por la siguiente expresión.

$$\dot{m} = \frac{A_F \cdot q}{\Delta T_{tubo} \cdot C_p} \cdot \left(1 + \frac{R_0}{R_u} + \frac{T_i - T_u}{q \cdot R_u} \right) \quad Ec. (15)$$

A_F: Superficie cubierta por el sistema, incluyendo las bandas perimetrales cuyo ancho puede ser la mitad de un espacio, pero no puede exceder de 0.15 m

q: densidad de flujo térmico

ΔT_{tubo}: Aumento de la temperatura del fluido, diferencia entre la temperatura de impulsión y retorno del agua

C_p: Calor específico del agua

R₀: Resistencia a la transmisión de calor parcial hacia arriba de la estructura del suelo

R_u: Resistencia a la transmisión de calor parcial hacia debajo de la estructura del suelo

T_i: Temperatura interior de diseño

T_u: Temperatura interior de una habitación bajo la habitación

$$R_0 = \frac{1}{\alpha} + R_{rev} + \frac{S_u}{\lambda_u} \quad Ec. (16)$$

$$\frac{1}{\alpha} = 0.093 \left[\frac{m^2K}{W} \right] \quad \text{Ec. (17)}$$

R_{rev} : Resistencia térmica del revestimiento del suelo

S_u : Espesor de la capa por encima del tubo, la cual debe ser como mínimo 30 mm

λ_u : Conductividad de la capa por encima del tubo

La resistencia térmica situada por debajo del sistema se toma de los valores de la figura 12. Para el caso en estudio, se tomará el valor correspondiente a una habitación directamente en el terreno.

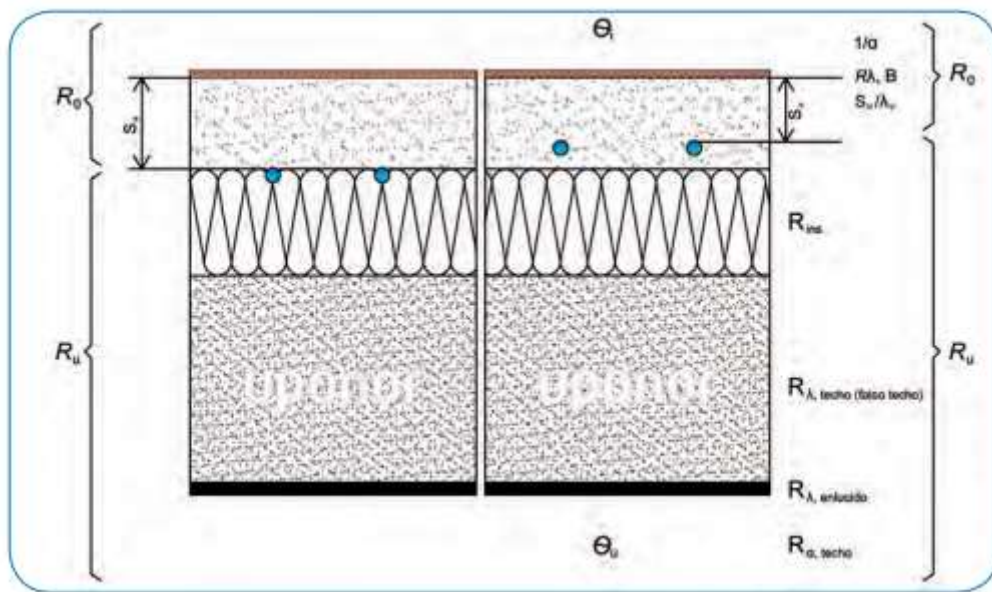


Figura 11. Distribución de piso refrescante (UNE-UN-1264:2009)

Tabla 28. Resistencia a la transmisión de calor parcial (Elaboración propia)

Superficie	$1/\alpha$	R_{rev}	S_u	λ_u	R_0
	$[m^2K/W]$	$[m^2K/W]$	$[m]$	$[W/mK]$	$[m^2K/W]$
Suelo	0.093	0.003	0.03	1.4	0.12
Muros	0.093	0	0.03	0.3	0.19

	Habitación calentada inferiormente	Habitación no calentada o calentada intermitentemente por debajo o directamente en el terreno*	Temperatura del aire exterior debajo		
			Temperatura exterior de diseño o nominal $T_d \geq 0^\circ\text{C}$	Temperatura exterior de diseño o nominal $0^\circ\text{C} > T_d \geq -5^\circ\text{C}$	Temperatura exterior de diseño o nominal $-5^\circ\text{C} > T_d \geq -15^\circ\text{C}$
Resistencia Térmica (m ² K/W)	0,75	1,25	1,25	1,5	2,0

Figura 12. Resistencia térmica por debajo del sistema (UNE-UN-1264:2009)

Con los resultados anteriores se puede encontrar el caudal de diseño de sistema, dado en la tabla 29.

Tabla 29. Caudal de agua (Elaboración propia)

Superficie	A _F	q	ΔT _{tubo}	C _p	R _o	R _u	T _i	T _u	ṁ
	[m ²]	[W/m ²]	[°C]	[J/kgK]	[m ² K/W]	[m ² K/W]	[°C]	[°C]	[kg/s]
Suelo	11.7	45.46	2	4186	0.12	1.25	26	1.25	0.097
Muros	16.5	45.46	2	4186	0.19	1.25	26	1.25	0.143
									ṁ_T [kg/s] 0.240

Lo cual da como resultado un caudal total de 14.4 l/min.

3.4 Verificación del sistema de refrigeración suelo-muro refrescante

Con el caudal y salto de temperatura de diseño podemos calcular el calor que es capaz de recibir el sistema según ecuación 18. Los resultados en la tabla

$$Q_{enfriamiento} = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T_{tubo} \tag{Ec. (18)}$$

Tabla 30. Potencia para enfriamiento (Elaboración propia)

Superficie	ṁ	C _p	ΔT _{tubo}	Q _{enf}
	[kg/s]	[J/kgK]	[°C]	[W]
Suelo	0.097	4186	2	813.66
Muros	0.143	4186	2	1195.96

Por lo tanto, el calor que puede absorber el sistema suelo-muros es de 2009,62 W, lo cual es mayor al calor demandado por la vivienda de 1284,05 W. Por lo tanto el sistema sería consistente.

La velocidad de flujo está dado por el despeje en la fórmula 19.

$$\dot{m} = \rho \cdot A \cdot v \quad \text{Ec. (19)}$$

ρ : Densidad del agua

A: Área transversal de la tubería

v: Velocidad del agua

Tabla 31. Velocidad del agua (Elaboración propia)

Superficie	\dot{m}	ρ	A	v
	[kg/s]	[kg/m ³]	[m ²]	[m/s]
Suelo	0.097	1000	0.000154	0.632
Muros	0.143	1000	0.000154	0.928
Suelo-Muro	0.240	1000	0.000154	1.560

La NCh2485Of.2000 indica que las velocidades de agua en las tuberías no deben exceder los 2,5 m/s para tuberías exteriores y de distribución principal 2 m/s en la red interior, por lo que el diseño estaría dentro de los parámetros permitidos.

Las pérdidas de carga se calcularon de acuerdo a la fórmula de FAIR-WHIPPLE-HSIAO para agua fría de la NCh2485Of.2000 (ecuación 20) . Los resultados en la tabla 32.

$$\Delta H = 676.745 * \frac{Q^{1.751}}{D^{4.753}} * L \quad \text{Ec. (20)}$$

Q: Caudal máximo probable l/min

D: Diámetro interior real mm

L: Largo de la tubería

Tabla 32. Pérdidas de carga (Elaboración propia)

Superficie	L	φ	Q	ΔH
[m ²]	[m]	[mm]	[l/min]	[m]
Suelo	234	18	5.83	3.75
Muro	330.94	18	8.57	10.41
Suelo-muro	564.94	18	14.40	44.11

4. ANÁLISIS DE COSTOS

Los costos fueron analizados de acuerdo a la inversión inicial del proyecto y respecto a las partidas más relevantes, los que se indican en la tabla 32.

