

UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA



**ACONDICIONAMIENTO AMBIENTAL DEL LABORATORIO DE METROLOGÍA DE
LA UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO SEGÚN ESTANDARES INTERNACIONALES,
MEDIANTE EL USO DE DOS TECNOLOGÍAS DIFERENTES.**

HABILITACIÓN PROFESIONAL PRESENTADA EN
CONFORMIDAD A LOS REQUISITOS PARA
OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO
CIVIL MECÁNICO.

Profesor Guía:

Ingeniero Sr: Reinaldo Sánchez Arriagada

Yordan Andrés Montoya Jaramillo

Concepción-Chile

2016

Índice

Resumen	6
Capítulo 1:.....	8
Generalidades	8
1.1 Introducción	8
1.2 Problemática actual	8
1.3 Objetivos del proyecto	9
1.3.1 Objetivo general:	9
1.3.2 Objetivos específicos:	9
Capítulo 2.....	10
Conceptos Fundamentales.....	10
2.1 Energía.....	10
2.2 Energía geotérmica.....	10
2.3 Energía solar térmica	11
2.4 Calor	11
2.5 Calor sensible.....	12
2.6 Calor latente.....	12
2.7 La transferencia de calor.....	12
2.8 Acondicionamiento del aire	12
2.9 Máquinas de absorción.....	13
CAPÍTULO 3	14
CONDICIONES DE PROYECTO	14
3.1 Condiciones Exteriores.....	14
3.2 Condiciones ambientales.....	14
3.3 Bases del proyecto	15
3.4 Condiciones Exteriores de diseño verano e invierno	15
3.5 Condiciones de diseño interior de verano e invierno	15
CAPÍTULO 4	17
UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL RECINTO.....	17
4.1 Ubicación geográfica.....	17
4.2 Descripción del recinto.....	18

Capítulo 5.....	19
Cálculo y análisis para condiciones de invierno y verano.	19
5.1 Condiciones de diseño para invierno.....	19
5.1.1 Calor sensible transmitido a través de la albañilería Muro N° 1 Orientación norte.....	20
5.1.2 Calor sensible transferido a través de las Ventanas del muro N° 1 Dirección norte.	25
5.1.3 Calor sensible transferido a través del muro sur de la zona número 1.	29
5.1.4 Calor transferido a través del piso.....	33
5.1.5 CALOR TRANSFERIDO A TRAVÉS DEL TECHO.	33
5.1.6 Cálculo de la capacidad del equipo.....	34
5.1.7 Carga de calefacción total del recinto en estudio	35
5.1.7.1 Datos necesarios para el cálculo:.....	35
5.1.7.2 Cálculo de suplemento S1	36
5.1.7.3 Cálculo del factor característico de local R	36
5.1.7.4 Cálculo del factor característico de casa "H"	36
5.1.7.5 Cálculo suplemento S2	36
5.1.8 Resumen total de carga de calefacción Condición de invierno	37
5.2 Cálculo de carga térmica de Refrigeración.	38
5.2.1 Condiciones de diseño para la condición de verano	39
5.2.2 Cálculo del calor sensible transmitido a través de los muros, pisos, techo y vidrios.....	39
5.2.3 Calor transferido a través de muro n° 1 orientación norte.....	39
5.2.4 Muro orientación Oeste.....	45
5.2.5 Calor transferido a través del muro orientación Este	47
5.2.6 Calor transferido a través de las ventanas	49
5.2.7 Ganancias producidas por las personas	54
5.2.8 Calor sensible aportado por alumbrado.....	56
5.2.9 Cálculo de calor sensible total aportado al Laboratorio de metrología.....	58
Capítulo 6.....	60
Primera Propuesta de climatización.....	60
6.1 Bomba de calor Geotérmica con captadores horizontales.	60
6.1.1 ¿Qué es una bomba de calor geotérmica?	60
6.1.2 ¿Funcionamiento básico de la bomba de calor Geotérmica?	61
6.1.3 Ventajas y desventajas de la energía geotérmica.....	61
6.1.4 Sistema de captación Geotérmico.	62

6.1.5 Elección de la bomba de calor	63
6.1.5.1 Datos técnicos obtenidos catalogo ENERTRES.	65
6.1.5.2 Costos de la bomba de calor.....	65
6.1.6 Dimensionamiento de la captación	66
6.1.7 Selección de sondas geotérmicas	68
6.1.8 Evaluación de costos bomba geotérmica con captadores horizontales	69
6.2 Segunda propuesta de climatización	70
6.2.1 Energía solar térmica para el uso de calefacción con el uso de máquina de absorción para refrigeración	70
6.2.3 ¿Qué es la energía solar térmica?	70
6.2.4 Funcionamiento básico de un sistema solar térmico	70
6.2.5 Ventajas y desventajas de los sistemas solares térmicos	72
6.2.5.1 Ventajas:	72
6.2.5.2 Desventajas:.....	72
6.2.6 Selección paneles solares térmicos	73
6.2.6.1 Demanda de energía para calefacción utilizando caldera a Gas.	74
6.2.6.2 Cálculo demanda de calefacción con sistema solar térmico.	75
6.2.7 Refrigeración por absorción	80
6.2.7.1 Sistema de producción de frío	81
6.2.7.2 Esquema de conexiones de la máquina de absorción ROTÁRTICA.....	82
6.2.8 Costos sistema solar térmicos para calefacción y refrigeración	83
6.3 Sistema de distribución de Calefacción y Refrigeración	84
6.3.1 Equipo aire acondicionado Split	84
6.3.2 ¿En qué consiste un sistema Split?	84
6.3.3 Equipo exterior	85
6.3.4 Equipo interior	85
Capítulo 7	86
7.1 Análisis energético Laboratorio de Metrología con el uso de Autodesk Ecotect Analysis ..	86
7.2 Programa Autodesk Ecotect Analysis	86
7.3 Propuesta de Investigación	86
7.4 Utilización de Autodesk Ecotect Analysis	87
7.4.1 Creación del modelo tridimensional del edificio.	87
7.4.2 Asignación de los materiales constructivos.	89
7.4.3 Definición de condiciones de operación.....	91
7.5 Simulación y análisis de Autodesk Ecotect Analysis	96
7.5.1 Análisis de iluminación natural y Artificial.....	98

8. Conclusiones.....	102
9. Recomendaciones y sugerencias.	104
10. BIBLIOGRAFÍA.	105
Anexos	106
Anexo 1: Tablas temperaturas exteriores de cálculo de acuerdo a la NCh1078.c73.....	106
Anexo 2: Temperatura de locales no calefaccionados.....	109
Anexo 3: Tablas de conductividad térmica de materiales de acuerdo a la NCh853-2007	110
Anexo 4: Resistencia térmica de superficies.	118
Anexo 5: Resistencia térmica de espacios no ventilados, de acuerdo a la Norma Nch 853-of71.	119
Anexo 6: Resistencia térmica de espacios no ventilados con cámara de aire horizontales. ..	120
Anexo 7: Suplemento So de acuerdo a Nch 1078 c73.....	121
Anexo 8: Suplemento S1 por orientación.	121
Anexo 9: Factor característico del local (R).....	121
Anexo 10: Factor característico de casa (H).	122
Anexo 11: Infiltración de aire.	122
Anexo 12: Pérdidas por el piso.	122
Anexo 13: Máximas aportaciones solares a través de cristal sencillo.	123
Anexo 14: Factor de almacenamiento.....	124
Anexo 15: Ganancias de calor debido al alumbrado.	124
Anexo 16: Aportaciones solares a través del vidrio sencillo.	125
Anexo 17: Diferencia equivalente de Temperatura.....	126
Anexo 20: Corrección de las diferencias Equivalentes de temperaturas.	126
Anexo 21: Coeficiente Global K.....	127
Anexo 22: Ganancias debido a los ocupantes.	128
Anexo 23: Planos laboratorio.	129

Resumen

En la presente Habilitación Profesional se realizó un proyecto para la climatización del Laboratorio de Metrología del Departamento de ingeniería mecánica de la Universidad del Bío-Bío, bajo las normas estipuladas en la NCh-ISO 17025 de “Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración”. Primeramente, se procedió a determinar las cargas térmicas de calefacción y refrigeración del recinto en cuestión teniendo en cuenta los diferentes componentes involucrados, en donde se determinó que las cargas de calefacción y refrigeración respectivamente fueron de 2.988,17 (W) y 4.077,4 (W).

Luego se identificaron las dos propuestas de climatización diferentes, la primera de ellas correspondió a la utilización de bomba de calor de lazo cerrado con captadores horizontales enterrados, y la segunda al uso de paneles solares térmicos para calefacción y máquina de absorción para refrigeración en verano con sistema de caldera a gas como equipo de apoyo.

Para la primera propuesta se seleccionó una bomba de calor de la marca Enertres modelo TERRA S/W 6 HGL de 5,8 kW de potencia nominal. Además de esto se seleccionaron los distintos componentes necesarios para el funcionamiento de una bomba de calor, con una inversión de \$46.438.537.

Para la segunda propuesta se utilizaron paneles solares térmicos planos de la marca Enertres, en donde según los cálculos obtenidos se determinó que 3 paneles son suficientes para cumplir con la demanda requerida. Además de ello se seleccionó una máquina de absorción de la marca ROTARTICA de 4,5 kW para refrigeración en verano. Por último, al seleccionar los demás componentes resulta una inversión de \$20.357.292.

Como herramienta de evaluación de la demanda energética se utilizó el software de análisis Autodesk Ecotect Analysis, cuyos resultados fueron comparados con los datos obtenidos de forma manual, de donde se observó que con el software se obtuvo una demanda de calefacción de 12.912,11 kW*h/año y de forma manual se obtuvo que es de 13.938,9 kW*h/año. Si bien existe una variación del 7% entre los

valores obtenidos esto se explica debido a la forma más exacta en la que trabaja el software de análisis utilizado.

Finalmente tomando en cuenta cada una de las variables que se utilizaron se concluye que la propuesta más adecuada para la climatización del Laboratorio de Metrología corresponde a la utilización de paneles solares térmicos planos con máquina de absorción para refrigeración en verano ya que es capaz de cumplir con los requerimientos necesarios del recinto y presenta un menor costo total de implementación \$20.357.292.

Capítulo 1:

Generalidades

1.1 Introducción

Para el óptimo funcionamiento de un Laboratorio de Metrología de medición y calibración de equipos es absolutamente necesario tener un control sobre las condiciones ambientales dentro de estrechos rangos de tolerancia estipulados en el apartado 5.1 de la norma NCh-ISO 17025 de “Requisitos Generales para la competencia de los Laboratorios de ensayo y calibración”

Por esto mismo para tener un control sobre las condiciones ambientales dentro del laboratorio es necesario climatizar el recinto, lo que quiere decir que se debe garantizar que las condiciones ambientales óptimas de funcionamiento sean entregadas por un equipo de climatización que cumpla con las condiciones de factibilidad técnica basada en minuciosos y estrictos cálculos de cargas térmicas obtenidos del análisis del recinto a climatizar.

1.2 Problemática actual

Actualmente, el nuevo Laboratorio de Metrología del Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad del Bío-Bío no se encuentra bajo los estándares internacionales de climatización estipulados en la norma NCh-ISO 17025. Por esto nace la necesidad de tener un laboratorio de categoría internacional, para que brinde conocimiento a las futuras generaciones de alumnado del Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad del Bío-Bío, para que así el día de mañana conozcan la forma de trabajo y estandarización que un laboratorio debe poseer y por otra parte, si bien no es el enfoque que tiene la universidad, también se podrán realizar ensayos de calibración y medición de equipos de las distintas empresas que se dedican a los distintos rubros relacionados con la Ingeniería y obtener un

importante ingreso económico para el desarrollo y obtención de nuevos equipos para dicho Departamento de Ingeniería.

Para llevar a cabo dicha climatización es importante realizar un riguroso cálculo de cargas térmicas tanto para invierno y verano y así determinar qué equipo es el óptimo para cumplir con los requerimientos de climatización.

1.3 Objetivos del proyecto

1.3.1 Objetivo general:

- Evaluar la Climatización del Laboratorio Metrología del Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad del Bío-Bío bajo estándares determinados por la norma NCh-ISO 17025

1.2.2 Objetivos específicos:

- Evaluación de cargas térmicas de Calefacción y Refrigeración.
- Identificar Propuestas de climatización:
 - Bomba de calor geotérmica con captadores horizontales.
 - Paneles solares térmicos para calefacción y uso de máquina de absorción para refrigeración.
 - Equipo de aire acondicionado Split.
- Evaluación de demanda energética mediante el uso de software de análisis Autodesk Ecotect Analysis.

Capítulo 2

Conceptos Fundamentales

Es importante señalar que se procederá a mencionar conceptos fundamentales relacionados con las propuestas de climatización del recinto a modo de introducción y entendimiento de los diferentes factores que tendrán influencia tanto en procedimiento de cálculo de climatización, como en las dos propuestas de climatización para el recinto en estudio.

2.1 Energía.

La energía se define como la entidad intangible por medio de la cual podemos generar movimiento, trabajo y calor. la energía junto con la materia son los 2 ingredientes básicos que componen todo el universo que nos rodea. Por otro lado, utilizamos diferentes fuentes de energía presentes en la naturaleza para alimentar múltiples máquinas y dispositivos que realizan trabajo y nos ayudan en nuestra vida cotidiana, es por esto que la utilización de la energía para la humanidad es un pilar fundamental en el funcionamiento del diario vivir.

Como bien dijimos el hombre utiliza la energía para poder solucionar diferentes tipos de problemáticas dependiendo de la necesidad de cada uno de ellos, y es lo que se trata de realizar en este proyecto, en donde se buscara optimizar la energía que nos brinda el medio ambiente a partir del uso de dos tecnologías de climatización respetuosas con el medio ambiente o también denominadas energías renovables.

2.2 Energía geotérmica.

La **energía geotérmica** es una fuente de energía renovable que aprovecha el calor que existe en el subsuelo de nuestro planeta. Sus principales aplicaciones se dan en nuestra vida cotidiana: climatizar y obtener agua caliente sanitaria de manera

ecológica tanto en grandes edificios (oficinas, fábricas, hospitales, etc.) como en viviendas.

Los **recursos geotérmicos** de alta temperatura (más de 100-150° C) se utilizan para generar energía eléctrica, mientras que aquellos con temperaturas menores son óptimos para los sectores industrial, servicios y residencial.

2.3 Energía solar térmica.

Definiremos la energía solar térmica o energía termo-solar como el aprovechamiento de la energía del Sol para generar calor mediante el uso de colectores o paneles solares térmicos. Esta energía solar se encarga de calentar el agua u otro tipo de fluidos a temperaturas que podrán oscilar entre 40° y 50°, no debiendo superar los 80°. Esta agua caliente se podrá usar posteriormente para cocinar o para la producción de agua caliente destinada al consumo de agua doméstico (ACS), ya sea agua caliente sanitaria, calefacción, o para producción de energía mecánica y a partir de ella, de energía eléctrica. Actualmente también tenemos la posibilidad de alimentar una máquina de refrigeración por absorción, que empleará esta energía solar térmica en lugar de electricidad para producir frío como lo haría un aparato de aire acondicionado tradicional.

2.4 Calor

El calor es una forma de energía, creada principalmente por la transformación de otros tipos de energía en energía de Calor; por ejemplo, la energía Mecánica que opera una rueda causa fricción y genera calor. Calor es frecuentemente definido como energía en tránsito, porque nunca se mantiene estática, ya que siempre está transmitiéndose desde cuerpos cálidos a los cuerpos fríos. La mayor parte del calor en la tierra se deriva de las radiaciones del Sol.

2.5 Calor sensible.

El calor sensible se define como el calor que provoca un cambio de temperatura en una sustancia. En otras palabras, es como su nombre lo indica, el calor que puede percibirse por medio de los sentidos.

2.6 Calor latente.

Calor latente es el que necesita para cambiar un sólido en líquido, o un líquido en gas, es decir cambiar de fase, sin variar la temperatura de la sustancia. La palabra latente significa “oculto”, o sea que este calor requerido para cambiar la fase de una sustancia, no es percibido por los sentidos.

2.7 La transferencia de calor

Es el proceso por el que se intercambia energía en forma de calor entre distintos cuerpos, o entre diferentes partes de un mismo cuerpo que están a distinta temperatura. El calor se transfiere mediante convección, radiación o conducción. Aunque estos tres mecanismos pueden tener lugar simultáneamente, puede ocurrir que uno de los mecanismos predomine sobre los otros dos. Por ejemplo, el calor se transmite a través de la pared de una casa fundamentalmente por **conducción**, el agua de una cacerola situada sobre un quemador de gas se calienta en gran medida por **convección**, y la Tierra recibe calor del Sol casi exclusivamente por **radiación**.

2.8 Acondicionamiento del aire

El acondicionamiento de aire es el proceso más completo de tratamiento del aire ambiente de los locales habitados, el cual consiste en regular las condiciones en cuanto a la temperatura (calefacción o refrigeración), humedad, limpieza (renovación, filtrado) y el movimiento del aire dentro de los locales. Si no se trata la humedad, sino solamente la temperatura, entonces se habla de **climatización**.

2.9 Máquinas de absorción.

El sistema de refrigeración por absorción es un medio de producir frío que, al igual que en el sistema de refrigeración por compresión, aprovecha que las sustancias absorben calor al cambiar de estado, de líquido a gaseoso. Así como en el sistema de compresión el ciclo se hace mediante un compresor, en el caso de la absorción, el ciclo se basa físicamente en la capacidad que tienen algunas sustancias, como el bromuro de litio, de absorber otra sustancia, tal como el agua, en fase de vapor. Otra posibilidad es emplear el agua como sustancia absorbente (disolvente) y amoníaco como sustancia absorbida

CAPÍTULO 3

CONDICIONES DE PROYECTO

3.1 Condiciones Exteriores.

Las condiciones de proyecto establecidas determinan el contenido de energía del aire, tanto del interior como del exterior, que afectan directamente a la capacidad del equipo de acondicionamiento, ejerciendo su influencia sobre la transmisión de calor a través de la estructura externa del recinto.

3.2 Condiciones ambientales

En un sistema de acondicionamiento destinado a la climatización de un Laboratorio de Metrología, están cada una de las normas estipuladas estrictamente para las dependencias de este mismo, las cuales dependerán del nivel organizacional en el que se encuentre dicho laboratorio, el cual para nuestro caso se sitúa en el nivel número 2 que corresponde a un laboratorio de índole educacional.

Clasificación de los laboratorios:

Nivel 1:

- Laboratorios Nacionales (Resguardo de patrones nacionales)

Nivel 2:

Laboratorios de referencia y secundarios.

- Laboratorios Públicos.
- Laboratorios de Universidades.
- Laboratorios Militares.
- Laboratorios Privado.

En donde el laboratorio debe asegurar que las condiciones ambientales no invaliden los resultados ni comprometan la calidad requerida de las mediciones. Es

importante señalar que a la hora de realizar los ensayos de calibración o mediciones se deben estipular bajo las condiciones que fueron realizadas estas, para así estimar la incertidumbre de las mediciones para todas las calibraciones que se realicen en dicho laboratorio.

3.3 Bases del proyecto

Para la elección de los equipos apropiados, se deben evaluar correctamente las condiciones del recinto. Se debe definir primeramente el problema y valorar las características del lugar, tales como, las condiciones climáticas, ganancias y pérdidas de calor interno, la carga máxima, el comportamiento de esta carga en condiciones parciales y la capacidad térmica de la estructura del recinto, consideraciones clave y decisivas para la elección final del sistema y equipo adecuado.