Tabla 33. Presupuesto diseño suelo-muro (Elaboración propia)

Elemento	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Subtotal	Fuente
Suelo					
Aislante porta tubos	[m ²]	10	\$ 11,506	\$ 115,060	Cype (2018)
Tubería	[m]	1	\$ 26,890	\$ 26,890	Sodimac (2018)
Mortero					
Autonivelante	[m ³]	4	\$ 5,690	\$ 24,386	Construmart (2018)
Revestimiento	[caja]	8	\$ 5,955	\$ 47,640	Sodimac (2018)
				\$ 213,976	
Muro					
Aislante porta tubos	[m ²]	33	\$ 11,506	\$ 379,698	Cype (2018)
Tubería	[m]	2	\$ 26,890	\$ 44,629	Sodimac (2018)
Yeso-Cartón	[m ²]	14	\$ 15,990	\$ 220,489	Sodimac (2018)
				\$ 644,816	
Mano de obra					
Instalación	[m ²]	29	\$ 90,000	\$ 2,610,000	

completa				
			Presupuesto Total	\$ 3,468,792

Los valores entregados, dan cuenta de un costo elevado para la implementación del sistema, los cuales serán analizados con mayor detalle en el análisis de resultados.

5. ANALISIS DE RESULTADOS

Respecto a las cargas térmicas:

- Debido a que el proyecto trata del análisis de un sistema de refrigeración y se deben considerar las cargas internas como externas que aportan calor a la vivienda, sólo se podría trabajar en estas últimas para reducir la potencia total de 1284.05 W. Sin embargo, mejorando los niveles de transmitancias térmicas de los elementos de la envolvente, tampoco se llega a resultados deseados, ya que sólo se reducirían alrededor de 100 W.

Respecto al diseño:

- La temperatura que alcanzaría el piso (18,4°C) y los muros (19,35°C) no presentarían problemas de condensación al ser mayores a la temperatura de 14,7°C correspondiente a la temperatura de rocío (en verano).
- La densidad de flujo de calor que limita el diseño, se restringe por la temperatura media logarítmica, ya que esta última depende de la temperatura de impulsión del agua que viene de la red, con un valor promedio en temporada de verano de 16 °C, la cual no puede ser modificada. En circuito cerrado y automatizado, para este tipo

de sistemas de refrigeración invisible a través de las superficies de una vivienda, generalmente se trabaja con una temperatura de impulsión de alrededor de 13°C, donde la UNE-UN-1264:2009 establece un salto térmico de 2°C para que este tipo de sistemas de refrigeración sea eficiente. En esta investigación, tampoco se puede asegurar este salto térmico, ya que depende del consumo de agua de los integrantes de la vivienda y su frecuencia en la demanda diaria.

- Con lo anterior, para que el diseño lograra suplir la cantidad total de aportes de calor, se debió considerar de las curvas límite, un paso entre tubos de 5 cm para piso y muros, aunque la UNE-UN-1264:2009 recomienda un paso de 10 cm. Esto podría alcanzar ese valor, sólo modificando la temperatura de impulsión del agua.
- La longitud de las tuberías, al depender del área de las superficies y del paso entre tubos, da como resultado valores elevados (234 y 331m). Esto ya implica una restricción, ya que lo recomendable es realizar el circuito sin uniones para evitar su mala ejecución, lo que podría provocar filtraciones a futuro. En el mercado es posible encontrar tuberías de longitud máxima 200 m.
- El diámetro de 16 mm de la tubería es el recomendado para proyectos de rehabilitación como este. Sería contraproducente aumentarlo, ya que reduciría aún más el volumen de la estancia elegida a climatizar.
- En la verificación del diseño, se llegó a que con los caudales de agua obtenidos se logra un valor de 2009,62 W, lo cual al ser mayor que la potencia aportada por las cargas térmicas totales, cumpliría con el fin de refrigerar la vivienda y llegar a los niveles de confort esperados. La velocidad del agua también está dentro de los rangos permitidos por la NCh2485.Of2000, sin embargo, para que el sistema sea eficiente, se debería asegurar que esa agua esté circulando constantemente.
- Finalmente, en el cálculo de pérdidas de carga, la NCh2485.Of2000 establece que el la presión mínima dinámica aguas abajo del arranque domiciliario en la llave de paso después del medidor, debe ser de 14 m.c.a (1,373 bar) para el consumo máximo diario, en donde la presión de salida en el artefacto más desfavorable debe ser al menos 4 m.c.a. (0,392 bar). Con los resultados obtenidos se puede dilucidar que el sistema sólo sería posible utilizando la instalación en el piso, ya que con una pérdida de 12,39 m aún se puede dar solución, sin embargo, como se había evaluado

en el diseño, sólo el piso no sería suficiente para satisfacer las necesidades de la vivienda y llegar a la zona de confort.

- Con esto último, se puede concluir que técnicamente el sistema no es viable.

Respecto a los costos involucrados:

- De igual forma se analizaron los costos de inversión global al tratarse de prefactibilidad, es decir, con los materiales más relevantes y la mano de obra analizada por metro cuadrado. El valor total de \$3.468.792.- ya es un costo elevado, donde incluso si se vieran luces de que puede llevarse a cabo, hoy en día hay opciones más económicas de refrigeración, como los son por ejemplo los Split que bordean los \$200.000.- (Enel, 2018) con doble función para frío y calor, contando con refrigeración ecológica y abarcando una capacidad de refrigeración de 2660 W.
- Por lo anterior, el sistema económicamente, tampoco es viable

6. CONCLUSIONES

Para finalizar el presente estudio, se puede concluir lo siguiente:

- Al tratarse del estudio de una vivienda ya construida, se cuenta desde un principio con restricciones al diseño, teniendo que ver con la materialidad de la construcción que influye directamente en la cantidad de calor aportada. Como se vio en los cálculos de transmitancias térmicas, no todos los complejos estructurales cumplían con la Reglamentación Térmica. Al cumplir, podría reducir la densidad de flujo de calor aportado a la vivienda.
- El diseño del sistema de refrigeración se realizó para poder cumplir con la potencia de calor que se debía mitigar, lo cual se lograba sólo utilizando el piso y todos los muros perimetrales de la estancia estar-comedor elegida. Sin embargo hay recomendaciones de la UNE-UN-1264:2009 que no se consideraron. Primero, el paso entre tubos, donde se trabajó con una separación de 5 cm, debiendo ser como mínimo 10 cm. Segundo, el largo de la tubería, el cual se recomienda no ser mayor

de lo disponible en el mercado para evitar efectos de filtraciones con el paso del tiempo por mala unión de éstas.

El sistema diseñado cumplió con la capacidad de refrigeración requerida, sin embargo, al trabajarse con tuberías de 16 mm de diámetro para no reducir tanto el volumen de la estancia, no cumple con la normativa al analizar las pérdidas de carga, siendo el sistema técnicamente no viable.