3.4 Condiciones Exteriores de diseño verano e invierno

La elección de las condiciones exteriores de temperatura, que son necesarias para el cálculo de carga térmica y, en consecuencia, para el dimensionado de equipos y aparatos, se hará en base a datos estadísticos obtenidos del Registro de datos históricos METAR en la estación meteorológica.

3.5 Condiciones de diseño interior de verano e invierno

Las condiciones interiores de diseño según la norma NCh-ISO 17025 del Reglamento de Laboratorios de Medición y Calibración, específica que las condiciones internas de diseño a lo largo de la operación del Laboratorio de Metrología deben ser las siguientes, aunque como se aclaró anteriormente, si estas no estuvieran dentro de dichos parámetros deben ser especificadas a la hora de realizar las mediciones para así aplicar las correcciones pertinentes.

Valores obtenidos de NCh-ISO 17025

		Unidad
Ruido	45	Decibeles
Temperatura	20	°C
Humedad relativa	45	%
Presión	10	Pascales
Máximo de personas	3	

Tabla 3.1 Valores según NCh-ISO 17025

Es importante señalar que estas condiciones no deben variar a lo largo del periodo, es decir es independiente de la estación del año en que se encuentren.

CAPÍTULO 4

UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL RECINTO.

4.1 Ubicación geográfica.

El emplazamiento del laboratorio que será climatizado se encuentra en las inmediaciones de la Universidad del Bío-Bío, ubicado en la ciudad de Concepción. La cual se encuentra en Av. Collao 1202, Concepción.

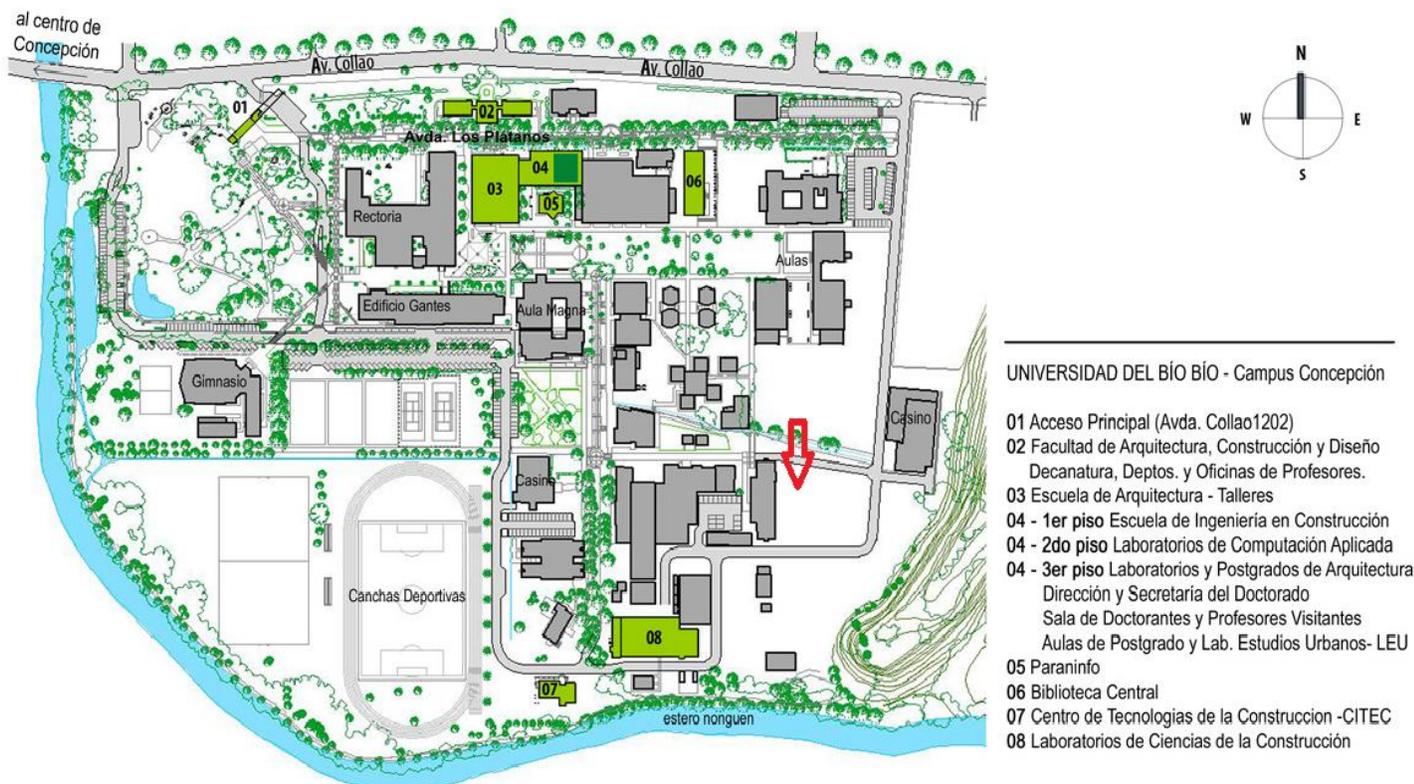


Figura 4.1 Ubicación geográfica

En la imagen se aprecia una flecha en color rojo, la cual muestra de forma aproximada la ubicación del laboratorio de metrología dentro del campus de la Universidad del Bío-Bío que se desea climatizar. A su vez podemos observar que se poseen terrenos sin utilizar en sus inmediaciones, por lo tanto, las propuestas a climatizar resultan viables desde ese punto de vista.

4.2 Descripción del recinto.

El recinto en que se estudiara la climatización, corresponde al laboratorio de metrología del departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad del Bío-Bío. El cual posee una envergadura de 39 m² de superficie. En la cual se encuentran los implementos necesarios para el desarrollo de un laboratorio de características universitarias, tales como mesones, lava manos y maquinarias necesarias.

En la composición de sus muros encontramos materiales de construcción tales como, estuco en la cara exterior de este de 20 mm de espesor, continuado de hormigón armado de 155 cm, y una cara interior de 30 mm de espesor compuesta por poliestireno expandido y yeso cartón en la cara visible de los muros interiores.

Es importante señalar que esta composición la encontramos en 3 de los muros que conforman a dicho laboratorio, ya que el muro correspondiente a la orientación sur posee otros componentes en su muro, ya que este colinda con el baño que es utilizado por los paradocentes que se encuentran en las inmediaciones del recinto, es por esto que la cara interior correspondiente al lado de los baños está compuesta por una parte cerámica.

Por otra parte, el acceso al laboratorio está compuesto por puertas dobles que comunican inmediatamente con el hall de acceso del edificio del laboratorio del DIMEC. Además de esto en su parte central presentan ventanas de vidrio simple los cuales son importantes a la hora de determinar las cargas térmicas que se verán más adelante.

Y por último, en la cara norte del laboratorio se presenta una gran disposición de ventanas, las cuales son compuestas por un vidrio simple de 5 mm de espesor, las que veremos más adelante presentan una gran influencia en las cargas de refrigeración del recinto.

Capítulo 5

Cálculo y análisis para condiciones de invierno y verano.

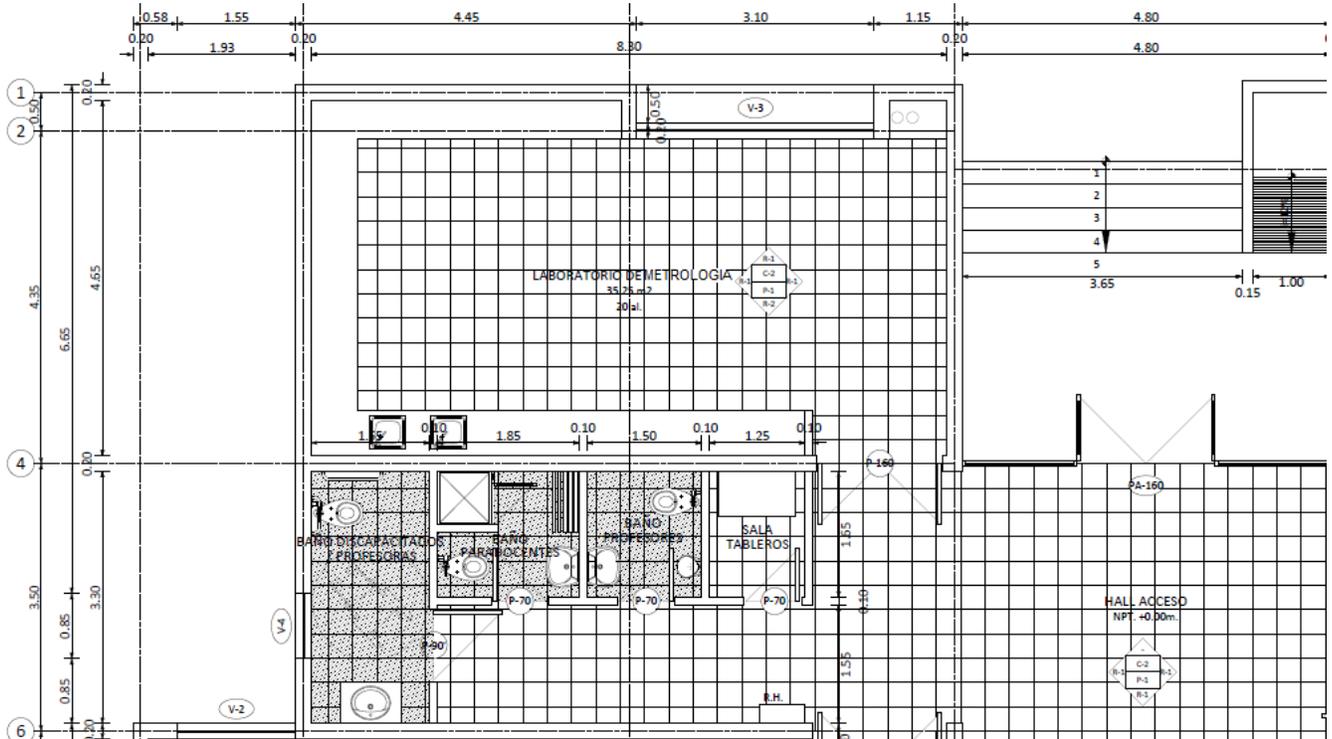


Figura 5.1 Planta Laboratorio de Metrología.

Aquí se observa una vista de planta del laboratorio de metrología, que es la zona que se desea climatizar.

5.1 Condiciones de diseño para invierno.

La edificación consta de la zona principal correspondiente al laboratorio de Metrología que se desea acondicionar, en el cual 3 de sus muros se encuentran en contacto directo con el ambiente exterior, y el otro de sus muros que se encuentra en contacto con el baño de los paradocentes que no se encuentra calefaccionado, además de la puerta de acceso al laboratorio que colinda con el hall de acceso al recinto que de igual manera no es un ambiente calefaccionado.

A continuación, se presenta una tabla con los requerimientos para climatizar el recinto en invierno.

Zona a climatizar	Temperatura exterior de Cálculo	Temperatura Interior de Cálculo	Humedad Relativa Interior	Temperatura espacios No Calefaccionados
Lab. Metrología	5 ° C	20 ° C	40 a 50 %	10 ° C

Tabla 5.1 Requerimientos de climatización.

5.1.1 Calor sensible transmitido a través de la albañilería Muro N° 1 Orientación norte.

El muro está compuesto desde el exterior, por una capa de enlucido de cemento de 20 mm. De espesor, continuado por hormigón armado de 155 mm, Poliestireno expandido de 20 mm. y finalmente en su interior Yeso cartón de 10 mm. Su área total corresponde a 24,04 m².

En donde el cálculo se determina de la siguiente manera

$$Q_{Muro} = A_{Muro} * U_{Muro} * (t_i - t_e)$$

Donde

Q_m : Calor total que se transfiere a través de los muros en (W).

A_m : Área total del muro en (m²).

U_m : Coeficiente global de transferencia de calor en $\left(\frac{W}{m^2K}\right)$.

$(t_i - t_e)$: Diferencia de temperaturas en (K).

Cálculo del coeficiente global de transmisión (U).

$$U_{Muro} = 1 / RT$$

Cálculo de la resistencia total (RT).

$$R_T = R_{CI} + R_{K1} + R_{K2} + R_{K3} + R_{K4} + R_{Ce}$$

Cálculo de la resistencia térmica por convección en la cara exterior del muro (R_{Ce}).

$$R_{Ce} = 1 / he$$

Como el coeficiente de convección (he) es función de la velocidad del viento, se asume una velocidad de 12,71 km/h para invierno o 3,53 m/s. (basado condiciones meteorológicas de la ciudad de Concepción en los últimos 10 años).

Cálculo de he . Se logra usando la siguiente expresión:

$$he = 5,8 + 4 * \vec{V}$$

Donde \vec{V} = Velocidad viento en m/s.

$$he = 5,8 + 4 * 3,53 \quad (W/m^2K).$$

$$he = 19,92 (W/m^2K)$$

Reemplazando en la fórmula anterior ($R_{Ce} = 1 / he$) obtenemos:

$$R_{Ce} = 1 / 19,92 (m^2 K / W).$$

$$R_{Ce} = 0,0502 (m^2 K / W).$$

Cálculo de la resistencia térmica por conducción R_{K4} .

$$R_{K4} = L / K_4$$

En donde:

L : Espesor del enlucido de cemento en metros.

K_4 : 1,4 (W/mK) conductividad térmica del enlucido de Cemento. Dato Obtenido según norma NCh853.EOF71.

Reemplazando obtenemos:

$$R_{K4} = L / K_4 = 0,02 / 1,4(m^2K / W).$$

$$R_{K4} = 0,0142 (m^2K / W).$$

Cálculo de la resistencia térmica por conducción (R_{K3}). Se determina en función del espesor y la conductividad térmica del material:

$$R_{K3} = L / K_3$$

En donde:

L : Espesor del Hormigón Armado en metros.

K_3 : 1,75 (W/m K) conductividad térmica Hormigón Armado. Dato obtenido NCh853.EOF71.

Reemplazando obtenemos:

$$R_{K3} = L / K_3 = 0,155 / 1,75(m^2K / W).$$

$$R_{K3} = 0,0885 (m^2K / W).$$

Cálculo de la resistencia térmica por conducción R_{K2} .

Se determina en función del espesor y la conductividad térmica del material.

Para ello usamos la siguiente expresión:

$$R_{K2} = L / K_2$$

En donde:

L = Espesor del Poliestireno Expandido en metros.

K_2 = 0,036 (W/mK) conductividad térmica del Poliestireno expandido obtenido de la NCh853.EOF71.

Reemplazando obtenemos:

$$R_{K2} = L / K_2 = 0,02 / 0,036 (m^2 K / W).$$

$$R_{K2} = 0,555 (m^2 K / W).$$

Cálculo de la resistencia térmica por conducción R_{K1} .

Se determina en función del espesor y la conductividad térmica del material.

Para ello usamos la siguiente expresión:

$$R_{K1} = L / K_1$$

En donde:

$L =$ Espesor del Yeso Cartón en metros.

$K_1 =$ 0,2 (W/mK) conductividad térmica del Yeso Cartón obtenido de la NCh853.EOF71.

Reemplazando obtenemos:

$$R_{K1} = L / K_1 = 0,01 / 0,2 (m^2 K / W).$$

$$R_{K1} = 0,05 (m^2 K / W).$$

Cálculo de la resistencia térmica por convección en la cara interior del muro ($R_{Ci} = 1 / h_{Ci}$).

Este dato lo obtenemos de NCh853.EOF71. "Resistencias Térmicas de Superficies", para elementos verticales. Su valor corresponde a:

$$0,12 (m^2 K / W)$$

A continuación, con las resistencias obtenidas, calculamos (R_T)

$$R_T = R_{Ci} + R_{K1} + R_{K2} + R_{K3} + R_{K4} + R_{Ce}$$

$$R_T = 0,12 + 0,05 + 0,555 + 0,0885 + 0,0142 + 0,0502$$

$$R_T = 0,8779 (m^2K / W)$$

Obtenido este dato calculamos el coeficiente global de transmisión de calor a través del muro (U_{Muro})

$$U_{Muro} = 1 / R_T$$

$$U_{Muro} = 1 / 0,8779 = 1,13 (W/m^2K)$$

Cálculo transferido a través del Muro 1. (Q_{Muro})

Se requiere la obtención de la variación de temperatura entre el exterior y la temperatura interior de cálculo ($t_i - t_e$). Estas son establecidas en la NCh853.EOF71 para la temperatura exterior de cálculo y la norma NCh-ISO 17025 para la temperatura interior del laboratorio. Y corresponden para $t_e = 5^\circ C$ y para $t_i = 20^\circ C$

$$Q_{Muro} = A_{Muro} * U_{Muro} * (t_i - t_e)$$

Reemplazando los valores se obtiene:

$$Q_{Muro} = 24,03 * 1,13 * (20 - 5)$$

$$Q_{Muro} = 410,66 (W)$$

Con la misma metodología de cálculo y usando los mismos criterios técnicos, se calcula el calor transferido por la pared de albañilería, ubicadas en los muros 2 y 3. Los resultados obtenidos se presentan en la siguiente tabla:

Tabla de Pérdidas de calor por Muros 2 y 3											
Muro	Área (m2)	R _{interior}	R _{k1}	R _{k2}	R _{k3}	R _{k4}	R _{ext}	R _{total}	U _{tmuro}	Δt°	Q _{tmuro}
Oeste	16,37	0,12	0,05	0,555	0,0885	0,0142	0,0502	0,8779	1,139	15	279,7
Este	16,37	0,12	0,05	0,555	0,0885	0,0142	0,0502	0,8779	1,139	15	279,7

Tabla 5.2 Pérdidas de calor por muros 2 y 3.

5.1.2 Calor sensible transferido a través de las Ventanas del muro N° 1 Dirección norte.

La superficie total del vidrio en el muro norte corresponde a 4,8 m², cuyo espesor de cristal es de 5 mm.

Cálculo del calor transferido a través del vidrio.

$$Q_{Ventanas} = A_{Vidrio} * U_{Vidrio} * (t_i - t_e)$$

Donde

Q_{Vidrio} : Calor total que se transfiere a través de las ventanas en (W).

A_{Vidrio} : Área total de las ventanas en (m²).

U_{Vidrio} : Coeficiente global de transferencia de calor en $\left(\frac{W}{m^2K}\right)$.

$(t_i - t_e)$: Diferencia de temperaturas.

Cálculo del coeficiente global de transmisión en vidrios zona N°1 (U_{Vidrio}).

$$U_{Vidrio} = 1 / R_T$$

Cálculo de la resistencia total (R_T).

$$R_T = R_{Ci} + R_{Kv} + R_{Ce}$$

Sabiendo que al igual que en el caso anterior las variables se mantienen constantes obtenemos que:

$$R_{Ce} = 0,0502 \quad (m^2K/W)$$

$$R_{Ci} = 0,12 \quad \left(\frac{m^2 K}{W}\right)$$

Cálculo de la resistencia térmica por conducción R_{Kv} .

Se determina en función del espesor y la conductividad térmica del material, en este caso el vidrio es de 5 mm. de espesor y su conductividad térmica se calcula con la siguiente fórmula. En donde K_v corresponde a 1,2 (W/mK). Obtenido de la tabla N° 2 de la norma NCh53.EOF71

$$R_{KV} = L / K_v$$

$$R_{KV} = 0,005/1,2 = 0,0041 (m^2K/W).$$

A continuación, con las resistencias obtenidas, calculamos (R_T)

$$R_T = R_{Ci} + R_{KV} + R_{Ce}$$

$$R_T = 0,12 + 0,0041 + 0,0502$$

$$R_T = 0,1743(m^2K/W)$$

Obtenido este dato calculamos el Coeficiente global de transmisión de calor a través del vidrio (U_{Vidrio}).

$$U_{Vidrio} = 1 / R_T$$

$$U_{Vidrio} = 1 / 0,1743 \rightarrow 5,73 (W/m^2K)$$

Cálculo del calor transferido a través de las ventanas del Muro N°1 orientación norte. ($Q_{Ventanas}$).