- Económicamente, se pudo concluir que no es recomendable realizar el proyecto debido a los altos costos de inversión involucrados. Incluso al haber sido viable técnicamente, la idea de una alternativa nueva es poder vender el producto a valores tentativos para las personas que quieran adquirir una nueva solución.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Cámara Chilena de Refrigeración y Climatización, A.G. (2007), “Reglamento de instalaciones térmicas en los edificios en Chile, RITCH” [En Línea], <http://www.cchryc.cl/biblioteca-camara/biblioteca-camara-2016-08-002.pdf>
- Carrier (2009), “Acondicionamiento térmico”
- Consaburum (2015), “Manual de cálculo de cargas térmicas” [En Línea], <https://renovablesconsaburum.files.wordpress.com/2015/09/tem2-cc3a1lculo-de-cargas-tc3a9rmicas.pdf>
- Fegeca (2017), “Guía suelo radiante” [En Línea], <http://www.fegeca.com/docs/fegeca-guia-suelo-radiante.pdf>

- Hinojosa Mateo (2016), “Evaluación de un sistema de calefacción por suelo radiante” [En Línea],
https://orff.uc3m.es/bitstream/handle/10016/25352/PFC_Antonio_Hinojosa_Mateo.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Lorbada Gordón (2015), “Climatización de un edificio público mediante suelo radiante/refrescante” [En Línea], <https://core.ac.uk/download/pdf/44311616.pdf>
- MINVU (2007). “Listado oficial de soluciones constructivas para acondicionamiento térmico” [En Línea],
[file:///C:/Users/Valeria/Downloads/RE3582_E3%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Valeria/Downloads/RE3582_E3%20(1).pdf)
- MINVU (2007). “Manual de aplicación Reglamentación Térmica” [En Línea],
http://www.minvu.cl/opensite_20070417155724.aspx
- MINVU (2016). “Manual de procedimientos para viviendas nuevas del sistema de calificación energética de viviendas en Chile” [En Línea],
<http://www.calificacionenergetica.cl/media/Resolución-Ex.-7250-15.11.16-aprueba-manual-CEV.pdf>
- MINVU (2017), “Memoria cálculo de transmitancia térmica soluciones constructivas en madera” [En Línea],
<http://www.madera21.cl/wpcontent/uploads/2017/12/Memoria-cálculo-térmico-muro-33x94mm-@-40cm.pdf>
- NCh2485.Of2000. “Instalaciones domiciliarias de agua potable-Diseño, cálculo y requisitos de las redes interiores”.
- NCh853.Of2007. “Acondicionamiento térmico-Envolvente térmica de edificios-Cálculo de resistencias y transmitancias térmicas”.

- Santos Jara (2013), “Evaluación de un sistema de calefacción actual de una maestranza y su ampliación para climatizar en época de verano” [En Línea], http://repobib.ubiobio.cl/jspui/bitstream/123456789/401/1/Santos_Jara_Juan_Esteban.pdf
- UNE-EN ISO 7730 (2006), “Ergonomía del ambiente térmico. Determinación analítica e interpretación del bienestar térmico mediante el cálculo de los índices PMV y PPD y los criterios de bienestar térmico local”
- UNE-EN-1264 (2009), “Sistemas de calefacción y refrigeración de circulación de agua integrados en superficies”
- Uponor (2013), “Manual técnico de climatización invisible” [En Línea], <file:///C:/Users/Valeria/Downloads/manual-tecnico-suelo-radiante.pdf>

ANEXO

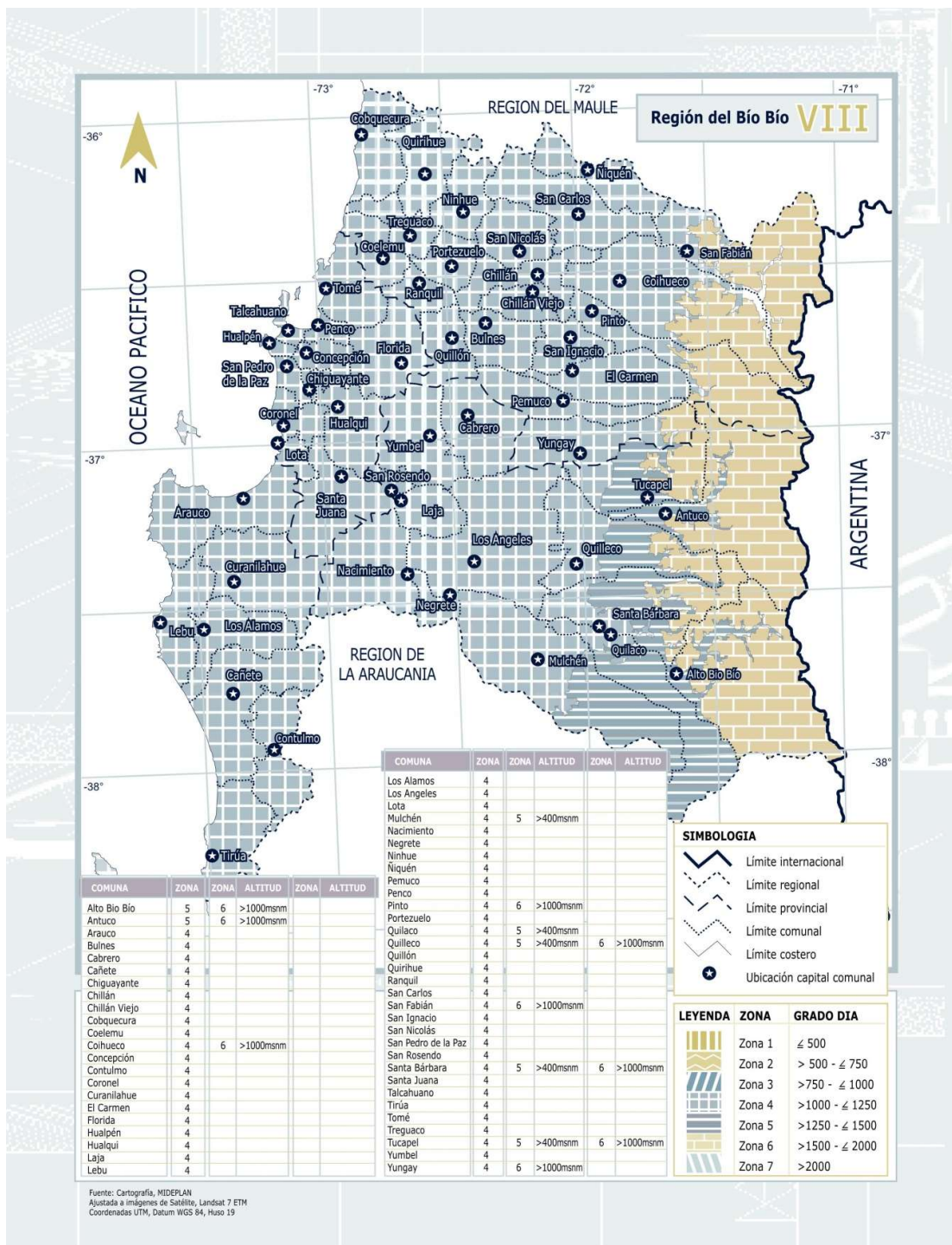


Figura 1. Mapa de Zonificación Térmica, correspondiente a la Octava Región (MINVU, 2007)

Aislación del piso o radier	Resistencia térmica total, R_T $m^2 \times ^\circ C/W$	Transmitancia térmica lineal, K_L $W/(m \times K)$
Corriente	0,15 - 0,25	1,4
Medianamente aislado	0,26 - 0,60	1,2
Aislado	> 0,60	1,0

Figura 2. Transmitancia térmica lineal, según aislación del piso considerado (NCh853.Of2007)

Tipo	Metal sin RPT	Al con RPT	PVC	Madera
VS	5.80	5.33	5.14	4.97
DVH 6 mm	3.58	3.28	3.17	3.10
DVH 9 mm	3.35	3.07	2.97	2.90
DVH 12 mm	3.20	2.94	2.84	2.79
DVH 15 mm o más	3.16	2.89	2.80	2.75

Figura 3. Valores de U para ventanas DVH (MINVU, 2007)

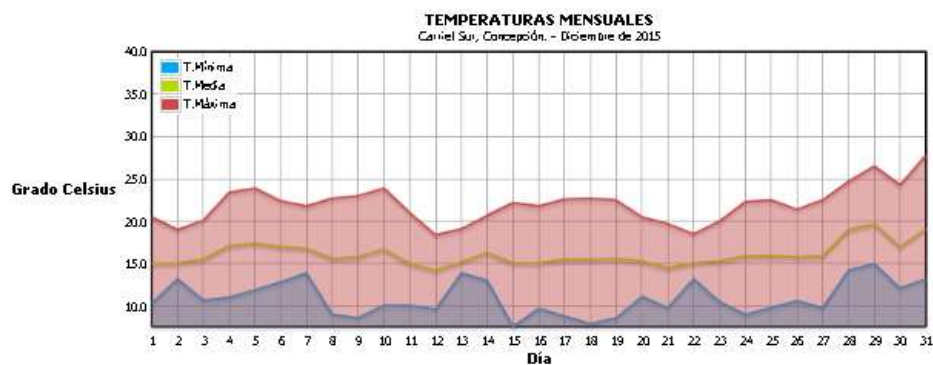
CONDICIONES PARA EL CONFORT TÉRMICO SEGÚN UNE-EN ISO 7730		
CONDICIONES	INVERNALES	VERANIEGAS
TEMPERATURA OPERATIVA	20° - 24°	23° - 26°C
VELOCIDAD DEL AIRE	< 0,15 m/s	< 0,25 m/s
HUMEDAD RELATIVA	50%	50%
RESISTENCIA TÉRMICA DEL VESTIDO	1 clo	0,5 clo

Figura 4. Condiciones para el confort térmico (UNE-EN ISO 7730, 2006).