Para completar la ecuación, se requiere incorporar la variación de temperatura entre el exterior y la temperatura interior de confort ($t_i - t_e$). Las que corresponde para t_e 5 °C y para t_i un valor de 20 °C.

$$Q_{Ventanas} = A_{Vidrio} * U_{Vidrio} * (t_i - t_e)$$

Reemplazamos los valores obtenidos

$$Q_{Ventanas} = 4,80 * 5,73 * (20 - 5) (W)$$

$$Q_{Ventanas} = 412,99 (W)$$

es importante señalar que uno de los muros denominado como el muro N° 4 posee una puerta doble con vidrios en su estructura, además de un vidrio que se encuentra en la parte superior de esta, los cuales colindan con el hall de acceso al Departamento de Ingeniería Mecánica por lo tanto las cargas se determinarán de la siguiente manera.

El hall de acceso tendrá una temperatura de 10 °C, ya que al ser un espacio no calefaccionado comunicado directamente con el aire exterior a 5 °C según la norma NCh 1078C73 es la temperatura que le corresponde.

Por lo tanto, obtendremos lo siguiente:

La superficie total del vidrio en el muro N°4 zona sur corresponde a 1,87 m², cuyo espesor de cristal es de 5 mm.

Cálculo del calor transferido a través del vidrio.

$$Q_{Ventanas\ hall} = A_{Vidrio} * U_{Vidrio} * (t_i - t_e)$$

Donde

Q_{Vidrio} : Calor total que se transfiere a través de las ventanas en (W).

A_{Vidrio} : Área total de las ventanas en (m²).

U_{Vidrio} : Coeficiente global de transferencia de calor en $\left(\frac{W}{m^2K}\right)$.

$(t_i - t_e)$: Diferencia de temperaturas.

Cálculo del coeficiente global de transmisión en vidrios muro n° 4 (U_V).

$$U_{Vidrio} = 1 / R_T$$

Cálculo de la resistencia total (R_T).

$$R_T = 2 * R_{Ci} + R_{Kv}$$

Cálculo de la resistencia térmica por conducción R_{KV} , la cual será la misma obtenida anteriormente:

$$R_{KV} = 0,005/1,2 = 0,0041 \text{ (m}^2\text{K/W)}.$$

Cálculo de la resistencia térmica por convección en la cara interior de la ventana o superficie del vidrio ($R_{Ci} = 1/h_{Ci}$).

$$0,12 \left(\frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} \right).$$

A continuación, con las resistencias obtenidas, calculamos (R_T)

$$R_T = 2 * R_{Ci} + R_{Kv}$$

$$R_T = 2 * 0,12 + 0,0041$$

$$R_T = 0,2441 \left(\frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} \right)$$

Obtenido este dato calculamos el Coeficiente global de transmisión de calor a través del vidrio (U_{Vidrio}).

$$U_{Vidrio} = 1 / 0,2441 = 4,1 \text{ (W/m}^2\text{K)}$$

Para completar la ecuación, se requiere incorporar la variación de temperatura entre el exterior y la temperatura interior ($t_i - t_e$). Las que corresponde para $t_e = 5 \text{ }^\circ\text{C}$ y para t_i un valor de $20 \text{ }^\circ\text{C}$.

$$Q_{Ventanas\ hall} = A_{Vidrio} * U_{Vidrio} * (t_i - t_e)$$

Reemplazamos los valores obtenidos

$$Q_{Ventanas\ hall} = 1,87 * 4,1 * (20 - 10)$$

$$Q_{Ventanas\ hall} = 76,7 \text{ (W)}$$

5.1.3 Calor sensible transferido a través del muro sur de la zona número 1.

Este muro colinda inmediatamente con el baño de los docentes, el cual no se encuentra calefaccionado, pero según la norma determinamos la temperatura interior en espacio no acondicionado, la NCh 1078C73 que corresponde a 10 °C y la temperatura interior de cálculo corresponde a 20 °C.

Este muro en particular, tiene dos puertas de entrada, que colindan con un espacio no acondicionado el cual corresponde al hall de acceso al departamento, en donde la temperatura corresponderá a 10° C según la norma NCh 1078.c73. Por otra parte, Según la NCh853.EOF71 el coeficiente global de transmisión (U), es igual a 3,5 (W/m² K) para puertas interiores.

De este modo procedemos a realizar los cálculos pertinentes, en donde se observa lo siguiente:

- a) Primero se hará el cálculo entre el laboratorio de metrología y el baño de los docentes, el cual se divide a su vez en dos zonas, debido a la composición de los materiales que ésta presenta.

$$Q_{Muro} = A_{Muro} * U_{Muro} * (t_i - t_e)$$

Donde

Q_{Muro} : Calor total que se transfiere a través de los muros en (W).

A_{Muro} : Área total del muro en (m²).

U_{Muro} : Coeficiente global de transferencia de calor en $\left(\frac{W}{m^2K}\right)$.

$(t_e - t_i)$: Diferencia de temperaturas en (K).

Utilizando la misma metodología de cálculo para los muros previamente calculados se obtienen los siguientes resultados para las distintas composiciones del muro orientación sur:

$$R_T = R_{Ci} + R_{K1} + R_{K2} + R_{K3} + R_{K4} + R_{Ci}$$

$$R_T = 0,12 + 0,031 + 0,277 + 0,088 + 0,0144 + 0,12 \left(\frac{m^2 K}{W} \right)$$

$$R_T = 0,648 \left(\frac{m^2 K}{W} \right)$$

$$U_{Muro} = \frac{1}{R_T} \rightarrow \frac{1}{0,648} \left(\frac{W}{m^2 K} \right) \rightarrow U_{Muro} = 1,54 \left(\frac{W}{m^2 K} \right)$$

Por lo tanto podemos calcular el Q_{Muro} :

$$Q_{Muro} = 15,16 * 1,54 * (20 - 10) (W)$$

$$Q_{Muro} = 233,46 (W)$$

A continuación, se calculará la transferencia de calor para los 1,17 m que tiene el baño solamente con estuco afinado por su parte interior. En donde se realizar el mismo procedimiento de cálculo para la obtención de los siguientes valores.

$$R_T = R_{Ci} + R_{K1} + R_{K2} + R_{K3} + R_{K4} + R_{Ci}$$

$$R_T = 0,12 + \frac{0,02}{0,65} + \frac{0,01}{0,036} + \frac{0,155}{1,75} + \frac{0,02}{0,65} + 0,12 \left(\frac{m^2 K}{W} \right)$$

$$R_T = 0,6678 \left(\frac{m^2 K}{W} \right)$$

$$U_{Muro} = \frac{1}{R_T} \rightarrow \frac{1}{0,6678} \left(\frac{W}{m^2 K} \right) \rightarrow U_{Muro} = 1,49 \left(\frac{W}{m^2 K} \right)$$

Por lo tanto podemos calcular el Q_{Muro} :

$$Q_{Muro} = 7,55 * 1,49 * (20 - 10) (W)$$

$$Q_{Muro} = 113,02 (W)$$

Muro sur colindante con hall de acceso al departamento de Ingeniería Mecánica.

A su vez también en este sector colindante con el hall de acceso al departamento de ingeniería mecánica, se encuentra una puerta interior y ventanas de vidrio simple al igual que las mencionadas en el muro orientación norte. La temperatura que recibirá el recinto según la norma de locales no calefaccionados comunicados directamente con el aire exterior es de 8 ° C, por ende, podemos realizar los cálculos pertinentes asociados a este lugar.

Este muro en particular, tiene dos puertas de entrada con una superficie de $A = 2,84 \text{ m}^2$, que colindan con un espacio no acondicionado. Según la NCh853.EOF71 el coeficiente global de transmisión (U), es igual a 3,5 (W/ m² K) para puertas interiores. Es por ello que cálculo se determinará de la siguiente manera:

$$Q_{Puertas} = A_{Puertas} * U_{Puertas} * (t_i - t_e) \text{ (W)}$$

$$Q_{Puertas} = 2,84 * 3,5 * (20 - 10) \text{ (W)}$$

$$Q_{Puertas} = 99,68 \text{ (W)}$$

Además, también existe una porción de muro que colinda con este hall de acceso, de donde se realiza el mismo procedimiento de cálculo. es importante señalar que por esta zona su capa de revestimiento es de yeso cartón, de donde se obtienen los siguientes valores:

$$R_T = R_{Ci} + R_{K1} + R_{K2} + R_{K3} + R_{K4} + R_{Ci}$$

$$R_T = 0,12 + \frac{0,02}{0,65} + \frac{0,01}{0,036} + \frac{0,155}{1,75} + \frac{0,02}{0,35} + 0,12 \left(\frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} \right)$$

$$R_T = 0,69 \left(\frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} \right)$$

$$U_{Muro} = \frac{1}{R_T} \rightarrow \frac{1}{0,69} \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \right) \rightarrow U_{Muro} = 1,44 \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \right)$$

Pudiendo así determinar la transferencia de calor entre el Laboratorio y el hall de acceso.

$$Q_{Muro\ hall} = A_{Muro} * U_{Muro} * (t_i - t_e) \text{ (W)}$$

$$Q_{Muro\ hall} = 0,912 * 1,44 * (20 - 10) \text{ (W)}$$

$$Q_{Muro\ hall} = 13,13 \text{ (W)}$$

A continuación, se mostrará un cuadro resumen con todos los cálculos asociados a la pared sur, en donde se contemplan los calores intercambiados entre las dos zonas de albañilería que está diseñado el baño de docentes, además del calor que se intercambiará en la misma pared sur, pero esta vez entre la puerta interior que esta posee y los vidrios que esta misma tiene en su composición.

Resumen de transferencia de calor sensible muro N° 4

Pared sur	Área (m ²)	U (W/m ² K)	(t _i -t _e) °C	Q _{total} (W)
Muro hall	0,91	1,44	12,00	13,13
Muro Baño 1	15,16	1,54	10,00	233,46
Muro Baño 2	7,55	1,50	10,00	113,02
Ventana	1,87	4,10	12,00	76,7
Puerta	2,85	3,50	12,00	99,68
Q _{Muro sur}				535,99

Tabla 5.3 Transferencia de calor muro n°4

5.1.4 Calor transferido a través del piso

El piso de esta zona está compuesto de Pavimento vinílico de alto tráfico de 32 mm de espesor, su área total corresponde a 39,18 m² y su perímetro exterior 18 m.

Calor perdido a través del piso (Q_{Piso}).

$$Q_{Piso} = H * P * \Delta T \quad (W)$$

Dónde:

“H” es el coeficiente de transferencia lineal perimetral = 1(W/ m K). Ya que corresponde a un piso aislado.

“P” es el perímetro del muro exterior = 18 m

ΔT Corresponde a la variación de temperatura (exterior – interior) = 15 °C.

Reemplazando los valores se obtiene:

$$Q_{Piso} = 1 * 18 * 15 \quad (W)$$

$$Q_{Piso} = 270 \quad (W)$$

5.1.5 CALOR TRANSFERIDO A TRAVÉS DEL TECHO.

La superficie del techo de esta zona es de 39,18m² y está construido de una línea de enlucido de losa de 0,02 mm de espesor, con un núcleo de Hormigón armado de 0,155 m. y pavimento vinílico de alto tráfico de 32 mm espesor ya que, en el segundo piso, es decir la sala que se encuentra inmediatamente sobre el laboratorio de metrología corresponde al laboratorio de materiales el cual es de uso diario tanto por el alumnado como los docentes, es por esto que este sector se encontrara calefaccionado, con lo que no habrá intercambio de energía entre estos dos recintos, por lo tanto se obtendrá lo siguiente:

$$Q_{Cielo} = 0 \quad (W)$$

5.1.6 Cálculo de la capacidad del equipo

Carga necesaria transferida para un equipo de calefacción en muros, ventanas, puertas, cielo y pisos.

$$Q_{equipo} = \sum A_i * U_i * \Delta t_i * (1 + S_1 + S_0) + Q_{aire} * R * H * S_2$$

Dónde:

S_0 = Coeficiente por intermitencia en el servicio de calefacción. Se obtiene según interrupción de potencia o reducción v/s permeabilidad térmica, establecido según tabla número 6, Nch1078.c73. Este coeficiente está contemplado para paredes y cielo solamente. Pero para nuestro caso en estudio no habrá intermitencia en el periodo de calefacción, ya que dentro de la normativa para los laboratorios de calibración este debe permanecer en constante funcionamiento, por lo tanto, el valor corresponderá a 0.

S_1 = Es un coeficiente de corrección por radiación solar, se obtiene con la orientación cardinal de la pared a analizar, establecido según la tabla número 7, Nch1078.c73. Para las paredes que no den hacia la intemperie y el cielo se toma por criterio como pared sur, este coeficiente no contempla pisos.

Carga de equipo por pérdida de infiltración de aire.

$$Q_{Aire} = \dot{m}_{Aire} * C_{P\ aire} * (t_i - t_e) \text{ (W)}$$

\dot{m}_{Aire} : masa de aire infiltrada.

$$\dot{m}_{Aire} = \rho_{aire} * V_{infiltrado}$$

$$\rho_{aire}: 1,2 \left(\frac{Kg}{m^3} \right)$$

$$V_{infiltrado} = V_{Local} * N^{\circ}RH$$

$N^{\circ}RH$: Número de renovaciones de aire por hora, este número depende del tipo de recinto en estudio, el cual para nuestro caso corresponderá a 1,5, ya que contamos con una habitación con ventanas o puertas exteriores en 2 lados.

$$V_{Local} = Largo * Alto * Ancho (m^3)$$

$$V_{Local} = 8,3 * 3,52 * 4,35 (m^3) \rightarrow V_{Local} = 127,1 (m^3)$$

$$V_{infiltrado} = 127,1 (m^3) * 1,5 \rightarrow 190,65 \left(\frac{m^3}{h} \right)$$

$$\dot{m}_{Aire} = \rho_{aire} * V_{infiltrado}$$

Con $\rho_{aire}: 1,2 \left(\frac{kg}{m^3} \right)$

$$\dot{m}_{Aire} = 1,2 \left(\frac{kg}{m^3} \right) * 190,65 \left(\frac{m^3}{h} \right) \rightarrow 0,0635 \left(\frac{kg}{Seg} \right)$$

Teniendo $C_{p\ aire} = 1004 \left(\frac{J}{kg\ K} \right)$

$$Q_{Aire} = 0,06355 \left(\frac{kg}{Seg} \right) * 1004 \left(\frac{J}{kg\ K} \right) * (20 - 5) (W)$$

$$Q_{Aire} = 957,1 (W)$$

5.1.7 Carga de calefacción total del recinto en estudio

5.1.7.1 Datos necesarios para el cálculo:

R =Factor característico del local, Locales con ventanas y puertas normales (Tabla

9 Nch1078.c73). se obtiene a partir de los valores entregados por $\frac{A_v}{A_p}$

A_v =Superficie de ventanas exteriores en m^2 .

A_p =Superficie de puertas interiores en m^2 .

H =Factor de protección del local con respecto al viento Tabla n° 10 Nch1078.c73

S_2 = Coeficiente referido en relación a la terminación del local a analizar con respecto al viento. Este coeficiente toma el valor de 1 ó 1,2 cuando el recinto ubicado en el vértice de casa o de 1 el resto de las situaciones

t_i = Temperatura interior de diseño.

t_e = Temperatura exterior de diseño establecido según tabla N°2, Nch1078.c73

5.1.7.2 Cálculo de suplemento S_1

Para efectos de cálculo $S_1 = -0,05$ para la pared Norte, y para la pared Noreste y Noroeste $S_1 = -0,05$ la pared Sur no presenta valor de S_1 , ya que, se encuentran en el interior de la planta.

5.1.7.3 Cálculo del factor característico de local R

Cálculo del factor característico de local R, locales con ventanas y puertas normales (tabla 9 Nch1078.c73)

$$\frac{A_v}{A_p} = \frac{6,677}{2,848} = 2,344$$

Al ser ventanas de metal no herméticas y el valor de $\frac{A_v}{A_p} \leq 6$ tenemos que el valor de R es iguala 0,9.

5.1.7.4 Cálculo del factor característico de casa "H"

Para el recinto en estudio se considerará una localidad de vientos intensos, situación despejada y como casa independiente ya que el recinto no cuenta con otros edificios ubicados a continuación por lo tanto el valor de H= 0,84.

5.1.7.5 Cálculo suplemento S_2

Para el recinto en estudio se toma el valor de $S_2 = 1,2$ ya que se considera como casa esquina al encontrarse ubicado en el vértice izquierdo de la planta baja del edificio en cuestión.

Teniendo todos los valores anteriores estamos en condiciones de determinar la carga total de calefacción del equipo para el laboratorio de metrología.

5.1.8 Resumen total de carga de calefacción Condición de invierno

t_a	20	t_{ext}	5	Vel viento (m/s)	3,53
$t_{baños}$	10	$t_{hall\ acceso}$	10		

Pared	Sección	Qcalefaccion (W)	$\Sigma Q_{calefa.}$	S0	S1	(1+S0+S1)	Qequipo	
							W	BTU/h
Pared Norte	Muro	410,66	823,65	0,00	-0,05	0,95	782,47	909,85
	Ventana	412,99						
	Puerta							
Pared Sur	Muro	359,61	535,99	0,00	0,00	1,00	535,99	623,24
	Ventana	76,70						
	Puerta	99,68						
Pared Este	Muro	279,70	279,70	0,00	-0,05	0,95	265,72	308,97
	Ventana	0,00						
	Puerta	0,00						
Pared oeste	Muro	279,70	279,70	0,00	-0,05	0,95	265,72	308,97
	Ventana	0,00						
	Puerta	0,00						
Piso		270,00	270,00	0,00	0,00	0,00	270,00	313,95
Sub Total							2119,89	2464,99

Q _{aire} (W)	R	H	S ₂	Q _{equipo}	BTU/h
957,1	0,9	0,84	1,2	868,28	1009,63

ρ_{aire} (Kg/m ³)	1,2
m_{aire} (Kg/sg)	0,0635
N° RH	1,5

Q _{total equipo}	2988,17	(W)
	3474,61	(BTU/h)

Cp aire (J/Kg K)	1004
------------------	------

Tabla 5.4 Carga de calefacción condición de invierno.

Aquí se puede observar que el $Q_{total\ equipo}$ tiene un valor de 2988,17 (W) ó 3474,61 (BTU/h) para calefacción en el periodo de invierno. Y la relación de calefacción con respecto al área del recinto es de:

$$\frac{2988,17 (W)}{39,18 (m^2)} = 76,27 \left(\frac{W}{m^2} \right)$$

5.2 Cálculo de carga térmica de Refrigeración.

En términos generales, el cálculo térmico de verano consiste en determinar las aportaciones de calor sensible y de calor latente a cada una de las zonas que componen la edificación que debe ser acondicionada.

La carga sensible ambiente la constituyen todas las aportaciones de calor al local en estudio, mientras que la carga de calor latente la constituyen todas las aportaciones de vapor de agua.

En la práctica, las fuentes más comunes de calor sensible son:

- a) La radiación solar que se transmite al interior a través de techos, vidrios y muros.
- b) El calor transmitido a través de los diferentes materiales, debido a la diferencia de temperatura entre el exterior y el interior.
- c) El calor sensible producido en el interior del local o locales por efecto de las luces, personas y eventuales disipaciones de potencia.
- d) El calor sensible debido a infiltraciones de aire.

Las fuentes generadoras de calor latente son normalmente:

- a) El vapor emitido por las personas que se encuentran en los ambientes considerados.
- b) El vapor introducido por infiltraciones de aire exterior, cuya humedad específica es en general superior a la del aire ambiente.
- c) Los eventuales procesos que se desarrollan en el interior de los citados ambientes que generen vapor.

Para complementar, es necesario agregar que las cargas térmicas mencionadas varían durante el transcurso del día y la noche, por lo tanto, es frecuente que el cálculo deba hacerse para distintas horas del día. Con ello se determina cuando la carga térmica citada es máxima para cada una de las zonas que deban ser acondicionadas.

5.2.1 Condiciones de diseño para la condición de verano

Las condiciones interiores de funcionamiento para el laboratorio permanecen constantes, ya que estas deben ser iguales a lo largo de todo el año independiente de las condiciones que se encuentren en el exterior del laboratorio. Es decir, la temperatura interior de cálculo será de 20 °C.

Los valores que sí tendrán una variación son los que se encuentran en el exterior, ya que las temperaturas no están estipuladas para el periodo comprendido al verano, es por esto que se usarán valores estadísticos obtenidos de anuarios meteorológicos correspondientes a la ciudad de Concepción. De donde se desprenden los siguientes valores.

$T_{\text{ext}} = 24$ °C y una velocidad media del aire de 2,5 m/seg.

5.2.2 Cálculo del calor sensible transmitido a través de los muros, pisos, techo y vidrios.

5.2.3 Calor transferido a través de muro n° 1 orientación norte.

El primer muro tendrá orientación norte por lo tanto tendrá gran incidencia de radiación solar. Por este motivo la fórmula que se utiliza para el cálculo de radiación en muros es:

$$Q_{Muro} = A_{Muro} * U_{Muro} * \Delta T_e$$

Donde

Q_m : Calor total que se transfiere a través de los muros en (W).

A_m : Área total del muro en (m²).

U_m : Coeficiente global de transferencia de calor en $\left(\frac{W}{m^2K}\right)$.

Δt_e : Diferencia equivalente de temperaturas en (°C).

Nótese que el cálculo es muy parecido a lo realizado para la condición de invierno, con la única excepción que las ganancias de calor no solo se deben al producto del área, el coeficiente global de transferencia de calor y la diferencia de temperaturas de la cara exterior con la interior, sino también al calor solar absorbido por los muros y ventanas exteriores. La insolación y la diferencia de temperatura exterior e interior, varían en el transcurso del día, por lo que la intensidad del flujo de calor a través de la cara exterior es inestable. Por este motivo se ha recurrido al concepto empírico de diferencia equivalente de temperatura (Δt_e), el cual será abordado más adelante.

Para continuar con este análisis, se plantea el cálculo del coeficiente global de transmisión U_{Muro} .

$$U_{Muro} = 1 / RT$$

Cálculo de la resistencia total R_T se realiza de igual manera que en el invierno.

$$R_T = R_{CI} + R_{K1} + R_{K2} + R_{K3} + R_{K4} + R_{Ce}$$

Observación: todas las Resistencia individuales permanecen constantes, es por esto que se utilizaran los mismos valores obtenidos para la condición de invierno a excepción de R_{Ce} ya que el valor variara debido a la disminución en la velocidad del viento en verano.

Cálculo de la resistencia térmica por convección en la cara exterior del muro (R_{Ce}).

$$R_{Ce} = 1 / he$$

Como el coeficiente de convección (he) es función de la velocidad del viento, se asume una velocidad de para invierno o 2,5 m/s. (basado condiciones meteorológicas de la ciudad de concepción en los últimos 10 años).

Cálculo de he . Se logra usando la siguiente expresión:

$$he = 5,8 + 4 * \vec{V}$$

Donde \vec{V} = Velocidad viento en m/s.

$$he = 5,8 + 4 * 2,5 \text{ (W/ m}^2\text{K)}.$$

$$he = 15,8 \text{ (W/ m}^2\text{K)}$$

Reemplazando en la fórmula anterior ($R_{Ce} = 1 / he$) obtenemos:

$$R_{Ce} = 1 / 15,8 \text{ (m}^2\text{K/ W)}.$$

$$R_{Ce} = 0,063 \text{ (m}^2\text{K/ W)}.$$

A continuación, con las resistencias obtenidas, calculamos (R_T)

$$R_T = R_{CI} + R_{K1} + R_{K2} + R_{K3} + R_{K4} + R_{Ce}$$

$$R_T = 0,12 + 0,05 + 0,555 + 0,0885 + 0,0142 + 0,063$$

$$R_T = 0,8907 \text{ (m}^2\text{K / W)}$$

Obtenido este dato calculamos el coeficiente global de transmisión de calor a través del muro (U_{Muro})

$$U_{Muro} = 1 / R_T$$

$$U_{Muro} = 1 / 0,8907 = 1,12 \text{ (W/m}^2\text{K)}$$

Para determinar la diferencia de temperatura equivalente se considera la fórmula siguiente dada por manual Carrier:

$$\Delta T_e = \alpha + \Delta T_{es} + b * \frac{R_s}{R_m} * (\Delta T_{em} - \Delta T_{es})$$

Dónde:

α : Temperatura de corrección obtenida de la Tabla 20 A del Manual de "Carrier". Esta tabla considera un incremento distinto de 8°C entre la temperatura interior y exterior (la última tomada a las 15 horas. del mes considerado). Además, considera una temperatura seca exterior distinta de 11°C.

Cálculo del valor de α :

Si se considera una temperatura de diseño interior constante de 20 °C y la temperatura media medida a las 15 horas del mes de enero es de 26 grados, podemos concluir:

$$26\text{ }^{\circ}\text{C} - 20\text{ }^{\circ}\text{C} = 6\text{ }^{\circ}\text{C}$$

El resultado de 6°C, es el primer dato para ingresar a la tabla 20 A del Manual de "Carrier", página 57. Luego, con la diferencia de temperaturas en las 24 horas., se obtiene:

$$T_{Max} - T_{Min} = (24 - 11,4) = 12,6 \gg 13\text{ }^{\circ}\text{C}$$

Teniendo estos dos resultados, se ingresa en la Tabla 20 A, para obtener el valor de la temperatura de corrección. Para este caso es:

$$\alpha = -3,1\text{ }^{\circ}\text{C}$$

ΔT_{es} : Diferencia equivalente de temperatura a la hora considerada para la pared a la sombra, obtenida del "Carrier", Tabla 19, página 56.

ΔT_{em} : Diferencia equivalente de temperatura a la hora considerada para la pared soleada, obtenido del "Carrier", Tabla 19, página 56.

Para el uso de esta tabla debemos considerar el peso del muro y la orientación geográfica de éste, para nuestro caso el peso de la albañilería es de 454 kg/m² según la tabla 21 del manual "Carrier", y la orientación del muro corresponde a orientación Norte.

Con esto datos estamos en capacidad de entrar a la tabla, en donde encontramos los siguientes valores correspondientes a ΔT_{es} y ΔT_{em}

Orientación	Diferencia equivalente de Temperatura en °C													
	Mañana					Tarde								
Norte														
Hora solar	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
ΔT_{es}	1,10	1,10	1,10	1,70	2,20	4,40	6,70	8,30	8,90	10,00	10,00	8,30	7,80	6,10
ΔT_{em}	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	1,10	1,70	2,20	2,80	2,80	2,80	4,40	3,90

Tabla 5.5 Diferencia equivalente de T°

Para el coeficiente de absorción b que se encuentra en la página 58 del manual “Carrier” se considera lo siguiente:

b= 1 Para colores de los muros oscuros.

b= 0,78 Para colores de los muros Verdes, Azul o Grises claros.

b= 0,55 Para colores de los muros Claras, Cremas, etc.

Por lo tanto, para nuestro caso el valor de b=0,55 ya que las paredes en su totalidad poseen color crema.

Determinación de R_s y R_m :

R_s : Máxima insolación a través de una superficie acristalada vertical para la orientación considerada en (Kcal/hm²), correspondiente al mes y latitud supuestos, en que, para nuestro caso, se considerara Latitud Noreste 40 ° y el mes de enero, dato obtenido del “Carrier”, Tabla 6, página 23. En donde cuyo valor obtenido es:

$$R_s: 339 \left(\frac{kcal}{h m^2} \right) \text{ ó } 394 \left(\frac{W}{m^2} \right)$$

El valor debe ser multiplicado por un factor de corrección de valor 1,17 debido a Corrección por marco metálico, por esto queda de la siguiente manera:

$$R_s: 339 * 1,17 \rightarrow 396,63 \left(\frac{kcal}{h m^2} \right) \text{ ó } 461,2 \left(\frac{W}{m^2} \right)$$

Otro factor de corrección que se le debe aplicar a este valor es la suma del 7% de los datos obtenidos, por el solo hecho de pertenecer al mes de enero o diciembre para la latitud sur, cuyo valor corresponde a:

$$R_s: 339 * 0,07 + 396,63 \rightarrow 420,36 \left(\frac{kcal}{h m^2} \right) \text{ ó } 488,8 \left(\frac{W}{m^2} \right)$$

R_m : : máxima insolación en el mes de julio, a 40° latitud norte, a través de una superficie acristalada, vertical, para la orientación considerada(Norte). Este dato es obtenido del manual de “Carrier”, Tabla 6, página 23.

$$R_m = 339 \left(\frac{kcal}{h m^2} \right) \text{ ó } 380,9 \left(\frac{W}{m^2} \right)$$

Con los valores obtenidos estamos en condiciones de calcular la diferencia equivalente de temperatura corregida ΔT_e . el resultado detallado se muestra en la siguiente tabla adjunta:

$$\Delta T_e = \alpha + \Delta T_{es} + b * \frac{R_s}{R_m} * (\Delta T_{em} - \Delta T_{es})$$

Orientación	Diferencia equivalente de temperatura corregida (ΔT_e) para muro orientación Norte													
	Mañana					Tarde								
Norte														
Hora solar	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
α	-3,10	-3,10	-3,10	-3,10	-3,10	-3,10	-3,10	-3,10	-3,10	-3,10	-3,10	-3,10	-3,10	-3,10
ΔT_{es}	1,10	1,10	1,10	1,70	2,20	4,40	6,70	8,30	8,90	10,00	10,00	8,30	7,80	6,10
b	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55
R_s	420,36	420,36	420,36	420,36	420,36	420,36	420,36	420,36	420,36	420,36	420,36	420,36	420,36	420,36
R_m	339,00	339,00	339,00	339,00	339,00	339,00	339,00	339,00	339,00	339,00	339,00	339,00	339,00	339,00
ΔT_{em}	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	1,10	1,70	2,20	2,80	2,80	2,80	4,40	3,90
ΔT_e	-2,75	-2,75	-2,75	-2,56	-2,40	-1,36	-0,22	0,70	1,23	1,99	1,99	1,45	2,38	1,50

Tabla 5.6 Diferencia equivalente de temperatura

Obteniendo el valor de la diferencia equivalente de temperatura estamos en condiciones de retomar el cálculo del calor aportado a través del muro.

$$Q_{Muro} = A_{Muro} * U_{Muro} * \Delta T_e$$

Calor aportado a través del muro con orientación Norte.

Muro Norte	Diferencia equivalente de temperatura corregida (ΔT_e) para muro orientación Norte													
	Mañana					Tarde								
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
ΔT_e	-2,75	-2,75	-2,75	-2,56	-2,40	-1,36	-0,22	0,70	1,23	1,99	1,99	1,45	2,38	1,50
A_m (m ²)	24,04	24,04	24,04	24,04	24,04	24,04	24,04	24,04	24,04	24,04	24,04	24,04	24,04	24,04
U_m (W/m ² k)	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14
Q_m	-75,30	-75,30	-75,30	-70,08	-65,73	-37,23	-6,00	19,13	33,70	54,48	54,48	39,68	65,20	41,06

Tabla 5.7 Calor aportado muro norte.

De la tabla anterior se puede deducir que el mayor aporte solar para la orientación Norte se produce entre las 17:00 y las 18:00 horas. Sin embargo, habrá que analizar los demás muros según las orientaciones y las distintas horas del día, para así realizar la sumatoria y ver en qué hora del día se produce la mayor ganancia o aporte solar.

5.2.4 Muro orientación Oeste

El muro oeste está compuesto del mismo material y además posee las mismas medidas en los espesores de los compuestos. Utilizando el mismo método de cálculo que para el muro anterior se obtienen los siguientes resultados.

Orientación Oeste	Diferencia equivalente de Temperatura en °C													
	Mañana					Tarde								
Hora solar	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
ΔT_{es}	3,30	3,30	3,30	3,30	3,30	3,90	4,40	5,50	6,70	9,40	11,10	13,90	15,60	15,00
ΔT_{em}	3,30	4,40	7,80	11,10	13,30	13,90	13,30	11,10	10,00	8,90	7,80	7,80	7,80	7,20

Tabla 5.8 Diferencia equivalente de T° .

Para obtener el ΔT_e se siguen los mismos pasos a diferencia que los valores de R_s y R_m variaran según la orientación del muro, es por esto que la tabla se presenta de la siguiente manera:

- $R_s: 550,56 \left(\frac{Kcal}{h m^2}\right)$ ó $640,2 \left(\frac{W}{m^2}\right)$
- $R_m = 444 \left(\frac{Kcal}{h m^2}\right)$ ó $516,3 \left(\frac{W}{m^2}\right)$

Orientación Oeste	Diferencia equivalente de temperatura corregida (ΔT_e) para muro orientación Oeste													
	Mañana					Tarde								
Hora solar	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
α	-3,10	-3,10	-3,10	-3,10	-3,10	-3,10	-3,10	-3,10	-3,10	-3,10	-3,10	-3,10	-3,10	-3,10
ΔT_{es}	3,30	3,30	3,30	3,30	3,30	3,90	4,40	5,50	6,70	9,40	11,10	13,90	15,60	15,00
b	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55
R_s	550,56	550,56	550,56	550,56	550,56	550,56	550,56	550,56	550,56	550,56	550,56	550,56	550,56	550,56
R_m	444,00	444,00	444,00	444,00	444,00	444,00	444,00	444,00	444,00	444,00	444,00	444,00	444,00	444,00
ΔT_{em}	3,30	4,40	7,80	11,10	13,30	13,90	13,30	11,10	10,00	8,90	7,80	7,80	7,80	7,20
ΔT_e	0,20	0,95	3,27	5,52	7,02	7,62	7,37	6,22	5,85	5,96	5,75	6,64	7,18	6,58

Tabla 5.9 Corrección de T° .

Por lo tanto, el valor de corrección de temperatura ΔT_e según la siguiente fórmula presenta los siguientes valores para la pared con orientación Oeste.

$$\Delta T_e = \alpha + \Delta T_{es} + b * \frac{R_s}{R_m} * (\Delta T_{em} - \Delta T_{es})$$

Obteniendo el valor de la diferencia equivalente de temperatura estamos en condiciones de retomar el cálculo del calor aportado a través del muro.

$$Q_{Muro} = A_{Muro} * U_{Muro} * \Delta T_e$$

En donde el aporte solar para la pared orientación Oeste es el siguiente:

Muro Oeste	Diferencia equivalente de temperatura corregida (ΔT_e) para muro orientación Oeste													
	Mañana					Tarde								
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
ΔT_e	0,20	0,95	3,27	5,52	7,02	7,62	7,37	6,22	5,85	5,96	5,75	6,64	7,18	6,58
A_m (m ²)	16,37	16,37	16,37	16,37	16,37	16,37	16,37	16,37	16,37	16,37	16,37	16,37	16,37	16,37
U_m (W/m ² k)	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14
Q_m	3,73	17,72	60,95	102,92	130,89	142,08	137,41	115,96	109,09	111,11	107,20	123,80	133,88	122,69

Tabla 5.10 Diferencia equivalente de T° muro orientación oeste.

Aquí se observa que el mayor aporte solar para la pared con orientación Oeste se produce a las 20:00, a diferencia de la pared anterior, por esto se procede a verificar la próxima pared con orientación Este para ver en qué hora del día se producirá el mayor aporte.

5.2.5 Calor transferido a través del muro orientación Este

Para este caso solo se calcula el calor transferido por conducción, ya que este muro no se encuentra expuesto a la radiación solar, ya que se encuentra tapado por la continuación de la edificación, por tanto, se determina de la siguiente manera:

El método de cálculo utilizado es el mismo realizado para invierno, con la diferencia que la resistencia por convección exterior (R_{ce}), varía debido a la disminución de la velocidad del viento considerado. Se asume una velocidad del viento de 2,5 m/s. Para efecto de cálculos se utilizan las temperaturas registradas en la siguiente tabla

Temperaturas del día elegido mes de Enero														
Orientación Este	Hora													
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
$^\circ\text{C}$	13	15	17	19	20	21	23	22	22	22	22	21	18	17
t_i	20													

Tabla 5.11 Temperatura mes de enero.

Para el cálculo del calor transferido a través del Muro N°3, se utiliza la siguiente fórmula:

$$Q_{Muro} = A_{Muro} * U_{Muro} * (\Delta t)$$

En la cual el área es constante y el “ U_{Muro} ” sufre una pequeña diferencia debido al cambio de velocidad en el exterior del recinto, por tanto:

$$R_T = 0,89(m^2K / W)$$

Obtenido este dato calculamos el coeficiente global de transmisión de calor a través del muro (U_{Muro})

$$U_{Muro} = 1 / R_T$$

$$U_{Muro} = 1 / 0,89 = 1,12(W/m^2K)$$

Con los últimos valores obtenidos estamos en condiciones de determinar el aporte al muro Este por conducción.

$$Q_{Muro} = A_{Muro} * U_{Muro} * (\Delta t)$$

Tabla de calor aportado por Convección-Conducción a través muro Este														
Orientación	Hora													
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Este														
Área (m ²)	16,37	16,37	16,37	16,37	16,4	16,4	16,4	16,4	16,4	16,4	16,4	16,4	16,37	16,37
U_{Muro} (W/m ² K)	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12
(t_i-t_e)	-7	-5	-3	-1	0	1	3	2	2	2	2	1	-2	-3
Qm	-128,34	-91,67	-55,00	-18,33	0,00	18,33	55,00	36,67	36,67	36,67	36,67	18,33	-36,67	-55,00

Tabla 5.12 Calor aportado muro este.

Aquí se observa que el mayor calor aportado se produce a las 14:00 para la pared con orientación Este.

2.2.6 Calor transferido a través de las ventanas

Para la evaluación de la carga de calor que ingresa por los vidrios de la pared se requiere calcular el calor aportado al recinto por efecto de la radiación solar, más el calor aportado por conducción-convección. Es importante señalar que solo se evaluara la pared norte, ya que es la única que posee ventanas expuestas a la radiación solar, ya que las demás son ventanas interiores, es decir no reciben aporte por radiación. Por lo cual utilizaremos la siguiente formula obtenido del manual "Carrier":

$$Q_{TV} = \sum(A_V * G_{Max} * F_a) + A_V * U_V * (t_e - t_i) (W)$$

Dónde:

Q_{TV} : Calor total que se transfiere a través de los vidrios (W)

A_V : Área total de cada vidrio.