ACTIVIDAD REALIZADA	28°C		27°C		26°C		24°C	
	SENSIBLE	LATENTE	SENSIBLE	LATENTE	SENSIBLE	LATENTE	SENSIBLE	LATENTE
SENTADO EN REPOSO. ESCUELA	45	45	50	40	55	35	60	30
SENTADO TRABAJO LIGERO. INSTITUTO	45	55	50	50	55	45	60	40
OFICINISTA, ACTIVIDAD. LIGERA.	45	70	50	65	55	60	60	50
PERSONA DE PIE. TIENDA	45	70	50	75	55	70	65	60
PERSONA QUE PASEA. BANCO.	45	80	50	75	55	70	65	60
TRABAJO SEDENTARIO	50	90	55	85	60	80	70	70
TRABAJO LIGERO TALLER	50	140	55	135	60	130	75	115
PERSONA QUE CAMINA	50	160	60	155	70	145	85	130
PERSONA QUE BAILA	70	185	75	175	85	170	95	155
PERSONA EN TRABAJO. PENOSO.	115	250	120	250	125	245	130	230

Figura 5. Condiciones para el confort térmico (UNE-EN ISO 7730, 2006).

Figura 6. Temperaturas últimas 3 temporadas de verano (MCD)



Carriel Sur, Concepción.
Temperatura de Diciembre de 2015
Código Nacional :360019

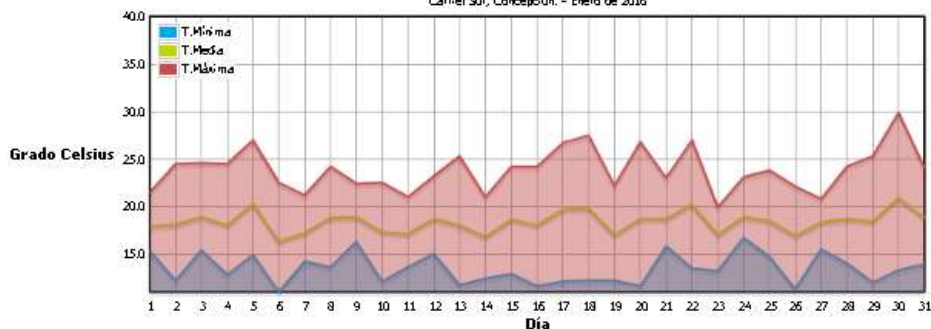
Día	Media	Mínima	Hora	Máxima	Hora
1	15,0	10,3	06:33	20,5	15:13
2	15,1	13,2	06:08	19,0	16:09
3	15,5	10,7	06:18	20,1	15:43
4	17,1	11,0	06:25	23,4	14:33
5	17,4	11,9	04:16	23,9	14:05
6	17,0	12,8	06:22	22,4	15:02
7	16,8	13,9	06:36	21,8	13:53
8	15,6	9,0	06:49	22,7	13:33
9	15,8	8,6	06:26	23,0	17:13
10	16,7	10,1	06:10	23,9	16:24
11	15,0	10,1	06:06	21,0	14:40
12	14,2	9,6	06:17	18,4	15:16
13	15,2	13,9	06:17	19,1	15:01
14	16,3	13,0	01:25	20,7	17:33
15	15,1	7,6	06:39	22,2	16:42
16	15,1	9,7	05:53	21,8	14:56
17	15,5	8,8	02:52	22,6	21:00
18	15,5	7,9	06:13	22,7	15:50
19	15,6	8,6	05:07	22,5	16:06
20	15,3	11,1	06:27	20,5	16:45
21	14,5	9,8	06:15	19,7	16:44
22	15,1	13,2	06:34	18,5	15:33
23	15,3	10,5	06:47	20,0	15:46
24	15,9	9,0	05:54	22,3	16:31
25	15,9	9,8	05:36	22,5	15:22
26	15,8	10,6	06:08	21,4	15:29
27	15,9	9,8	06:37	22,5	16:42
28	19,0	14,2	05:55	24,7	13:19
29	19,7	15,0	04:08	26,5	15:59
30	17,0	12,1	06:26	24,3	14:36
31	19,1	13,2	06:26	27,8	17:39
Promedio Mensual	16,1	10,9		22,0	
Absoluta Mensual		7,6	El día 15	27,8	El día 31

Unidad Medición de Temperatura : Grado Celsius Unidad Medición Horas : Hora Local.



TEMPERATURAS MENSUALES

Carriel Sur, Concepción. - Enero de 2016



Carriel Sur, Concepción. Temperatura de Enero de 2016						
Código Nacional :360019						
Día	Media	Mínima	Hora	Máxima	Hora	
1	17.9	15.3	04:34	21.5	17:18	
2	18.1	12.2	06:36	24.5	13:45	
3	18.9	15.4	03:31	24.6	16:46	
4	18.0	12.8	06:20	24.5	17:27	
5	20.3	14.9	00:47	27.0	16:09	
6	16.3	11.0	06:48	22.5	14:36	
7	17.2	14.2	06:19	21.2	15:24	
8	18.8	13.6	01:30	24.2	14:11	
9	18.9	16.3	01:01	22.4	15:12	
10	17.3	12.1	06:54	22.5	14:54	
11	17.1	13.6	03:18	21.0	15:58	
12	18.7	15.0	00:07	23.2	16:30	
13	18.0	11.7	05:07	25.3	14:25	
14	16.8	12.4	02:39	21.0	17:29	
15	18.6	12.9	01:56	24.2	15:59	
16	18.0	11.6	06:57	24.2	15:12	
17	19.7	12.1	06:26	26.7	15:58	
18	19.8	12.2	06:27	27.5	17:30	
19	17.0	12.2	05:39	22.2	15:48	
20	18.7	11.6	07:07	26.8	14:01	
21	18.7	15.8	23:43	23.0	14:30	
22	20.2	13.5	06:24	27.0	16:40	
23	17.0	13.2	06:02	19.9	14:17	
24	18.9	16.7	05:34	23.1	16:05	
25	18.5	14.7	04:53	23.8	16:12	
26	16.9	11.3	06:14	22.1	15:37	
27	18.3	15.5	03:42	20.8	16:18	
28	18.7	14.0	06:23	24.2	17:52	
29	18.4	12.0	06:38	25.3	14:47	
30	20.9	13.3	06:51	29.9	16:32	
31	18.8	13.9	07:08	24.1	13:18	
Promedio Mensual	18.4	13.5		23.9		
Absoluta Mensual		11.0	El día 6	29.9	El día 30	

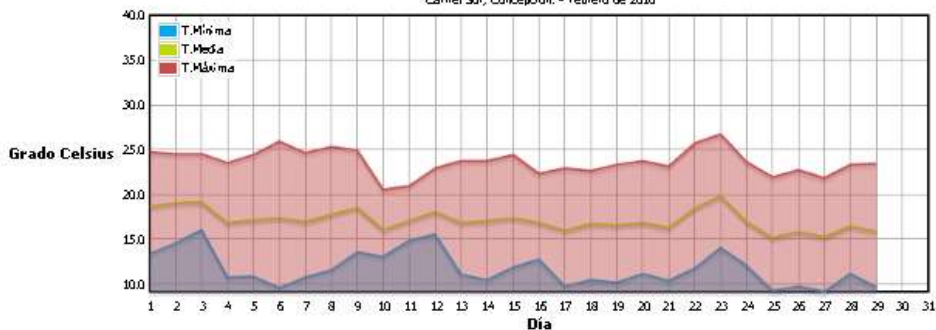
Unidad Medición de Temperatura : Grado Celsius