G_{Max} : Aportación solar máxima de calor que se transfiere a través del vidrio. Esta determinado según la orientación, mes y latitud geográfica. Para el este caso, analizaremos los meses de enero, febrero y marzo para 40° de Latitud Sur, cuyos valores de aporte de calor por radiación se obtienen de la Tabla N° 15, página 41 del Manual de "Carrier". Este valor se debe multiplicar por 1,17 debido a un factor de corrección por marco metálico del cristal. Y Otro factor de corrección, que se le debe aplicar a este valor es la suma del 7 % a los datos obtenidos, sólo por corresponder a cálculos de diciembre a enero de Latitud Sur.

6.1 Ganancias de ventanas en el mes de Enero en $\left(\frac{W}{m^2}\right)$.

Orientación Norte	Hora										
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Ganancias en $\left(\frac{W}{m^2}\right)$.	50,46	101,2	171,6	245,3	269,7	245,3	171,6	101,2	50	38,95	18,7

Tabla 5.13 Ganancias de ventanas mes de enero.

6.2 Ganancias de ventanas en el mes de Febrero en $\left(\frac{W}{m^2}\right)$.

Orientación Norte	Hora										
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Ganancias en $\left(\frac{W}{m^2}\right)$.	79,1	160,5	279,1	305,8	320,9	305,8	279,1	160,5	79,1	24,4	8,9

Tabla 5.14 Ganancias de ventanas mes de enero.

6.3 Ganancias de ventanas en el mes de Marzo en $\left(\frac{W}{m^2}\right)$.

Orientación Norte	Hora										
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Ganancias en $\left(\frac{W}{m^2}\right)$.	138,4	254,7	346,5	383,7	440,7	383,7	346,5	254,7	138,4	37,2	0

Tabla 5.15 Ganancias de ventanas mes de enero.

Como se puede observar los mayores valores de radiación G_{Max} para la orientación norte se producen a las 12:00 independiente del mes en que se evalué, pero dentro de estos meses evaluados es en el mes de marzo en donde se aprecia el mayor valor de G_{Max} para la ventana de esa orientación.

F_a : : corresponde al “factor de almacenamiento” sobre la carga térmica. Depende de la capacidad del material para retener calor y está determinado por la orientación, latitud y el peso de la superficie del muro. Para el caso en estudio corresponde 40° de Latitud Sur y un peso del muro de 1320 Kg/m².

Finalmente, con los datos obtenidos e ingresando a la Tabla N° 8, página 28 del Manual de “Carrier”, para locales con funcionamiento de 24 horas y temperatura interior constante, se obtiene el valor del factor de almacenamiento.

Para el cálculo del peso del muro se recurre a la siguiente relación obtenida del Manual de “Carrier”, página 25, correspondiente a un local con uno o dos muros exteriores.

$$\text{Peso por m}^2 \text{ de piso} = \frac{(\text{Peso de muros exteriores, Kg}) + 0,5(\text{Peso tabiques, suelo y techo, kg})}{\text{Superficie del suelo del local en m}^2}$$

Los resultados de los pesos de los muros exteriores se encuentran detallados a continuación:

Peso muros exteriores				
Muro	Espesor (m)	Área (m ²)	ρ (Kg/m ³)	Peso (Kg)
Norte	0,2	24,04	2400	11539,2
Este	0,2	16,37	2400	7857,6
Oeste	0,2	16,37	2400	7857,6
Total (Kg)				27254,4

Tabla 5.16 Peso muros exteriores.

Peso muros interiores, techos y pisos:

Peso muros interiores, piso y techo				
Zona	Espesor (m)	Área (m ²)	ρ (Kg/m ³)	Peso (Kg)
Muro int.	0,2	23,662	2400	11357,76
Techo	0,2	39,18	2400	18806,4
Piso	0,2	39,18	2400	18806,4
Total (Kg)				48970,56

Tabla 5.17 Peso muros interiores, piso y techo.

Aplicando la formula obtenemos lo siguiente:

$$\text{Peso por m}^2 \text{ de piso} = \frac{(\text{Peso de muros exteriores, Kg}) + 0,5(\text{Peso tabiques, suelo y techo, kg})}{\text{Superficie del suelo del local en m}^2}$$

$$\text{Peso por m}^2 \text{ de piso} = \frac{27254,4 + 0,5(48970,56)}{39,18} \rightarrow 1320 \left(\frac{\text{Kg}}{\text{m}^2}\right)$$

Con lo que finalmente podemos entrar a la tabla n° 8 página 25 del manual “Carrier” y determinar el factor de almacenamiento F_a

Factor de almacenamiento sobre carga térmica F_a											
Orientación	Hora										
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Norte											
Ganancias en $\left(\frac{W}{m^2}\right)$	0,15	0,23	0,32	0,41	0,48	0,56	0,59	0,59	0,56	0,48	0,43

Tabla 5.18 Factor de almacenamiento.

Multiplicando todos los valores obtenidos por el área de los vidrios podemos determinar el calor aportado al recinto por efecto de la radiación solar para cada hora considerada en los meses de Enero, Febrero y marzo.

Resumen de calor aportado $A_V * G_{Max} * F_a$

Orientación	Calor aportado al recinto por radiación										
	Hora										
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Norte											
Enero	86,51	266,2	633,5	1131,2	1493	1551,4	1154	678,7	319,4	215,6	91,4
Febrero	129,6	423,2	1035	1411,4	1777	1935,6	1885	1079	478,4	135,2	45,4
Marzo	237,2	671,6	1279	1770,9	2441	2428,7	2330	1712	875,8	206,1	0,0
Avidrio (m ²)	11,34										

Tabla 5.19 Calor aportado por radiación.

Como se aprecia en la tabla anterior podemos observar que los mayores aportes se encuentran entre las 12:00 y 13:00 de los distintos meses, pero a pesar de ello el mayor aporte se produce en el mes de marzo a las 12:00 horas del mediodía.

Luego se procede con el cálculo del coeficiente global de transmisión a través del vidrio U_{vidrio} , el cual solo sufre una pequeña modificación debido a la velocidad del viento como vimos en los casos anteriores, es por esto que su valor es el siguiente:

$$U_{vidrio} = 1 / R_T$$

$$U_{vidrio} = 1 / 0,1871 \rightarrow 5,34 \text{ (W/m}^2\text{K)}$$

Para calcular luego el calor aportado por conducción y convección, se debe tener las temperaturas exteriores del día del mes elegido para los cálculos. Los detalles de estas temperaturas se muestran en la siguiente tabla:

Temperaturas del día elegido															
Orientación	Hora														
Norte	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
°C	13	15	17	19	20	21	23	22	22	22	22	21	18	17	
t_i	20														

Tabla 5.20 Temperatura exteriores.

Determinados estos valores procedemos a calcular los calores aportados por efecto de la Convección y Conducción, los cuales se adjuntan en la siguiente tabla:

Tabla de calor aportado por convección y conducción														
Orientación	Hora													
Norte	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
Área (m ²)	11,34	11,34	11,34	11,34	11,34	11,34	11,34	11,34	11,34	11,34	11,34	11,3	11,34	
U_v (W/m ² K)	5,34	5,34	5,34	5,34	5,34	5,34	5,34	5,34	5,34	5,34	5,34	5,34	5,34	
($t_i - t_e$)	-7	-5	-3	-1	0	1	3	2	2	2	2	1	-2	
Q_v	-423,89	-302,78	-181,67	-60,56	0,00	60,56	181,67	121,11	121,11	121,11	121,11	60,56	-121,11	

Como bien se mencionó al inicio del cálculo, que el calor aportado a través del vidrio de una pared es igual a la suma por el calor aportado por conceptos de radiación, más los aportes con Convección y Conducción. Los cuales son resumidos en la siguiente tabla resumen.

$$Q_{TV} = \sum(A_V * G_{Max} * F_a) + A_V * U_V * (t_e - t_i) (W)$$

Tabla de calor aportado Total por acristalamiento											
Muro Norte	Hora										
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Radiación	237,20	671,57	1279,35	1770,92	2440,65	2428,69	2330,25	1712,50	875,80	206,07	0,00
Convección	-423,89	-302,78	-181,67	-60,56	0,00	60,56	181,67	121,11	121,11	121,11	121,11
$Q_{TV} (W)$	-186,69	368,79	1097,69	1710,36	2440,65	2489,24	2511,92	1833,61	996,91	327,18	121,11

Tabla 5.21 Calor aportado por acristalamiento.

Es importante señalar que no se producen ganancias por efectos de radiación en la pared sur del local en estudio, ya que colinda con una superficie que se encuentra dentro del departamento de ingeniería, así mismo sucede algo similar con el cielo del mismo local, ya que colinda inmediatamente con el local que se encuentra sobre dicha sala en el nivel superior, por esto mismo no se consideran en el cálculo de Refrigeración en la estación de verano.

2.2.7 Ganancias producidas por las personas

Las personas en razón de su metabolismo, generan calor en su interior. La intensidad de esta energía es variable según el individuo, la actividad desarrollada y la temperatura ambiente. El cuerpo humano tiene la facultad de expulsar hacia el exterior una cantidad más o menos importante de esta energía por medio de la radiación, convección y conducción desde su superficie, por convección y evaporación a través del sistema respiratorio.

Para determinar el calor sensible por persona, se recurre a la tabla 48, página 94 del Manual de "Carrier", la cual ha sido elaborada en base a la cantidad media de calor desarrollada por un hombre adulto de 68 kilogramos de peso.

Para el laboratorio en estudio se considera un máximo de personas de 3 para el uso cotidiano del laboratorio, además de esto se estima que el grado de actividad para ubicarse en la tabla 48 del manual corresponderá a de pie con marcha lenta, o sentado, de pie. Por lo tanto, para efectos de cálculo los valores asignados por persona son los siguientes:

- *Calor sensible* : $73 \left(\frac{\text{Kcal}}{\text{h}} \right)$ ó $84,88 \text{ (W)}$
- *Calor Latente* : $53 \left(\frac{\text{Kcal}}{\text{h}} \right)$ ó $61,62 \text{ (W)}$

Para efectuar el cálculo total se recurre a la siguiente fórmula:

$$Q_{Sen. ocupante} = \left(\frac{C_{Sensible} * N^{\circ}Personas}{0,86} \right) \text{ (W)}$$

$$Q_{Lat. ocupante} = \left(\frac{C_{Latente} * N^{\circ}Personas}{0,86} \right) \text{ (W)}$$

Observación: La fórmula se divide por 0,86 para transformar de Kcal/h a W

Entonces tenemos que:

$$Q_{Sen. ocupante} = \left(\frac{73 * 3}{0,86} \right) \rightarrow 254,7 \text{ (W)}$$

$$Q_{Lat. ocupante} = \left(\frac{53 * 3}{0,86} \right) \rightarrow 184,88 \text{ (W)}$$

Por lo tanto, se calcula el Q_T aportado por las personas en el recinto en estudio, será el del calor sensible

$$Q_{Sen. ocupante} = \left(\frac{73*3}{0,86} \right) \rightarrow 254,7 \text{ (W)}$$

2.2.8 Calor sensible aportado por alumbrado.

Las cargas reales de refrigeración se deben determinar aplicando los coeficientes de la tabla 12, página 29 del manual de CARRIER. Esta se aplica para equipos funcionando 24 horas y, tipo de alumbrado fluorescente no empotrado y 1320 kg/m² de superficie de suelo según las especificaciones de nuestro local en estudio.

El alumbrado lo componen 8 equipos fluorescentes, los cuales cada uno de ellos posee 3 tubos de 38 (W), de marca OSRAM Lumilux T8. El régimen de utilización de alumbrado es de 24 horas continuas por tanto los valores de los factores obtenidos de la tabla 12 del manual “Carrier” deben ser extrapolados luego de la hora 10 de funcionamiento de las luces, ya que dicha tabla está diseñada en base a esa cantidad de horas de alumbrado.

Por lo tanto, los valores obtenidos son los siguientes:

	Factor de almacenamiento debido al alumbrado																							
Horas Fun.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Factor	0,34	0,55	0,61	0,65	0,68	0,71	0,74	0,77	0,79	0,81	0,83	0,85	0,87	0,89	0,91	0,93	0,95	0,97	0,99	1,01	1,03	1,05	1,07	1,09

Tabla 5.22 Factor de almacenamiento debido al alumbrado.

El cálculo se efectuará según la siguiente formula determinada por el manual:

$$Q_{Alumbrado} = N^{\circ}_{Ampolletas} * Potencia_{Ampolleta} * Factor\ almacenamiento$$

Al tener un total de 24 tubos fluorescentes y una potencia de 38 watts de cada una de ellas procedemos a multiplicar por el factor de almacenamiento correspondiente a la hora de funcionamiento para así obtener el calor sensible aportado por el alumbrado.

Calor sensible aportad por el alumbrado

Calor sensible aportado por el alumbrado																								
Horas Fun.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Q _{alum.} (W)	310	502	556	593	620	648	675	702	720	739	757	775	793	812	830	848	866	885	903	921	939	958	976	994

Tabla 5.23 Calor sensible aportado por alumbrado.

Aquí se observa que el calor sensible aportado por el alumbrado aumenta según el periodo de utilización de las ampolletas, es importante señalar que, para la sumatoria final de refrigeración, se designará como hora 0 a las 12:00 de la noche del día anterior por lo tanto a las 8:00 am del día en estudio ya habrá un calor de aportación de 720 (W).

Ganancias producidas por los equipos.

Para determinar el calor sensible aportado por los equipos, solo se considerarán las computadoras, puesto que será el único artefacto que no posee regulador de temperatura en su composición, a diferencia de los demás utilizados en el laboratorio para temas de ensayo y calibración. Es por esto que se determinara de la siguiente manera:

$$Monitor + CPU computador = 70 (W) \rightarrow Calor sensible$$

Se contempla el uso de 1 solo computador para archivar los distintos tipos de ensayos o calibración dentro del laboratorio, por lo tanto, las ganancias producidas a partir de los equipos será la siguiente:

$$Q_{Equipos} = N^{\circ} equipos * Calor Sensible (W)$$

$$Q_{Equipos} = 1 * 70 \rightarrow 70 (W)$$

2.2.9 Calculo de calor sensible total aportado al Laboratorio de metrología.

Se deben sumar todos los calores sensibles aportados al laboratorio de metrología, los que en nuestro caso corresponden a los muros y acristalamiento en las distintas orientaciones, además de los calores sensibles aportados por los equipos, alumbrado y las personas que forman parte del laboratorio, por lo tanto, a continuación, se presenta el resumen de calores sensibles aportados en la siguiente tabla:

Calculo de calor Sensible transferido a través de muros, Ventanas, Alumbrado, Equipos y Personas											
Muro 1	Hora										
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Muro Norte	-75,30	-75,30	-75,30	-70,08	-65,73	-37,23	-6,00	19,13	33,70	54,48	54,48
Ventana	- 186,69	368,79	1097,69	1710,36	2440,65	2489,24	2511,92	1833,61	996,91	327,18	121,11
Muro 2											
Muro Este	- 128,34	-91,67	-55,00	-18,33	0,00	18,33	55,00	36,67	36,67	36,67	36,67
Muro 3											
Muro Oeste	3,73	17,72	60,95	102,92	130,89	142,08	137,41	115,96	109,09	111,11	107,20
Equipos	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00
Personas	254,70	254,70	254,70	254,70	254,70	254,70	254,70	254,70	254,70	254,70	254,70
Iluminación	720,48	738,72	756,96	775,20	793,44	811,68	829,92	848,16	866,40	884,64	902,88
SubTotal (W)	658,57	1282,95	2109,99	2824,76	3623,95	3748,80	3852,95	3178,23	2367,46	1738,78	1547,04

Tabla 5.24 Calor sensible total aportado.

Como se observa en la tabla mostrada el mayor aporte de calor sensible se percibe a las 14:00 con un total de $Q_{Sensible} = 3852,95(W)$, pero este no es el total puesto que se le debe sumar el calor latente aportado por las personas, es decir:

$$Q_{Total} = Q_{Sensible} + Q_{Latente}$$

en donde el calor Latente determinado anteriormente aportado por las personas es el siguiente:

$$Q_{Latente} = 184,88 (W)$$

Por lo tanto, el calor Q_{Total} aportado al Laboratorio de Metrología de la universidad del Bío-Bío del Departamento de Ingeniería Mecánica corresponde a:

$$Q_{Total} = Q_{Sensible} + Q_{Latente}$$

$$Q_{Total} = 3852,95 + 184,88 (W)$$

$$Q_{Total} = 4077,4 (W) \rightarrow 4741,2 BTU/h$$

Resumen de cargas térmicas para las condiciones de invierno y verano.

	Q (W)	Q (BTU/h)	Relación (W/ m ²)
Calefacción	2988,17	3474,61	76,27
Refrigeración	4077,4	4741,2	104,5

Tabla 5.25 Carga térmica condición de invierno y verano.

Como se puede observar la carga de refrigeración es mayor a la necesaria en el periodo de invierno, la cual es mayor en un 12% aproximadamente en comparación a la requerida en invierno. Es por esto que bajos las condiciones y los resultados obtenidos estamos en condiciones de seleccionar los componentes necesarios para cumplir con la demanda en los distintos periodos mencionados.

Capítulo 6

Primera Propuesta de climatización.

6.1 Bomba de calor Geotérmica con captadores horizontales.

6.1.1 ¿Qué es una bomba de calor geotérmica?

Es una máquina térmica capaz de transferir calor desde una fuente de baja temperatura a otra fuente de mayor temperatura suministrándole un trabajo externo. El fluido de trabajo de la máquina térmica es un refrigerante que tiene como propiedad principal cambiar de fase a bajas temperaturas. En virtud de lo anterior es que esta máquina térmica se conoce como máquina frigorífica o de refrigeración. Su aplicación particular como Bomba de Calor se debe a que en procesos de climatización es posible:

- Utilizar la fuente de mayor temperatura para calentar un ambiente.
- Utilizar la fuente de menor temperatura para enfriar un ambiente.

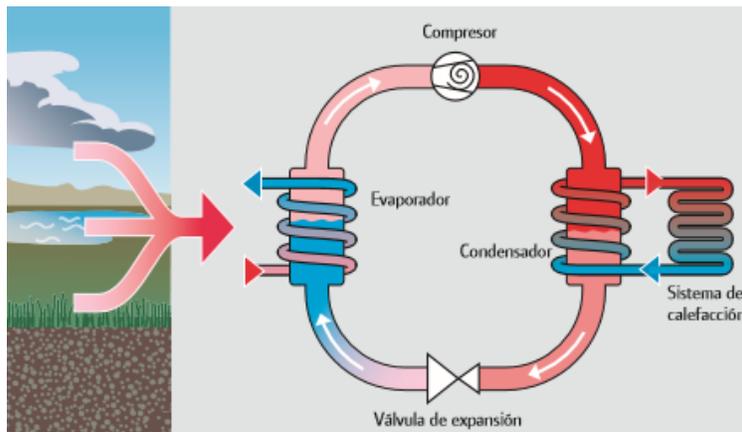


Figura 6.1 Bomba de calor geotérmica.

El funcionamiento cíclico en el interior de la bomba de calor consta de cuatro componentes: el evaporador, el compresor, el condensador y la válvula de expansión. El portador de la energía térmica es un refrigerante con un punto de ebullición extremadamente bajo. En el evaporador, el refrigerante absorbe el calor,

volviéndose gaseoso. En el compresor se eleva la temperatura del refrigerante gaseoso por compresión. Para ello, el dispositivo precisa de corriente eléctrica externa. En el condensador se suministra la energía térmica en el ciclo de calefacción. En la válvula de expansión, el refrigerante se expande para volver a comenzar el ciclo.

6.1.2 ¿Funcionamiento básico de la bomba de calor Geotérmica?