Unidad Medición Horas : Hora Local



TEMPERATURAS MENSUALES

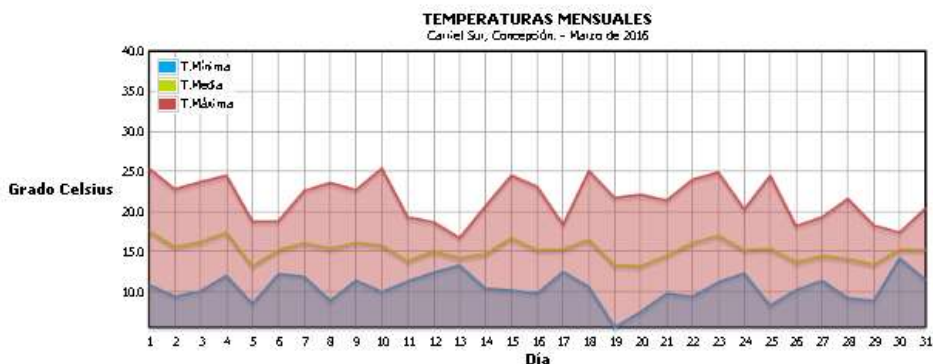
Carriel Sur, Concepción. - Febrero de 2016



Carriel Sur, Concepción. Temperatura de Febrero de 2016						
Código Nacional :360019						
Día	Media	Mínima	Hora	Máxima	Hora	
1	18.6	13.3	05:36	24.7	14:12	
2	19.0	14.5	06:30	24.5	16:36	
3	19.1	16.0	05:36	24.5	14:58	
4	16.8	10.7	06:58	23.5	17:47	
5	17.1	10.8	07:25	24.4	15:14	
6	17.3	9.5	06:29	25.9	16:46	
7	16.9	10.7	07:31	24.6	16:14	
8	17.7	11.5	07:29	25.3	16:52	
9	18.5	13.5	06:24	24.9	17:45	
10	16.0	13.0	04:34	20.5	16:40	
11	17.0	14.8	01:28	20.9	15:27	
12	18.0	15.5	07:37	22.9	14:42	
13	16.8	11.0	07:27	23.7	14:56	
14	17.0	10.4	07:24	23.7	13:59	
15	17.3	11.8	09:00	24.4	16:51	
16	16.8	12.7	07:24	22.3	15:13	
17	15.9	9.7	06:33	22.9	14:54	
18	16.7	10.4	07:25	22.6	13:42	
19	16.5	10.1	07:25	23.3	15:56	
20	16.8	11.1	05:16	23.7	16:19	
21	16.2	10.3	07:40	23.1	16:46	
22	18.4	11.7	05:20	25.7	16:16	
23	19.8	14.0	07:10	26.7	13:35	
24	16.9	12.0	04:53	23.6	15:48	
25	15.1	9.2	09:00	21.9	16:04	
26	15.8	9.7	06:33	22.7	15:42	
27	15.2	9.1	07:57	21.8	15:49	
28	16.4	11.1	06:39	23.3	15:47	
29	15.8	9.6	21:41	23.4	17:02	
30						
31						
Promedio Mensual	17.1	11.6		23.6		
Absoluta Mensual		9.1	El día 27	26.7	El día 23	

Unidad Medición de Temperatura : Grado Celsius

Unidad Medición Horas : Hora Local.

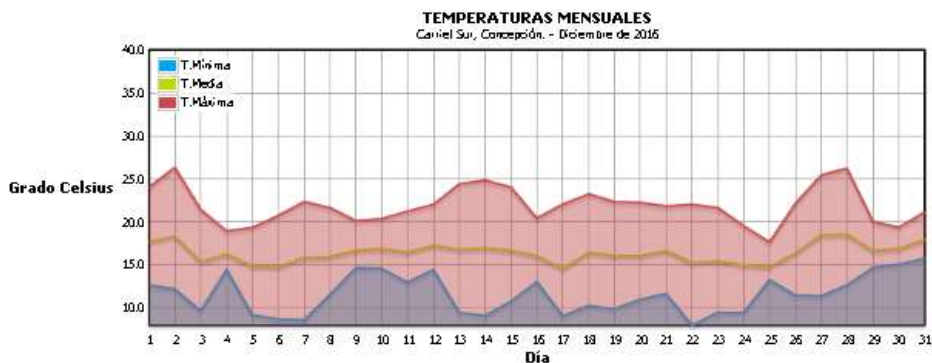


Carriel Sur, Concepción.
Temperatura de Marzo de 2016

Código Nacional :360019

Día	Media	Mínima	Hora	Máxima	Hora
1	17.6	10.9	06:35	25.4	14:29
2	15.6	9.4	07:38	22.8	15:53
3	16.2	10.1	07:35	23.7	16:42
4	17.4	12.0	06:36	24.5	16:20
5	13.2	8.5	06:45	18.8	10:43
6	15.2	12.2	01:14	18.8	17:46
7	16.1	11.9	07:32	22.6	15:54
8	15.4	8.9	07:35	23.6	16:35
9	16.1	11.4	06:33	22.7	14:48
10	15.8	10.0	07:55	25.4	16:04
11	13.8	11.3	06:07	19.3	14:51
12	15.1	12.4	21:27	18.7	15:17
13	14.2	13.3	04:47	16.7	17:47
14	14.7	10.4	02:01	20.7	17:20
15	16.7	10.2	06:27	24.5	16:01
16	15.2	9.8	07:59	23.1	13:45
17	15.3	12.5	01:03	18.4	12:45
18	16.5	10.6	03:54	25.1	15:44
19	13.3	5.6	08:05	21.7	15:24
20	13.2	7.5	07:04	22.1	11:55
21	14.5	9.8	05:04	21.4	17:40
22	16.1	9.4	04:28	24.0	16:09
23	17.0	11.2	06:22	24.9	15:05
24	15.2	12.3	08:25	20.3	17:09
25	15.4	8.3	06:16	24.5	17:36
26	13.7	10.2	05:43	18.2	14:07
27	14.5	11.4	02:28	19.3	12:31
28	14.1	9.2	08:01	21.6	14:22
29	13.4	8.9	05:04	18.3	15:48
30	15.3	14.2	01:59	17.4	14:19
31	15.2	11.5	08:21	20.4	16:07
Promedio Mensual	15.2	10.5		21.6	
Absoluta Mensual		5.6	El día 19	25.4	El día 1

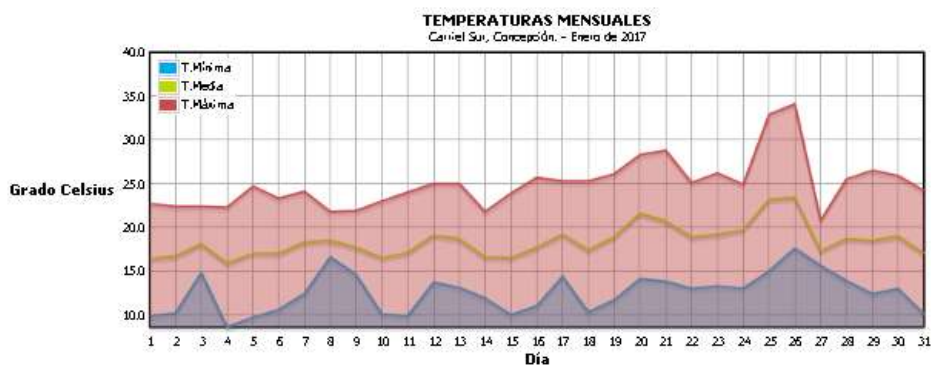
Unidad Medición de Temperatura : Grado Celsius Unidad Medición Horas : Hora Local.



Cariel Sur, Concepción.
Temperatura de Diciembre de 2016
Código Nacional :360019

Día	Media	Mínima	Hora	Máxima	Hora
1	17.6	12.6	05:47	24.0	16:24
2	18.3	12.1	06:00	26.3	14:31
3	15.3	9.6	05:59	21.4	15:46
4	16.2	14.4	21:59	18.9	17:31
5	14.8	9.1	06:39	19.3	15:23
6	14.7	8.6	06:12	20.7	14:28
7	15.8	8.5	06:41	22.3	16:31
8	15.9	11.5	05:16	21.6	11:33
9	16.6	14.6	08:24	20.1	15:30
10	16.8	14.5	06:06	20.3	16:34
11	16.4	12.9	06:35	21.2	16:08
12	17.2	14.4	06:59	22.0	16:01
13	16.7	9.4	06:07	24.4	13:38
14	16.9	9.0	04:34	24.8	11:53
15	16.6	10.7	04:54	24.0	12:53
16	16.0	13.0	21:00	20.4	12:00
17	14.5	9.0	03:32	22.0	12:30
18	16.4	10.2	04:45	23.2	16:30
19	16.0	9.8	04:30	22.3	14:10
20	16.0	10.9	04:05	22.2	14:38
21	16.6	11.6	07:11	21.8	15:40
22	15.2	7.9	06:38	22.0	14:30
23	15.4	9.4	06:27	21.6	14:23
24	14.9	9.4	07:01	19.5	18:16
25	14.7	13.2	22:43	17.6	15:59
26	16.3	11.4	05:25	22.1	15:52
27	18.4	11.3	03:37	25.4	14:46
28	18.5	12.6	09:00	26.2	14:13
29	16.6	14.6	04:40	20.0	15:08
30	16.8	15.0	03:35	19.3	15:29
31	17.9	15.7	21:43	21.1	11:35
Promedio Mensual	16.3	11.5		21.9	
Absoluta Mensual		7.9	El día 22	26.3	El día 2

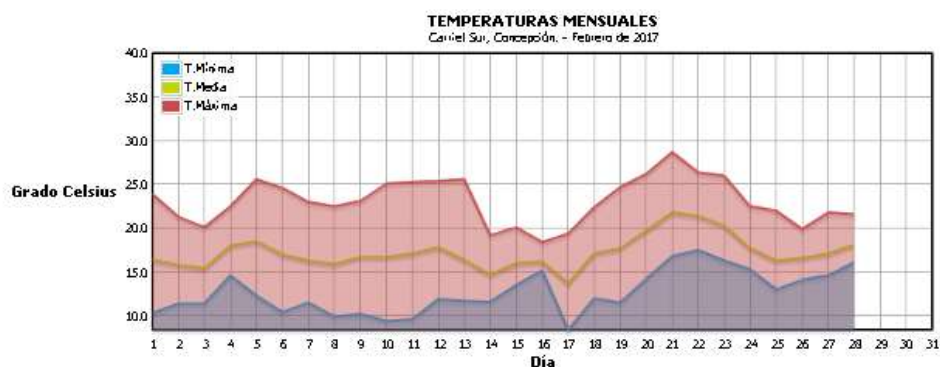
Unidad Medición de Temperatura : Grado Celsius Unidad Medición Horas : Hora Local.



Cariel Sur, Concepción.
Temperatura de Enero de 2017
Código Nacional :360019

Día	Media	Mínima	Hora	Máxima	Hora
1	16.4	9.9	06:38	22.7	15:12
2	16.7	10.2	07:01	22.4	13:35
3	18.1	14.8	05:57	22.4	14:32
4	15.9	8.6	06:08	22.3	14:36
5	17.0	9.7	06:04	24.7	14:38
6	17.0	10.6	06:57	23.3	15:20
7	18.3	12.4	07:07	24.1	15:03
8	18.5	16.6	07:15	21.8	12:26
9	17.7	14.6	07:33	21.9	14:20
10	16.5	10.1	06:59	23.0	16:12
11	17.1	9.9	07:09	24.0	14:54
12	19.1	13.7	06:01	25.0	14:15
13	18.7	13.1	06:34	25.0	16:35
14	16.6	11.9	06:35	21.8	18:32
15	16.5	10.0	05:25	23.9	15:16
16	17.7	11.0	07:07	25.7	15:35
17	19.2	14.4	20:37	25.3	14:55
18	17.4	10.3	06:01	25.3	15:14
19	18.9	11.7	06:40	26.1	14:38
20	21.6	14.1	06:29	28.3	14:48
21	20.7	13.8	06:57	28.8	14:43
22	18.9	13.0	06:28	25.1	17:17
23	19.2	13.3	06:37	26.2	14:49
24	19.7	13.0	07:00	24.9	13:08
25	23.2	15.0	21:01	32.9	17:28
26	23.4	17.6	07:06	34.1	12:13
27	17.3	15.6	22:07	20.8	16:52
28	18.7	13.9	02:17	25.5	19:01
29	18.5	12.4	06:42	26.5	16:29
30	19.0	13.0	07:18	25.9	16:16
31	17.0	10.1	07:22	24.2	13:25
Promedio Mensual	18.4	12.5		25.0	
Absoluta Mensual		8.6	El día 4	34.1	El día 26

Unidad Medición de Temperatura : Grado Celsius Unidad Medición Horas : Hora Local.

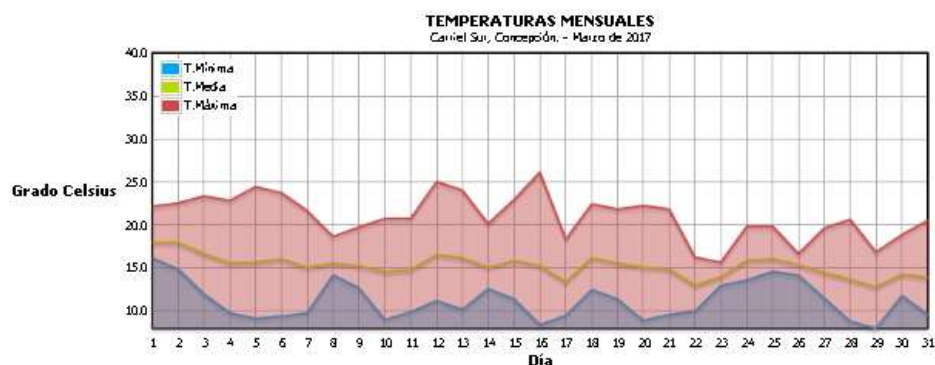


Carriel Sur, Concepción.
Temperatura de Febrero de 2017

Código Nacional :360019

Día	Media	Mínima	Hora	Máxima	Hora
1	16,4	10,3	07:03	23,9	16:34
2	15,8	11,4	06:37	21,3	15:38
3	15,4	11,4	06:38	20,1	15:23
4	18,0	14,6	00:52	22,5	15:36
5	18,5	12,3	03:58	25,6	15:23
6	17,0	10,4	07:26	24,6	14:51
7	16,3	11,5	07:33	23,0	15:46
8	15,9	9,9	07:16	22,5	14:02
9	16,7	10,2	07:21	23,1	14:41
10	16,7	9,4	07:23	25,1	15:18
11	17,1	9,6	06:57	25,3	16:17
12	17,8	11,9	07:26	25,4	15:07
13	16,4	11,7	06:14	25,6	14:15
14	14,7	11,6	04:05	19,2	16:53
15	16,0	13,5	06:22	20,1	18:04
16	16,2	15,2	02:16	18,4	13:20
17	13,7	8,4	06:58	19,4	15:13
18	17,1	12,0	02:54	22,4	16:09
19	17,7	11,5	07:27	24,7	14:13
20	19,7	14,2	06:59	26,2	15:27
21	21,8	16,8	05:28	28,7	15:21
22	21,4	17,5	05:17	26,4	14:05
23	20,3	16,3	06:11	26,0	16:07
24	17,7	15,3	07:47	22,5	10:35
25	16,3	13,0	23:28	22,0	11:00
26	16,6	14,1	22:07	19,9	15:06
27	17,1	14,6	05:09	21,8	16:27
28	18,1	16,1	21:50	21,6	16:03
29					
30					
31					
Promedio Mensual	17,2	12,7		23,1	
Absoluta Mensual		8,4	El día 17	28,7	El día 21