El calor fluye de forma natural desde las altas temperaturas a las bajas temperaturas. Sin embargo, la Bomba de Calor es capaz de forzar el flujo de calor en la dirección contraria, utilizando una cantidad de trabajo relativamente pequeña. Las Bombas de Calor pueden transferir este calor desde las fuentes naturales del entorno a baja temperatura (foco frío), tales como aire, agua o la propia tierra, hacia las dependencias interiores que se pretenden calefaccionar.

Las Bombas de Calor también pueden ser utilizadas para refrigerar. En este caso la transferencia de calor se realiza en el sentido contrario, es decir desde la aplicación que requiere frío al entorno que se encuentra a temperatura superior. En algunas ocasiones, el calor extraído en el enfriamiento es utilizado para cubrir una demanda simultánea de calor.

Para transportar calor desde la fuente de calor al sumidero de calor, se requiere aportar un trabajo. Teóricamente, el calor total aportado por la Bomba de Calor es el extraído de la fuente de calor más el trabajo externo aportado.

6.1.3 Ventajas y desventajas de la energía geotérmica

Las grandes ventajas de las bombas de calor radican en su alto rendimiento energético pues aporta dos o tres veces más que la que consume, a través de un sistema de circulación en el que calor emitido es recapturado y vuelto al ambiente; teniendo en cuenta que brinda ambos servicios (calefacción – refrigeración) el costo

de las bombas de calor es bajo y con los aparatos actuales el mantenimiento es escaso. También es una ventaja que los nuevos modelos estén diseñados con características decorativas que borran la imagen de los grandes aparatos anti estéticos del pasado. Lo mismo puede decirse del ruido, casi nulo, en los equipos nuevos de bombas de calor. La única limitación sería la señalada más arriba en cuanto a las zonas donde se ubique el edificio. Existen diferentes tipos de bombas de calor: compactos, partidos (diferencia que radica en si el equipo cuenta con uno o más unidades, respectivamente). También suele clasificarse a los equipos de bombas de calor en unitarios o individuales.

6.1.4 Sistema de captación Geotérmico.

Para nuestro caso se utilizara para el intercambio de calor captadores horizontal enterrados, para así aprovechar la temperatura de la tierra que se encuentra en las inmediaciones del edificio en cuestión, además de entender que se optó por esta opción ya que los terrenos que serán ocupados por lo captadores horizontales son de propiedad de la universidad del Bío-Bío ,por tanto no significaran costos adicionales para la implementación, y por otra parte los captadores horizontales presentan un menor valor en comparación a los captadores verticales Geotérmicos.

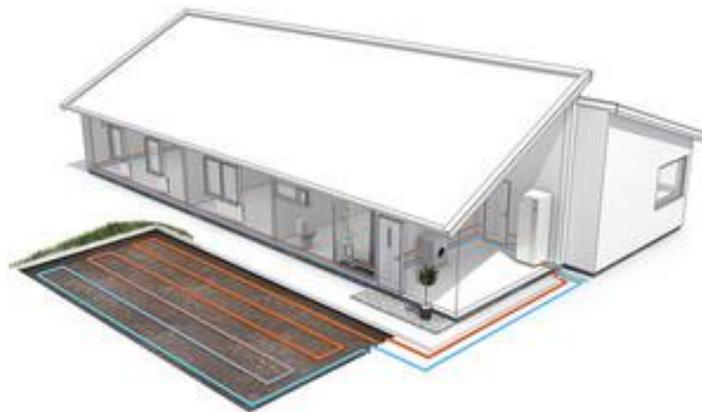


Figura 6.2 Sistema de captación Horizontal

Los captadores horizontales son una versión habitual de geotermia en lugares con disponibilidad de superficie. Consisten en circuitos de captadores horizontales, es decir, tuberías instaladas en paralelo a la superficie de la tierra. Dependiendo de los

distintos requisitos y condiciones, los circuitos de captadores geotérmicos individuales se instalan a una distancia de 0,5 a 0,8 m con tuberías de diámetro 32 mm; y de 1,2 a 1,5 m con tuberías de 40 mm. Los circuitos de captación se disponen de forma similar a un sistema de climatización por suelo radiante. Las líneas de suministro y de retorno de los circuitos se agrupan en cámaras o zanjas y se dirigen a la bomba de calor.

6.1.5 Elección de la bomba de calor.

Las especificaciones de la bomba de calor fijan varios parámetros de diseño del intercambiador enterrado. La bomba de calor determina el calor intercambiado con el suelo y el caudal circulante por el intercambiador de calor. Determina también la eficiencia del sistema COP (Coefficient of performance).

El COP de una bomba de calor es la relación entre la capacidad térmica de esta (Q) y su potencia eléctrica consumida para suministrar esta capacidad (W).

Definición de COP para ambos modos:

- Calculo del COP con la bomba de calor trabajando en modo calefacción:

$$COP_{Calefaccion} = \frac{Q_{Calefaccion}}{W_{Calefaccion}}$$

$$Q_{Absorbido} = Q_{Calefaccion} - W_{Calefaccion}$$

- Calculo del COP con la bomba de calor trabajando en modo refrigeración:

$$COP_{Refrigeracion} = \frac{Q_{Refrigeracion}}{W_{Refrigeracion}}$$

$$Q_{Inyectado} = Q_{Refrigeracion} + W_{Refrigeracion}$$

La selección de la bomba de calor se realiza a partir de un cálculo de cargas térmicas de acuerdo a las exigencias de diseño y dimensionado específicas.

Es por esto que al tener determinada las cargas tanto de calefacción y refrigeración obtenidas en el capítulo anterior nos encontramos en condiciones de determinar los distintos componentes involucrados en la captación de la energía geotérmica mediante intercambiadores horizontales enterrados, y de esto tenemos que los dimensionamientos de las necesidades térmicas son los siguientes:

Calefacción:

- Superficie del recinto: 39 m²
- Potencia Calefacción: 2,98 kW
- Potencia específica: 76,27 W/m²

Refrigeración:

- Superficie del recinto: 39 m²
- Potencia Refrigeración: 4,07 kW
- Potencia específica: 104,3 W/m²

Por lo tanto, con las potencias necesarias de las cargas térmicas del recinto, podemos seleccionar la bomba de calor, la cual se obtendrá del catálogo ENERTRES, en donde se presenta una amplia gama de bombas de calor, pero se elegirá una bomba de calor que cumpla con la demanda requerida y que sea de circuito cerrado, por eso dentro de las especificaciones técnicas que tienen la distinta gama de bombas de calor seleccionaremos la siguiente, teniendo en cuenta las condiciones necesarias.

6.1.5.1 Datos técnicos obtenidos catalogo ENERTRES.

Datos técnicos: TERRA S/W (-HGL/ BA) circuito cerrado y agua freática con refrigerante R410A											
Tipo	Potencia nominal ¹	Consumo eléctrico ¹	COP ²	Potencia nominal ¹	Consumo eléctrico ¹	COP ²	Caudales mínimos		Caudales mínimos		Conexiones Sole/ calefacción e Hidráulicas
	FREÁTICA Con S10°C/W35°C de acuerdo a norma EN14511			CIRCUITO CERRADO Con S0°C/W35°C de acuerdo a norma EN14511			Agua freática	Calefacción Frio	Circuito cerrado	Calefacción Frio	
SW 6 C	7.1 kW	1.30 kW	5.5	5.8 kW	1.30 kW	4.5	1750 l/h	1200 l/h	1400 l/h	1000 l/h	R 1"
SW 8 C	9.8 kW	1.67 kW	5.9	7.6 kW	1.67 kW	4.6	2300 l/h	1600 l/h	1800 l/h	1350 l/h	R 1"
SW 10 C	12.9 kW	2.20 kW	5.9	10.6 kW	2.20 kW	4.8	3000 l/h	2050 l/h	2600 l/h	1850 l/h	R 1"
SW 13 C	17.0 kW	2.77 kW	6.1	13.4 kW	2.78 kW	4.8	4050 l/h	2750 l/h	3450 l/h	2300 l/h	R 1"
SW 17 C	20.2 kW	3.70 kW	5.8	17.2 kW	3.63 kW	4.7	5100 l/h	3500 l/h	4050 l/h	2950 l/h	R 1 1/4" / R 1"

Figura 6.3 Datos técnicos Bomba de calor.

Como se observa esta bomba presenta dos formas de uso, una es mediante captación freática y las de circuito cerrado, de las cuales esta última es la de interés para el proyecto en cuestión. Por ende, como la potencia nominal mayor que necesitamos para nuestro proyecto alcanza el orden de los 4 kW para el modo de refrigeración optamos por la bomba más pequeña que presenta este catálogo, la cual presenta una potencia nominal para circuito cerrado del orden de los 5.8 kW con el uso de refrigerante R410A.

Por lo tanto, seleccionamos la bomba de calor **SW 6 HGL C** con refrigerante R410A del catálogo ENERTRES, la cual presenta un COP de 4,5 y un consumo eléctrico de 1,3kW.

6.1.5.2 Costos de la bomba de calor

TERRA HGL		
TERRA - HGL R410A a 62°C	6 HGL C	8 HGL C
Potencia de salida para S 0°C/W 35 °C según EN 14511 (kW)	5.8	7.6
TERRA HGL 230 VAC/50 Hz MONOFÁSICA	Disponibles a partir de marzo 2013	
TERRA HGL 400 VAC/50 Hz TRIFÁSICA	195613	195614
Precio (€)	9.912 €	10.133 €
Puesta en marcha (incluidos 40 km)	305.00 €	305.00 €

Figura 6.3 Costo bomba de calor.

6.1.6 Dimensionamiento de la captación.

Para poder determinar el dimensionamiento de la captación horizontal es necesario determinar la potencia del evaporador de la bomba de calor seleccionada. La cual se determinará de la siguiente manera según norma VDI 4640.

$$Potencia_{Evaporador} = \left(\frac{Potencia_{Nominal}(COP - 1)}{COP} \right)$$

Por lo tanto, tenemos que la potencia nominal de la bomba entregada por el catálogo es de 5,8 kW y el COP de 4,5. Entonces la potencia del evaporador será de:

$$Potencia_{Evaporador} = \left(\frac{5,8 \text{ kW} * (4,5 - 1)}{4,5} \right)$$

$$Potencia_{Evaporador} = 4,5 \text{ kW}$$

Con esto podremos calcular la superficie de captación requerida que en el caso de captadores horizontales se basa en la capacidad de extracción específica del suelo y la potencia del evaporador de la bomba de calor.

$$Superficie_{requerida} = \frac{Potencia_{Evaporador} (W)}{Potencia_{Especifica\ de\ extraccion} \left(\frac{W}{m^2} \right)}$$

En donde la potencia específica de extracción del suelo está determinada, por la composición y la forma del suelo, de donde se desprenden los siguientes valores de referencia para los colectores horizontales.

Referencia de valores para colectores horizontales.

Subsuperficie	Capacidad de extracción específica qE con 1.800 h/a [W/m ²]	Capacidad de extracción específica qE con 2.400 h/a [W/m ²]	Distancia de Instalación [m]	Profundidad de Instalación [m]	Distancia hasta las tuberías de suministro [m]
Suelos secos no cohesivos	10	8	1	1.2 – 1.5	> 0.7
Suelos húmedos cohesivos	20 – 30	16 – 24	0.8	1.2 – 1.5	> 0.7
Arena/grava saturada de agua	40	32	0.5	1.2 – 1.5	> 0.7

Figura 6.4 Valores para colectores solares.

Por lo tanto, diremos que la capacidad de extracción se encontrará entre los 16 y los 24 (W/m²), ya que se considera la superficie que se encuentra en las inmediaciones de la Universidad del Bío-Bío como suelos húmedos cohesivos y la extracción específica sobre las 2400 h/a. por lo tanto asumiremos un valor medio de extracción de 20 (W/m²), es decir la superficie requerida será de:

$$Superficie_{requerida} = \frac{Potencia_{Evaporador} (W)}{Potencia_{Especifica\ de\ extraccion} \left(\frac{W}{m^2}\right)}$$

$$Superficie_{requerida} = \frac{4500 (W)}{20 \left(\frac{W}{m^2}\right)} = 225 (m^2)$$

Con lo que finalmente podemos calcular el largo total de tuberías que deben ir enterradas en lo zona de captación, la cual se obtendrá mediante la siguiente formula:

$$largo_{Tuberia} = \frac{Superficie_{Requerida}(m^2)}{Separacion (m)}$$

Por lo tanto, teniendo en cuenta que la separación de tubos recomendada en la directriz VDI 4640 es de 50 a 80 cm de longitud entre cada uno de ellos. Por lo tanto,

tomaremos como valor referencial una separación entre tubos de 0,7 m. es decir el largo de las tuberías será de:

$$largo_{Tuberia} = \frac{Superficie_{Requerida}(m^2)}{Separacion(m)}$$

$$largo_{Tuberia} = \frac{225(m^2)}{0.7(m)} = 322(m)$$

Por lo tanto, se utilizarán 4 circuitos de 100 (m) cada uno.

6.1.7 Selección de sondas geotérmicas.

estas son determinadas según la conexión que posee la bomba de calor, la cual señala que sus conexiones son de 1' es por eso que la cañería seleccionada será una Tubería HDPE-100 de alta densidad con 32 mm

Tubería HDPE PE 100							
Diámetro Nominal D (mm)	Diámetro Nominal Equivalente (pulgadas)	Relación dimensional estándar SDR					
		SDR 27,6	SDR 21	SDR 17	SDR 13,6	SDR 11	SDR 9
PRESIÓN NOMINAL PN							
		PN 6	PN 8	PN 10	PN 12,5	PN 16	PN 20
Espesor mínimo (mm)							
16	3/8	-	-	-	-	-	2,3
20	1/2	-	-	-	-	-	2,3
25	3/4	-	-	-	-	2,3	2,8
→ 32	1	-	-	2,3	2,4	3	3,6
40	1 1/4	-	2,3	2,4	3	3,7	4,5
50	1 1/2	2,3	2,4	3	3,7	4,6	5,6
63	2	2,3	3	3,8	4,7	5,8	7,1
75	2 1/2	2,8	3,6	4,5	5,6	6,8	8,4
90	3	3,6	4,3	5,4	6,7	8,2	10,1
110	4	4	5,3	6,6	8,1	10	12,3
125	5	4,6	6	7,4	9,2	11,4	14
140	5 1/2	5,1	6,7	8,3	10,3	12,7	15,7

La cual al buscarla en el catálogo ENERTRES presenta el siguiente valor

Tubería de alta densidad PE-100

Tubería fabricada en polietileno de alta densidad PE100, PN16, según norma UNE EN 12201.

DESCRIPCIÓN	ARTÍCULO	LONGITUD	PRECIO
Tubería de alta densidad 32x3,0 mm	28 03 01 10	100 m	122,46 €
Tubería de alta densidad 40x3,7 mm	28 03 02 10	100 m	227,38 €
Tubería de alta densidad 50x4,6 mm	28 03 03 10	100 m	348,09 €
Tubería de alta densidad 63x5,8 mm	28 03 04 10	50 m	276,51 €

*Disponibles bajo pedido hasta diámetro 200 mm.



Por lo tanto, estamos en condiciones de determinar los principales costos asociados a la implementación de este sistema de calefacción y refrigeración. De donde se desprenden los siguientes valores.

6.1.8 Evaluación de costos bomba geotérmica con captadores horizontales.

Componentes captación Horizontal.		Cantidad	Costo	Total €
Bomba de calor SW 6 HGL C		1	9912	9.912 €
Set captación Horizontal		1	6500	6.500 €
Tubería alta densidad PE-100 32x30 100 (m)		4	122,46	490 €
KIT conexión bomba		1	1545	1.545 €
Accesorios y dispositivos varios				2.000 €
costo equipos				20.447 €
Instalación 30% Costo equipos				6.134 €
Excavación de 204,52 (m ²) x 2 m de profundidad 409,08 (m ³)		409,08 m ³	32,13€/m ³	13.144 €
Inversión Total				60.171 €
Inversión Total				\$46.438.537
Valor euro	\$772			

Tabla 6.1 Resumen de costos bomba de calor geotérmica.

Por lo tanto, el costo total de instalación de la primera propuesta de climatización correspondiente a la utilización de bomba de calor geotérmica corresponderá a:

$$\text{Costo Total} = \$ 46.438.537$$

6.2 Segunda propuesta de climatización.

6.2.1 Energía solar térmica para el uso de calefacción con el uso de máquina de absorción para refrigeración.

6.2.3 ¿Qué es la energía solar térmica?

Se entiende por energía solar térmica, a la transformación de la energía radiante solar en calor o energía térmica. La energía solar térmica se encarga de calentar el agua de forma directa alcanzando temperaturas que oscilan entre los 40°y 50° gracias a la utilización de paneles solares planos (siempre temperaturas inferiores a los 80°C). El agua caliente queda almacenada para su posterior consumo: calentamiento de agua sanitaria, usos industriales, calefacción de espacio, calentamiento de piscinas, secaderos, refrigeración, etc. Por tanto, la energía solar térmica utiliza directamente la energía que recibimos del Sol para calentar un fluido y posteriormente ser utilizado según los requerimientos que se necesiten.

Si bien el principal uso que se le da a la energía solar térmica es la de producción de A.C.S para sistemas de baja temperatura, también es posible producir calefacción en invierno con rangos de temperatura entre los 45° fácilmente y refrigeración en verano con el uso e implementación de las máquinas de absorción.

6.2.4 Funcionamiento básico de un sistema solar térmico.

Un sistema solar térmico corresponde a un conjunto de equipos y componentes que permiten el aprovechamiento de la energía solar para la producción de calefacción, A.C.S, Refrigeración etc. Estas instalaciones solares deberán ser construidas con un circuito primario y uno secundario independientes uno del otro para así evitar cualquier tipo de mezcla entre los fluidos que operan en este proceso (fluido calo portador).

El primero circuito estará comprendido entre la fase de la captación solar y el intercambiador de calor, y el segundo circuito ira desde el intercambiador de calor hasta la salida de un sistema de aporte auxiliar, el cual en nuestro caso, este sistema será una caldera a gas , puesto que en todo tipo de instalación térmica se debe

contar con una sistema de apoyo puesto que podría suceder que el panel solar no sea capaz de elevar la temperatura del agua a la que se desea, caso que ocurrirá en las horas de menor radiación y de seguro en la época de invierno.

A continuación, se observa el esquema básico de una instalación de tipo térmica.

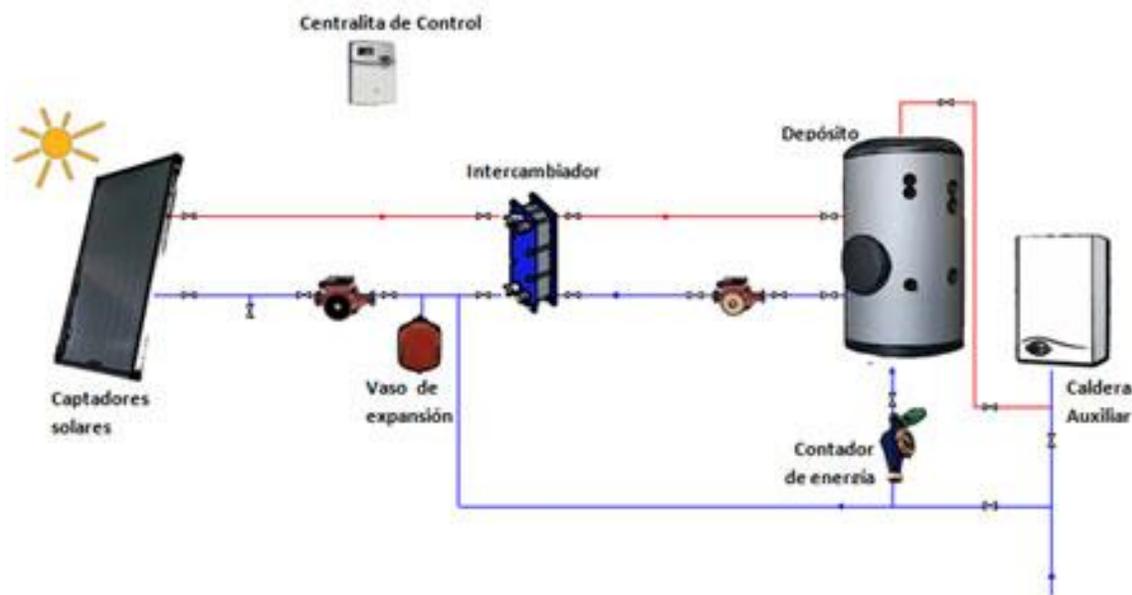


Figura 6.6 Sistema de captación tipo térmica.