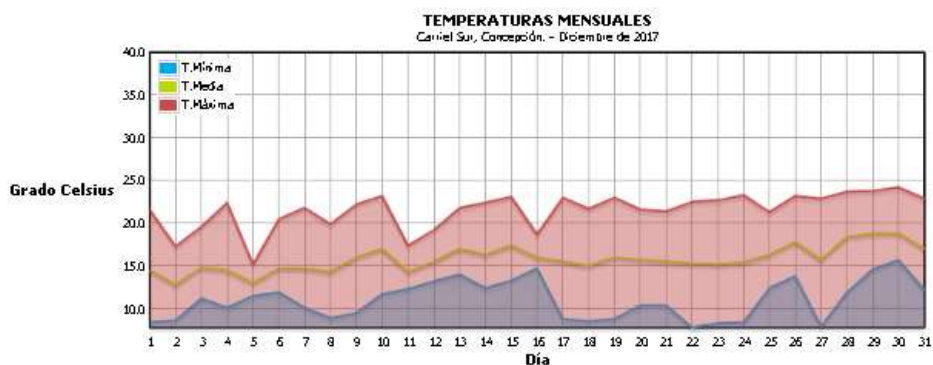
Unidad Medición de Temperatura : Grado Celsius Unidad Medición Horas : Hora Local.



Carriel Sur, Concepción.
Temperatura de Marzo de 2017
Código Nacional :360019

Día	Media	Mínima	Hora	Máxima	Hora
1	17,9	16,1	07:49	22,1	16:58
2	17,9	14,8	05:30	22,5	17:08
3	16,6	11,9	07:18	23,3	17:36
4	15,5	9,7	07:11	22,8	16:29
5	15,6	9,0	05:03	24,4	14:52
6	16,0	9,3	08:08	23,7	17:29
7	15,0	9,7	07:47	21,6	15:36
8	15,5	14,1	23:00	18,6	16:50
9	15,2	12,6	06:35	19,7	14:05
10	14,5	8,9	07:23	20,7	16:45
11	14,7	9,8	08:05	20,7	15:04
12	16,5	11,1	05:46	25,0	14:57
13	16,1	10,1	05:33	24,0	15:05
14	15,0	12,5	04:18	20,1	17:40
15	15,8	11,3	05:42	22,9	16:00
16	15,2	8,3	06:30	26,1	15:05
17	13,3	9,4	04:55	18,3	14:29
18	16,1	12,4	06:09	22,4	15:22
19	15,5	11,3	08:06	21,8	17:13
20	15,0	8,8	07:09	22,2	14:53
21	14,8	9,5	06:58	21,8	16:14
22	12,9	9,9	06:43	16,2	15:13
23	13,9	12,9	00:29	15,6	14:57
24	15,8	13,5	05:20	19,8	15:44
25	16,0	14,5	04:01	19,8	16:00
26	15,3	14,1	03:30	16,6	17:45
27	14,4	11,4	05:58	19,6	15:41
28	13,6	8,7	07:52	20,6	14:08
29	12,7	7,9	07:54	16,8	16:45
30	14,2	11,7	04:48	18,8	14:22
31	13,8	9,5	08:20	20,5	12:54
Promedio Mensual	15,2	11,1		20,9	
Absoluta Mensual		7,9	El día 29	26,1	El día 16

Unidad Medición de Temperatura : Grado Celsius Unidad Medición Horas : Hora Local.



Carriel Sur, Concepción.
Temperatura de Diciembre de 2017
Código Nacional :360019

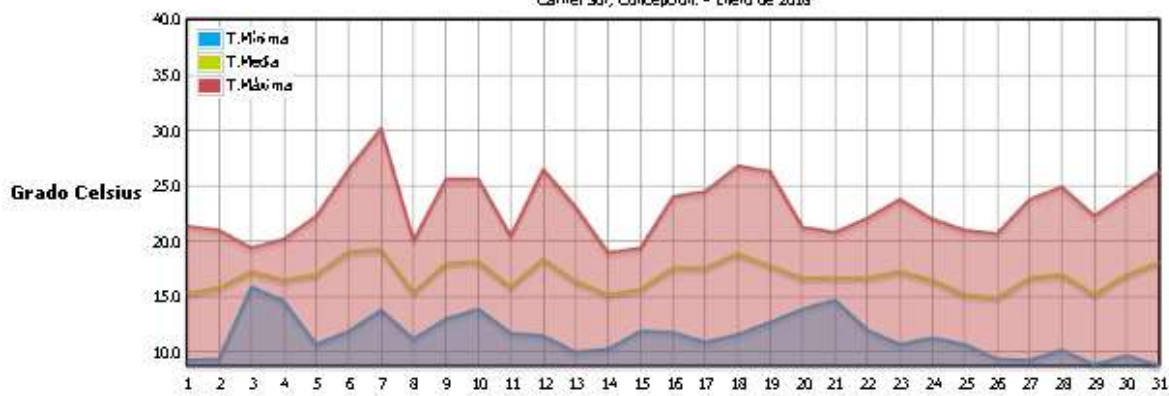
Día	Media	Mínima	Hora	Máxima	Hora
1	14,5	8,4	06:33	21,6	14:46
2	12,8	8,6	06:25	17,3	15:28
3	14,8	11,2	02:17	19,6	15:19
4	14,5	10,1	04:52	22,4	15:20
5	13,0	11,5	04:51	15,2	15:43
6	14,7	11,9	06:57	20,5	16:36
7	14,7	10,1	06:05	21,8	21:00
8	14,3	8,9	06:42	19,9	14:43
9	16,0	9,5	06:14	22,2	15:20
10	17,0	11,7	06:35	23,2	15:07
11	14,3	12,3	01:57	17,4	13:15
12	15,5	13,2	02:55	19,2	16:14
13	17,0	14,0	03:04	21,8	16:29
14	16,3	12,4	04:12	22,4	16:32
15	17,4	13,3	04:26	23,1	16:52
16	16,0	14,7	00:52	18,7	12:47
17	15,5	8,8	01:28	23,0	14:18
18	15,0	8,5	05:35	21,7	15:40
19	16,0	8,8	06:09	23,0	16:46
20	15,7	10,4	06:08	21,6	14:36
21	15,5	10,4	06:45	21,4	15:04
22	15,3	7,8	06:04	22,5	15:53
23	15,2	8,3	06:16	22,7	15:34
24	15,4	8,4	06:03	23,3	15:09
25	16,3	12,4	05:59	21,3	16:49
26	17,8	13,8	02:06	23,2	16:04
27	15,7	7,9	06:04	22,9	16:18
28	18,4	11,9	04:45	23,7	17:40
29	18,8	14,6	05:06	23,8	15:04
30	18,8	15,7	05:31	24,2	13:51
31	17,0	12,2	05:52	22,9	15:51
Promedio Mensual	15,8	11,0		21,5	
Absoluta Mensual		7,8	El día 22	24,2	El día 30

Unidad Medición de Temperatura : Grado Celsius Unidad Medición Horas : Hora Local.

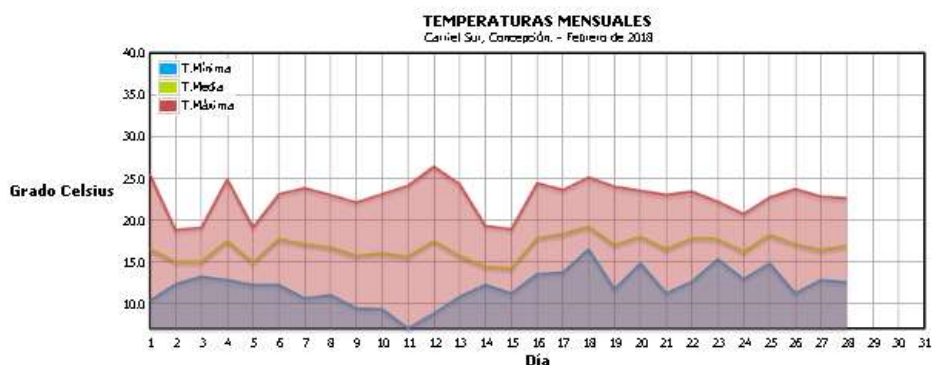


TEMPERATURAS MENSUALES

Carriel Sur, Concepción. - Enero de 2018



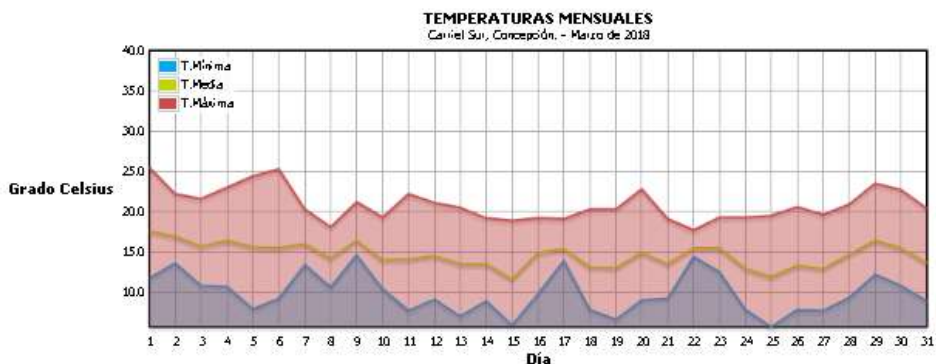
Carriel Sur, Concepción. Temperatura de Enero de 2018 Código Nacional :360019							
Día	Media	Mínima	Hora	Máxima	Hora		
1	15.3	9.3	06:42	21.4	14:25		
2	15.8	9.4	07:07	21.0	16:22		
3	17.3	15.9	07:09	19.4	10:26		
4	16.5	14.6	06:26	20.2	14:46		
5	17.0	10.7	05:38	22.3	14:48		
6	19.1	11.9	06:56	26.5	14:52		
7	19.3	13.8	03:59	30.2	11:43		
8	15.4	11.2	00:13	20.1	17:44		
9	18.0	13.0	02:15	25.6	15:45		
10	18.2	13.9	06:40	25.6	15:51		
11	15.9	11.7	06:51	20.5	14:39		
12	18.4	11.5	05:55	26.5	14:18		
13	16.4	10.0	06:00	23.1	15:59		
14	15.2	10.3	06:36	19.0	11:33		
15	15.7	11.9	03:49	19.4	18:24		
16	17.6	11.8	02:19	24.0	16:38		
17	17.6	10.9	06:33	24.5	14:07		
18	18.9	11.6	06:38	26.8	15:01		
19	17.8	12.7	05:42	26.3	15:18		
20	16.7	13.9	08:35	21.3	15:13		
21	16.7	14.7	03:53	20.8	14:56		
22	16.7	12.0	06:17	22.1	15:27		
23	17.3	10.7	06:48	23.8	17:48		
24	16.5	11.3	06:14	22.0	14:58		
25	15.2	10.7	07:17	21.0	16:03		
26	14.9	9.4	07:15	20.7	15:56		
27	16.7	9.3	07:12	23.8	15:56		
28	17.0	10.2	06:03	24.9	15:56		
29	15.2	8.9	07:01	22.3	14:26		
30	17.0	9.7	07:08	24.3	15:38		
31	18.1	8.8	07:17	26.3	14:58		
Promedio Mensual	16.9	11.5		23.1			
Absoluta Mensual		8.8	El día 31	30.2	El día 7		
Unidad Medición de Temperatura : Grado Celsius				Unidad Medición Horas : Hora Local.			



Carriel Sur, Concepción.
Temperatura de Febrero de 2018
Código Nacional :360019

Día	Media	Mínima	Hora	Máxima	Hora
1	16,5	10,3	06:40	25,5	13:59
2	15,0	12,3	04:35	18,8	18:48
3	15,0	13,2	23:00	19,1	15:02
4	17,5	12,8	08:10	24,9	16:54
5	14,9	12,2	05:06	19,1	17:19
6	17,7	12,2	03:50	23,1	17:45
7	17,1	10,6	06:59	23,8	15:32
8	16,7	11,0	07:20	23,0	13:44
9	15,7	9,4	07:05	22,1	15:28
10	16,0	9,3	03:49	23,1	14:24
11	15,6	7,0	07:15	24,1	16:30
12	17,5	8,8	07:33	26,4	15:33
13	15,7	10,8	06:57	24,3	13:21
14	14,4	12,2	05:29	19,3	14:58
15	14,2	11,2	07:22	18,9	17:44
16	17,8	13,5	20:49	24,4	14:35
17	18,3	13,7	05:48	23,6	13:06
18	19,2	16,5	05:01	25,1	16:05
19	17,0	11,7	06:06	24,0	11:50
20	18,0	14,8	07:06	23,5	16:31
21	16,5	11,2	07:01	23,0	14:15
22	17,8	12,6	05:23	23,4	13:07
23	17,7	15,3	04:18	22,2	14:28
24	16,2	12,9	02:46	20,7	15:17
25	18,2	14,8	08:02	22,7	18:44
26	17,1	11,2	07:20	23,7	16:12
27	16,4	12,8	04:56	22,8	11:27
28	16,9	12,5	07:15	22,6	15:24
29					
30					
31					
Promedio Mensual	16,7	12,0		22,8	
Absoluta Mensual		7,0	El día 11	26,4	El día 12

Unidad Medición de Temperatura : Grado Celsius Unidad Medición Horas : Hora Local.



Carriel Sur, Concepción.
Temperatura de Marzo de 2018
Código Nacional :30019

Día	Media	Mínima	Hora	Máxima	Hora
1	17.6	11.7	07:52	25.5	17:20
2	16.9	13.6	06:06	22.2	16:01
3	15.7	10.8	06:50	21.6	15:10
4	16.4	10.7	07:56	23.0	18:17
5	15.6	7.9	07:51	24.4	15:48
6	15.5	9.2	06:11	25.3	15:21
7	16.0	13.4	01:14	20.3	15:51
8	14.2	10.6	06:41	18.1	15:29
9	16.4	14.6	07:50	21.2	15:30
10	14.0	10.4	07:59	19.3	15:43
11	14.1	7.7	06:12	22.2	14:47
12	14.5	9.1	07:28	21.1	14:38
13	13.5	7.0	07:40	20.5	16:05
14	13.5	8.9	04:40	19.2	17:34
15	11.6	5.9	05:39	18.9	17:07
16	14.9	9.8	02:13	19.2	15:14
17	15.4	13.9	04:15	19.1	14:58
18	13.1	7.8	07:27	20.3	14:56
19	13.0	6.6	06:18	20.3	16:57
20	14.9	9.0	06:24	22.8	13:26
21	13.5	9.2	04:31	19.1	16:02
22	15.5	14.4	23:16	17.7	14:52
23	15.5	12.5	03:53	19.3	16:01
24	12.9	7.8	06:05	19.3	16:02
25	11.9	5.7	07:36	19.5	16:02
26	13.3	7.8	07:18	20.6	13:48
27	12.9	7.7	07:24	19.6	15:07
28	14.7	9.3	08:14	20.9	14:31
29	16.4	12.2	06:25	23.5	16:44
30	15.5	10.8	02:40	22.7	15:25
31	13.6	8.9	07:05	20.4	15:10
Promedio Mensual	14.6	9.8		20.9	
Absoluta Mensual		5.7	El día 25	25.5	El día 1

Unidad Medición de Temperatura : Grado Celsius Unidad Medición Horas : Hora Local.