Como mencionamos anteriormente este es un circuito cerrado, donde el agua de consumo no pasa directamente por los colectores solares. Este sistema es el más común. Se utiliza un líquido anticongelante que recorre los tubos dentro de los colectores y se calienta por la acción de la radiación solar. El líquido caliente atraviesa el circuito hidráulico primario hasta llegar al acumulador, en el interior del cual se produce un intercambio de calor entre el circuito primario y el secundario, es decir, entre el líquido anticongelante calentado en las placas solares y el agua que vamos a usar nosotros. En caso de que el agua contenida en el acumulador no alcance la temperatura de uso deseada, entra en funcionamiento automáticamente el sistema auxiliar, caldera de gas que será utilizada, que se encarga de generar el calor complementario. Todo el proceso es automático y vigilado por el sistema de control.

6.2.5 Ventajas y desventajas de los sistemas solares térmicos.

6.2.5.1 Ventajas:

- La energía solar es una **fuentes de energía renovable**. Esto significa que no podemos quedarnos sin esta fuente de energía, lo contrario de lo que ocurre con otras fuentes de energía no renovable (carbón, nuclear, combustibles fósiles)
- Como fuente abundante y renovable de energía, es también sostenible. Las fuentes de energía sostenibles cubren las necesidades del presente sin comprometer las necesidades de generaciones futuras. En otras palabras, la energía solar es sostenible porque no se sobre-consume.
- La mayoría de instalaciones de energía solar requieren un mínimo mantenimiento. Los paneles que se instalan en casas, normalmente sólo necesitan una o dos limpiezas al año. Además, los fabricantes serios de paneles solares suelen garantizarlos por periodos de tiempo de hasta 20-25 años.

Estas son algunas de las tantas ventajas que pueden ser presentadas, ya que esta energía presenta una infinidad de ellas, sólo se resaltaron las que son más importantes para los consumidores de dicha energía.

6.2.5.2 Desventajas:

- Una de las grandes desventajas es que la energía solar es intermitente. Dependiendo del año, disfrutamos de más o menos horas de luz al día. Y dependiendo de si está nublado o no, la producción varía aún más. Predecir la energía producida cada día es complicado.
- El nivel de radiación fluctúa de una zona a otra y de una estación del año a otra.
- Para recolectar energía solar a gran escala se requieren grandes extensiones de terreno.
- Requiere gran inversión inicial.
- Se debe complementar este método de convertir energía con otros.

- Los lugares donde hay mayor radiación, son lugares desérticos y alejados, (energía que no se aprovechará para desarrollar actividad agrícola o industrial, etc.).

6.2.6 Selección paneles solares térmicos.

Como bien se determinó anteriormente las cargas tanto para invierno y verano, podemos realizar un análisis para la selección de los paneles solares térmicos, es por esto que a continuación se mostrará una planilla de trabajo con la que se determinará la cantidad de paneles necesarios para cumplir con la demanda de energía necesaria por el laboratorio de metrología de universidad del Bío-Bío del departamento de Ingeniería mecánica.

De primera manera se obtendrán los valores necesarios para las cargas establecidas anteriormente, en donde se trabajará con el sistema de apoyo que necesitan los paneles solares térmicos, el cual en nuestro caso será una caldera a gas, la cual debe ser capaz de cumplir con la total demanda de energía necesaria determinada para el laboratorio. Y luego de obtener mediante esta el consumo de energía, ver cuánto es la capacidad de energía que pueden aportar los paneles al sistema, ya que como bien dijimos estos no pueden cumplir con la demanda total de energía.

6.2.6.1 Demanda de energía para calefacción utilizando caldera a Gas.

CALCULO DEMANDA DE ENERGIA PARA CALEFACCION

UTILIZANDO CALDERA DE AGUA CALIENTE

Lugar	Concepción		Valor dólar	677 \$/US\$	Pérdidas del recinto	
Superficie recinto	39 m ²	Combustible	gas licuado		Potencia especifica	104,3 W/m ²
altura promedio	3 m	Poder calorifico	12,8 kW-h/kg		Temperatura interior cálculo	20 °C
Dias operación/semana	7	Rendimiento caldera	85%		Temperatura exterior cálculo	5 °C
Horas operación/día	24	Rendimiento instalación	90%		Potencia Instalada	4,07 kW
Grados-día anual	1638,4 °C dia/año	Costo combustible	950 \$/kg		Potencia caldera	5,32 kW
Volumen	117 m ³	Costo energía	30,45 US\$/GJ			
Valor de G	2,32 W/m ³ °C	Costo energía	0,110 US\$/kW-h			
Horas del día	24					

Consumos y Costos de Energía

MES	Utiliza Calefacción ?	GRADOS-DIA/mes base 16°C	GRADOS-DIAS meses operación	días/mes	Días de la semana en operación	Horas del día en operación	Factor Operación	Consumo energía mes kW-h/mes	Costo energía mes US\$/mes
Enero	on	51,4	51,4	31	7	24	1,00	437,3	47,9
Febrero	on	55,5	55,5	28	7	24	1,00	472,2	51,8
Marzo	on	91,5	91,5	31	7	24	1,00	778,4	85,3
Abril	on	131,3	131,3	30	7	24	1,00	1117,0	122,5
Mayi	on	162,8	162,8	31	7	24	1,00	1385,0	151,8
Junio	on	208	208	30	7	24	1,00	1769,6	194,0
Julio	on	222,5	222,5	31	7	24	1,00	1892,9	207,5
Agosto	on	214,4	214,4	31	7	24	1,00	1824,0	200,0
Septiembre	on	195,8	195,8	30	7	24	1,00	1665,8	182,6
Octubre	on	145,2	145,2	31	7	24	1,00	1235,3	135,4
Noviembre	on	96,8	96,8	30	7	24	1,00	823,5	90,3
Diciembre	on	63,2	63,2	31	7	24	1,00	537,7	58,9
Total Anual		1638,4	1638,4		0			13938,9	1528,1

Consumo específico Anual	357,41 kW-h/m ² año
--------------------------	--------------------------------

Figura 6.7 Calculo de demanda energética.

Es importante señalar que los Grados días en color rojo son los correspondientes a la ciudad de Concepción, además de observar que la potencia instalada de la caldera debe ser igual a la que se obtuvo en los cálculos previos de demanda de calefacción y refrigeración. De donde se deduce que la potencia necesaria de la caldera a gas es de 5,32 kW y el consumo anual de energía es de 13938,9kW*h/mes. Teniendo el consumo anual estamos en condiciones de determinar la cantidad de paneles solares térmicos que serán utilizados.

6.2.6.2 Cálculo demanda de calefacción con sistema solar térmico.

Evaluación capacidad de suministro de energía mediante colectores solares térmicos

- el proyecto considera el uso de energía solar para calefacción si/no ?= **si**
- el proyecto considera el uso de energía solar para A.C.S si/no ?= **no**
- el proyecto considera el uso de energía solar para piscinas templadas si/no ?= **no**
- rendimiento colector es de norma americana si/no ?= **no**

**rendimiento colector
norma europea**

$$\eta = \eta_0 = \alpha_1 \frac{(t_f - t_a)}{I_{ns}} - \alpha_2 \frac{(t_f - t_a)^2}{I_{ns}}$$

$\eta_0 =$	84,40%	
$\alpha_1 =$	3,48	W/m ² °C
$\alpha_2 =$	0,0154	W/m ² °C

**rendimiento colector
norma americana**

$$\eta = F_R \cdot T \cdot \alpha - F_R \cdot U_L \cdot \frac{(t_f - t_a)}{I_{ns}}$$

$F_R T \alpha =$	50%	
$F_R U_L =$	2	W/m ² °C

temperatura entrada agua al colector	°C	50
temperatura salida agua del colector	°C	60

superficie del colector	m ²	2,4
numero de colectores		3
superficie colectora solar	m ²	7,2
capacidad estanque acumulacion	lt/m ²	50
volumen estanque	m ³	0,36

	Demanda anual kw h/año	factor de uso
calefacción	13938,86469	1
A.C.S	0	0
calentamiento piscina	0	0
total	13938,86469	

MES	dias-mes	Temperatura entrada agua °C	temperatura salida agua °C	temperatura exterior °C	Rad total dia/mes kw/m2 dia	I _{ns} hora kw/m2	radiacion acumulada mensual kw h/m2 mes	$\frac{(t_f - t_a)}{I_{ns}}$ °C m2/w	$\frac{(t_f - t_a)^2}{I_{ns}}$ °C m2/w	rendimiento colector %
Enero	31	50	60	16,2	6,15	0,84	190,65	0,05	1,79	65,57%
Febrero	28	50	60	14,2	5,75	0,81	161	0,05	2,06	63,71%
Marzo	31	50	60	14,2	5,07	0,74	157,17	0,06	2,25	61,75%
Abril	30	50	60	12,2	4,03	0,61	120,9	0,07	3,00	55,36%
Mayo	31	50	60	10,2	2,82	0,44	87,42	0,10	4,56	41,94%
Junio	30	50	60	9,2	2,06	0,33	61,8	0,14	6,36	26,31%
Julio	31	50	60	8,2	2,60	0,41	80,6	0,11	5,34	36,45%
Agosto	31	50	60	9,2	3,60	0,55	111,6	0,08	3,81	49,55%
Septiembre	30	50	60	10,2	4,42	0,65	132,6	0,07	3,09	55,66%
Octubre	31	50	60	12,0	5,17	0,74	160,27	0,06	2,50	60,33%
Noviembre	30	50	60	13,2	5,87	0,81	176,1	0,05	2,16	63,12%
Diciembre	31	50	60	15,6	5,88	0,79	182,28	0,05	1,97	64,02%
				12,1	4,45	0,64	1622,39	0,07	3,24	53,65%

Figura 6.8 Demanda de calefacción.

MES	Radiacion util mensual	consumo total energia calef. A.C.S y piscina	costo total energia calef. A.C.S y piscina	Carta-F	Aporte solar mensual	Aporte combustible mensual	costo consumo	Ahorro mensual
	kw h/ m ² mes	kw-h/mes	US\$/mes	f	kw-h/mes	kw-h/mes	US\$/mes	US\$/mes
Enero	125,00	437,29	47,94	110,88%	484,87	-47,58	-5,70	58,04
Febrero	102,57	472,17	51,76	100,56%	474,80	-2,63	-0,31	56,84
Marzo	97,05	778,45	85,34	73,10%	569,05	209,40	25,07	68,12
Abril	66,93	1117,05	122,46	43,80%	489,31	627,74	75,15	58,57
Mayo	36,67	1385,04	151,84	25,33%	350,78	1034,25	123,81	41,99
Junio	16,26	1769,58	194,00	13,19%	233,36	1536,23	183,90	27,93
Julio	29,38	1892,94	207,52	17,16%	324,90	1568,04	187,71	38,89
Agosto	55,30	1824,03	199,97	26,19%	477,68	1346,35	161,17	57,18
Septiembre	73,80	1665,79	182,62	34,39%	572,79	1093,00	130,84	68,57
Octubre	96,69	1235,30	135,43	53,10%	655,98	579,33	69,35	78,53
Noviembre	111,15	823,54	90,28	77,82%	640,84	182,70	21,87	76,71
Diciembre	116,69	537,68	58,95	100,59%	540,86	-3,18	-0,38	64,74
	927,49	13938,86	1528,10	56,34%	5815,21	8123,66	972,46	696,12

MES	coeficiente formula carta f		correccion por volumne acumulacion y	
	x	y	k1	k2
Enero	4,24	2,42	1,11	1,13
Febrero	3,51	1,89	1,11	1,09
Marzo	2,35	1,12	1,11	1,09
Abril	1,54	0,60	1,11	1,03
Mayo	1,24	0,35	1,11	0,97
Junio	0,92	0,19	1,11	0,95
Julio	0,91	0,24	1,11	0,96
Agosto	0,94	0,34	1,11	0,97
Septiembre	1,02	0,44	1,11	0,99
Octubre	1,44	0,72	1,11	1,03
Noviembre	2,16	1,19	1,11	1,08
Diciembre	3,43	1,88	1,11	1,12

El Factor f-chart es aquel que nos permite realizar el cálculo de la cobertura de un sistema solar, es decir, de su contribución a la aportación de calor total necesario para cubrir las cargas térmicas, en este caso podemos observar que para el periodo de enero nos entrega un 110,88% es decir esta cubriendo en totalidad la demanda de energía para ese periodo, por tanto la cantidad de paneles calculados (3 paneles) son los óptimos para la utilización de estos en laboratorio de metrología. Es importante señalar que si aumentáramos la cantidad de paneles para así aumentar el porcentaje en el periodo de invierno este obviamente quedara sobre dimensionado para el periodo de verano y de esta manera se haria un gasto mayor para el proyecto de energía solar térmica. Y a su misma ves si disminuimos a sólo dos paneles solares la cobertura que obtendremos en el mes de enero es tan sólo del 94% de la demanda total.

Por lo tanto, el colector solar que se utilizará será un colector solar de **Placa plana FPC** ya que éstos operan a una temperatura promedio entre 30 a 80 °C que es una temperatura adecuada para cumplir con la demanda de calefacción necesaria.

Entonces utilizaremos 3 captadores, los cuales serán del modelo CS 2402 sacado del Catálogo Enertres solar térmica 2014, de donde se obtuvieron los datos que fueron utilizados en las planillas Excel para determinar la cantidad de paneles necesarios. Cuyos datos son presentados a continuación:

Catalogo Enertres 2014

CARACTERÍSTICAS:

ÁREA BRUTA/AREA DE APERTURA (DIN 12975)	2,6 m ² / 2,4 m ²
CONEXIÓN HIDRÁULICA (2 tomas)	1/2" rosca macho
ABSORCIÓN	95%
RADIACIÓN	5%
CONTENIDO EN LITROS	1,5
TEMPERATURA MÁX. DE ESTANCAMIENTO	219°C
PRESION MÁX. DE SERVICIO	10 bar
DIMENSIONES (largoxanchoxfondo)	2151x1215x110 mm.
CAUDAL RECOMENDADO	20 l/h m ²
PESO	48 kg
NPS	12.111



RENDIMIENTO DEL CAPTADOR

*TÜV/ISFH

RENDIMIENTO DEL CAPTADOR	84,4%
FACTOR DE PÉRDIDAS LINEAL (K1)	3,48 W/m ² K
FACTOR DE PÉRDIDAS LINEAL CUAD. (K2)	0,0154 W/m ² K ²

(*) Datos de rendimiento por TÜV Bayern y el ISFH Hammeln según DIN/UNE en 12975

DESCRIPCIÓN	ARTÍCULO	PRECIO
Captador CS 2402	17 01 00 01	795,66 €



Figura 6.9 Datos colector solar

Teniendo esto podemos calcular el caudal que circulará entre los paneles solares, y es así como se obtiene el siguiente valor:

- $\dot{V} = 20 \left[\frac{lt}{h \cdot m^2} \right] * 2,4 [m^2] * 3 [colectores] = 144 \left[\frac{lt}{h} \right]$
- $\dot{V} = 0,04 \left[\frac{lt}{seg} \right] o \left[\frac{kg}{seg} \right]$

Con lo que:

- $\dot{V} = A * \vec{v} = 0,04 * 10^{-3} = \left(\frac{\pi}{4} \right) * Dia_{int}^2 * 1$

De donde obtenemos un diámetro igual a 0,0071 metros, Por lo que se selección una cañería HDPE PE 100 PN 16 con diámetro nominal de 16 y 2,3 mm de espesor y un diámetro interior de 11,4 mm. Con un costo de 2,79 USD/m. (valores obtenido catálogo HDPE)

Con esto es necesario recalculer la velocidad:

$$\vec{v} = 0,39 \left[\frac{m}{s} \right]$$

Cálculo de pérdidas de carga:

$$Re = \frac{Dia_{int} * \vec{v}}{\varepsilon} = \frac{0,39 * 11,4 * 10^{-3}}{10^{-6}} = 4446$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = (0,86 * \ln(Re * \sqrt{f})) - 0,8$$

Despejando f de la ecuación y considerándola como una solución real obtenemos que el f= 0,039

Observación: Para efectos de cálculo se considerarán un largo aproximado para la instalación de no más de 100 m de cañería.

$$Perdida\ cañeria = \frac{f * l * v^2}{2 * g * Diam} = \frac{0,039 * 100 * 0,39^2}{2 * 9,8 * 11,4 * 10^{-3}} = 2,65[m]$$

Las pérdidas en el intercambiador de calor serán de 1 (m c.d.a) y las pérdidas del colector son casi despreciables por lo tanto las pérdidas totales serán de:

$$Perdida\ total = 1 + 2,65 = 3,65 [m. c. a]$$

Con lo que podemos seleccionar la bomba de impulsión del circuito, en donde ésta será determinada a partir de las pérdidas totales obtenidas anteriormente y el caudal que circulará por el circuito, el cual corresponde a $Q=1,44\ m^3/h$.

Es por esto que la bomba seleccionada corresponderá a una EVOSTA la cual es una Bomba eléctrica de bajo consumo energético para la circulación de agua caliente en todo tipo de instalaciones domésticas de calefacción. La cual presenta las siguientes características.

- Rango de funcionamiento: 0,4-3,3 m³/h con altura de elevación hasta 6,9 m.
- Rango de temperatura del líquido: de +2 °C a +95 °C
- Presión de trabajo: 10 bar (1000 kPa)
- Instalación: con el eje de motor en posición horizontal.
- Alimentación: monofásica 1x230 V~ 50/60 Hz

Con lo que tenemos todos los implementos necesarios para la instalación solar térmica en el periodo de calefacción.

Es por esto que se debe tener en cuenta el modo de refrigeración que será utilizada en verano para dicha propuesta, es por esto que la forma en que se obtendrá la energía de refrigeración necesaria será a través de la refrigeración por absorción que se mostrará a continuación.

6.2.7 Refrigeración por absorción.

El sistema de refrigeración por absorción es un medio de producir frío que, al igual que en el sistema de refrigeración por compresión, aprovecha que las sustancias absorben calor al cambiar de estado, de líquido a gaseoso. Así como en el sistema de compresión el ciclo se hace mediante un compresor, en el caso de la absorción, el ciclo se basa físicamente en la capacidad que tienen algunas sustancias, como el bromuro de litio, de absorber otra sustancia, tal como el agua, en fase de vapor.

Es importante señalar que los ciclos termodinámicos de enfriamiento de absorción, permiten sacar calor del espacio que quiere enfriarse y llevarlo a otro lugar donde se disipa. Para hacerlo, estos sistemas aprovechan la necesidad de un fluido, utilizado como refrigerante, de obtener calor del entorno para pasar del estado líquido al de vapor al ser introducido en un espacio a más baja presión. Es así como en el ciclo de absorción se consigue aportando calor a una mezcla del refrigerante y otra sustancia que se caracteriza por tener una gran afinidad con aquel y absorberlo fácilmente. En el generador donde se aporta el calor, el refrigerante se separa del absorbente por ebullición y, por la presión generada, recorre el circuito de alta presión donde se condensa. hasta evaporarse de nuevo en la zona de baja presión, donde se asocia con el absorbente para poder volver juntos y en estado líquido al generador.

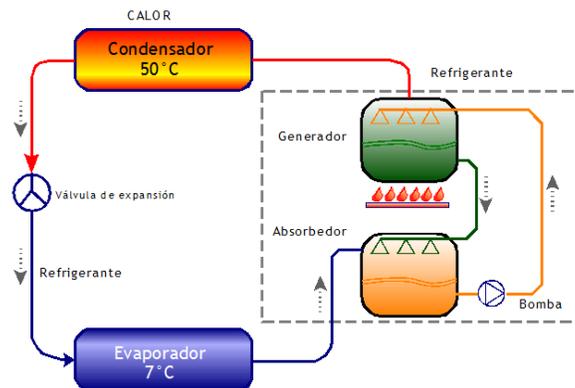


Figura 6.10 Sistema de refrigeración por absorción.

Como bien se observa este es un buen método de refrigeración aprovechando la energía del sol a través de los paneles solares térmicos, los cuales presentan mayor rendimiento en la época de verano, por esto mismo no habrá problemas para obtener el rango de temperaturas que este tipo de sistemas necesita para su funcionamiento, pero si llegara a ocurrir como bien se dijo anteriormente este sistema posee un sistema de respaldo que corresponde a la caldera a gas ya previamente mencionada.

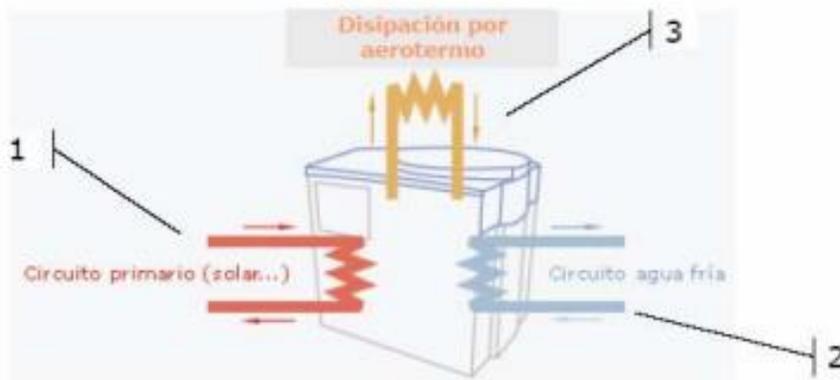
6.2.7.1 Sistema de producción de frío.

La refrigeración se efectuará mediante una máquina de absorción la cual producirá agua fría a partir de agua caliente procedente del sistema de acumulación o de captación solar. La Máquina de Absorción ROTÁRTICA está especialmente diseñada para su utilización en instalaciones de energía solar térmica, siendo esta Máquina, una de las partes fundamentales de la instalación para obtener los resultados energéticos y medioambientales deseados. Se trata de una máquina de absorción de simple efecto con una potencia de 4.5 kW, suficiente para satisfacer las necesidades de refrigeración del Laboratorio de Metrología de la Universidad del Bío-Bío.

ROTARTICA		ENFRIADORA SOLAR	
PRESTACIONES DE PRODUCTO		Aire-Agua	
		Tecnología	ABSORCIÓN DE SIMPLE EFECTO LiBr/H2O
		Marca	ROTARTICA
		Modelo	SOLAR 045 y SOLAR 045v
Datos de producto	Empresa	ROTARTICA	
	Producto	Enfriadora Aire-Agua	
	Potencia nominal de refrigeración	4,5 kW	
	Accionamiento	Agua calentada	
	Absorbente/Refrigerante	LiBr/H2O	
Circuito Agua	Capacidad (kW)	FRÍO	CALOR
	Caudal (m ³ /h)	4,5	10,8
	Pérdida de carga (bar)	1,2	2,0
Circuito Aporte Energía	Pérdida de carga (bar)	0,3	0,8
	Aporte calor al generador (kW) a 90°	6,7	
	Caudal (m ³ /h)	1,2	
Suministro eléctrico	Pérdida de carga (bar)	0,2	
	Consumo eléctrico Aparato de Absorción (kW)	0,26	
	Consumo eléctrico c/ventilador y bombas (kW)*	1,2	
	Corriente media consumida (A)	1,2 (5,5 con bombas y ventilador)	
Temperaturas	Nominal de salida	18	46
	AMBIENTE	35	
Dimensiones	Largo (mm)	1050/1092	
	Ancho (mm)	670/760	
	Altura (mm)	865/1150	
	Volumen (m ³)	0,61/0,95	
	Peso (kg)	240/290	
Instalación			
Suministro de energía a través del panel solar + caldera (independientemente o de forma conjunta), no precisa anclaje al suelo. Conexiones hidráulicas: 4 conexiones de 1", Instalación exterior (SOLAR 045v); 6 conexiones de 1", Instalación interior (SOLAR 045)			

Tabla 6.4 Datos máquina de refrigeración.

6.2.7.2 Esquema de conexiones de la máquina de absorción ROTÁRTICA



Para tal proyecto la máquina de refrigeración que se utilizará será de la marca ROTARTICA de la línea solar de simple efecto, la cual para la envergadura de la instalación no necesitan de torre de enfriamiento a diferencia de instalaciones de mayor potencia. Es por esto que sabiendo que la carga térmica de refrigeración posee un valor de 4,07 kW procedemos a seleccionar la máquina de refrigeración. Como mencionamos esta marca en particular a producido grandes avances en la utilización del denominado frío solar a pequeña escala. Es por esto que el sistema de climatización con energía solar térmica se verá de la siguiente manera:

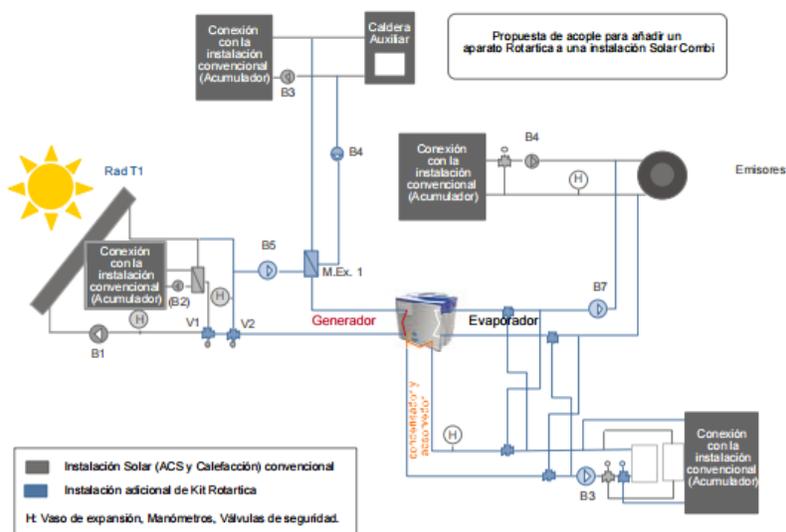


Figura 6.2 Esquema de segunda propuesta de climatización.

Teniendo la composición total del sistema de climatización con la utilización de energía solar térmica podemos obtener el valor total que este sistema tendrá, por ende, a continuación, se presenta una planilla con el valor que esta presentará:

6.2.8 Costos sistema solar térmicos para calefacción y refrigeración.

Producto	Precio	Unidad	Cantidad	Costo	Unidad
Captador solar CS2402	795,66	€	3	2386,98	€
Acumulador de Inercia	398,76	€	1	398,76	€
Estanque de expansión	360	€	1	360	€
Válvula de retención	29	€	1	29	€
Cañería	2	€/m	100	200	€
Bomba EVOSTA	159,53	€	1	159,53	€
Caldera a Gas (Incluye Quemador)	2750	€	1	2750	€
Máquina de absorción ROTARTICA 045	14000	€/m	1	14000	€
Total Equipos				20284,27	€
Costo Instalación (30% Costo Equipos)				6085,281	€
Total				26.369,55	€

Tabla 6.5 Costos sistema solar térmico.

Por lo tanto, el costo total de la propuesta de climatización con paneles solares térmicos para el uso de calefacción y refrigeración, considerando el valor del euro de 772 tendrá un total de:

$$\text{Costo Total} = \$ 20.357.292$$

6.3 Sistema de distribución de Calefacción y Refrigeración.

6.3.1 Equipo aire acondicionado Split.

6.3.2 ¿En qué consiste un sistema Split?

El Aire Acondicionado tipo Split es un equipo de climatización conformado por dos unidades separadas, una interior (con evaporador, ventilador, filtro de aire y sistema de control) y otra exterior (con compresor y condensador). Ambas unidades se comunican entre sí mediante tuberías.

La unidad interna se puede colgar del techo o de la pared según el modelo. La unidad externa se puede instalar indistintamente en el techo o colgada con escuadras sobre la pared vertical exterior del ambiente.

Los equipos de aires acondicionados Split presentan como ventaja que son los más económicos y, por tanto, los más demandados en el mercado, añadiéndole la característica de que producen poco ruido y muchos son muy estéticos. Por otro lado, tienen como desventajas que la instalación es algo complicada aumentando el coste total.

Este tipo de equipo también presenta una variante que son los Aires Acondicionados MultiSplit, el cual está conformado por un equipo de aire acondicionado en el que la unidad externa alimenta a varios módulos internos. Una alternativa atractiva para acondicionar grandes espacios. Pero para nuestro solo se utilizará la unidad Split.

6.3.3 Equipo exterior.

El equipo o unidad exteriores que utilizara el sistema Split debe ser capaz de proporcionar 4741,2 (BTU/h) en modo de refrigeración y 3474,61 (BTU/h) en modo de calefacción, los cuales fueron determinados a partir de los cálculos de cargas térmicas del recinto.

6.3.4 Equipo interior.

Las unidades interiores son las encargadas de climatizar el recinto, y para ello se seleccionó una unidad Mini Split muro de la marca Anwo de alta eficiencia el cual es el más pequeño dentro de los aires acondicionados que dispone Anwo, pero aun así cumple con los requerimientos necesarios del Laboratorio de Metrología.



Mini Split Muro - Anwo / Alta Eficiencia

Códigos	Capacidad (btu)		Refrigerante
	Frio	Calor	
GES9ECO	9.500	10.100	R-410a ✓
GES12ECO	12.300	13.100	R-410a ✓
GES18ECO	18.000	20.000	R-410a ✓
GES24ECO	23.500	25.000	R-410a ✓

Incluye: Kit tubería 4 mts.
Cable de conexión eléctrica entre unidades.
Garantía 3 años.

Características

- Alta eficiencia **EER clase "A"**, bajo consumo de energía en frío y calor.
- Diseño elegante.
- Control remoto inalámbrico.
- Silencioso
- Función dormir programable.
- Reinicio automático

Figura 6.212 Unidad Split.

La unidad seleccionada corresponde al GES9ECO que tiene un costo de USD\$541,45 o \$417.999 pesos chilenos.

Si bien es la forma más económica de climatizar el recinto, el proyecto está orientado a la utilización de energía renovable para la climatización y solo se realizó la selección de la unidad Split a modo de comparación.

Capítulo 7

7.1 Análisis energético Laboratorio de Metrología con el uso de Autodesk Ecotect Analysis.

7.2 Programa Autodesk Ecotect Analysis.

El software Autodesk Ecotect Analysis es una herramienta computacional para diseño y análisis de edificaciones, el cual nos entrega parámetros de edificación en base a desempeño térmico, lumínico, acústico, de sombras entre otros.

Esta herramienta computacional presenta una interfaz de trabajo amigable para el usuario, además de presentar distintas herramientas de evaluación que resultan fáciles de utilizar.

Es importante señalar que Autodesk Ecotect Analysis ha sido usado en proyectos de edificaciones de nivel internacional, para así mediante este apoyar la toma de decisiones en la edificación de dichos edificios.

7.3 Propuesta de Investigación.

La razón de la utilización de este software nace de la necesidad de obtener parámetros de comparación respecto a los valores obtenidos de forma manual, ya que como bien dijimos este software permite determinar la caracterización del edificio dependiendo de la zona en que se encuentra emplazado, el cual en tal caso corresponde a la ciudad de Concepción Ubicada en la Octava región de Chile.

Es por esto que a partir de los planos de la edificación se plantea la creación del modelo de análisis mediante el uso de Autodesk Ecotect Analysis, según los distintos factores de utilización, renovación de aire entre otros de los parámetros que se verán a continuación para la creación de dicha simulación.

7.4 Utilización de Autodesk Ecotect Analysis.

La primera etapa de esto corresponde con la familiarización del software en cuestión pues así se podrán adquirir destrezas y habilidades para el mejor manejo de esta herramienta. Una vez identificado esto se procede a la creación directa del modelo tridimensional, el cual una vez listo se procede con la asignación de los materiales constructivos que involucra nuestro Laboratorio de Metrología y finalmente se procederá a definir las propiedades operativas del recinto en cuestión para obtener los datos de los análisis necesarios. Por lo tanto, la manera a seguir estará dada de la siguiente manera, teniendo en cuenta que ya se realizó el entendimiento previo de las distintas herramientas del software:

- 1) Creación del modelo tridimensional del Laboratorio de Metrología.
- 2) Asignación de Materiales constructivos.
- 3) Modificación de parámetros operativos según requerimientos de este mismo.
- 4) Simulación y análisis del edificio.

7.4.1 Creación del modelo tridimensional del edificio.

Para poder acceder al análisis de simulación de Autodesk Ecotect Analysis es necesario la creación del modelo 3D de la edificación en cuestión, la cual en su composición corresponderá a una sola zona, que será el laboratorio en sí mismo, además de esto se deben integrar las respectivas ventanas y puertas correspondientes al edificio.

En este apartado se deben incluir obviamente la geometría del edificio, las relaciones espaciales, información geográfica y las propiedades constructivas de los materiales de éste. A partir de esto se obtendrán las siguientes visualizaciones con el uso del software:

Modelo 3D del laboratorio de metrología con el uso de las herramientas de Autodesk Ecotect Analysis.

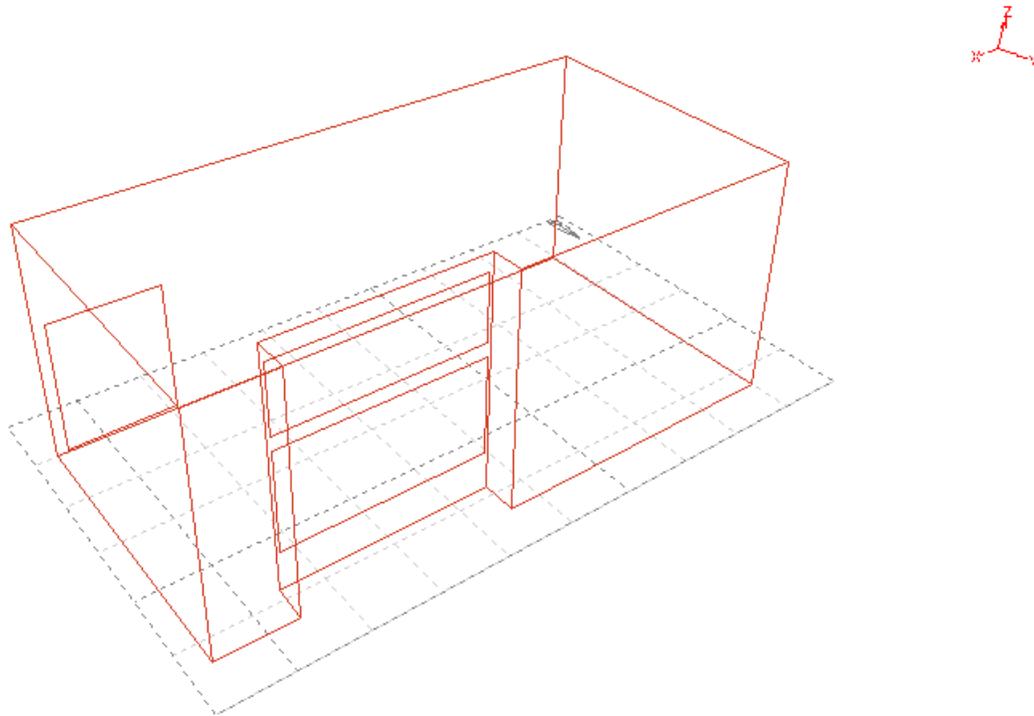


Figura 7.1 Modelo 3D Laboratorio.

Es importante señalar que en esta edificación se debe asignar la orientación en la que se encuentra emplazada, si bien no se observa en su totalidad posee una asignación en la parte posterior de ésta, que se refiere a la parte principal como la orientación norte correspondiente de la edificación. Además de esto fue necesario obtener los datos de climatización de la ciudad de Concepción, ya que el análisis debe ser respecto a la zona que se desea realizar la cual se debe visualizar en la parte superior del software indicando en que zona se realizará dicho análisis.

Y una vez realizado el esquema en 3D podemos observar en la ventana de visualización del software la edificación ya construida según las medidas y especificaciones técnicas de este.

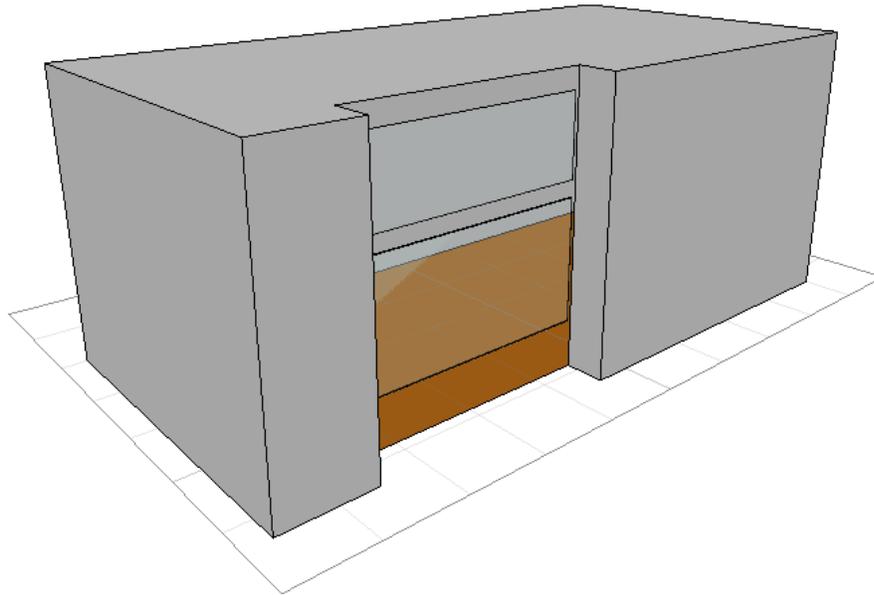


Figura 7.2 Modelo 3D Laboratorio.

7.4.2 Asignación de los materiales constructivos.

En Autodesk Ecotect Analysis se pueden definir los materiales que constituyen cada elemento constructivo, ya sea de acuerdo a la disponibilidad de las librerías del programa, o creando nuevos materiales de acuerdo a las propiedades térmicas y visuales de esta. Por lo cual en tal caso se incluyeron nuevos elementos constructivos ya que los disponibles no cumplían con los requeridos por la edificación, lo cual se muestra a continuación:

Captura de las propiedades de uno de los muros creados en la librería del programa Autodesk Ecotect Analysis.

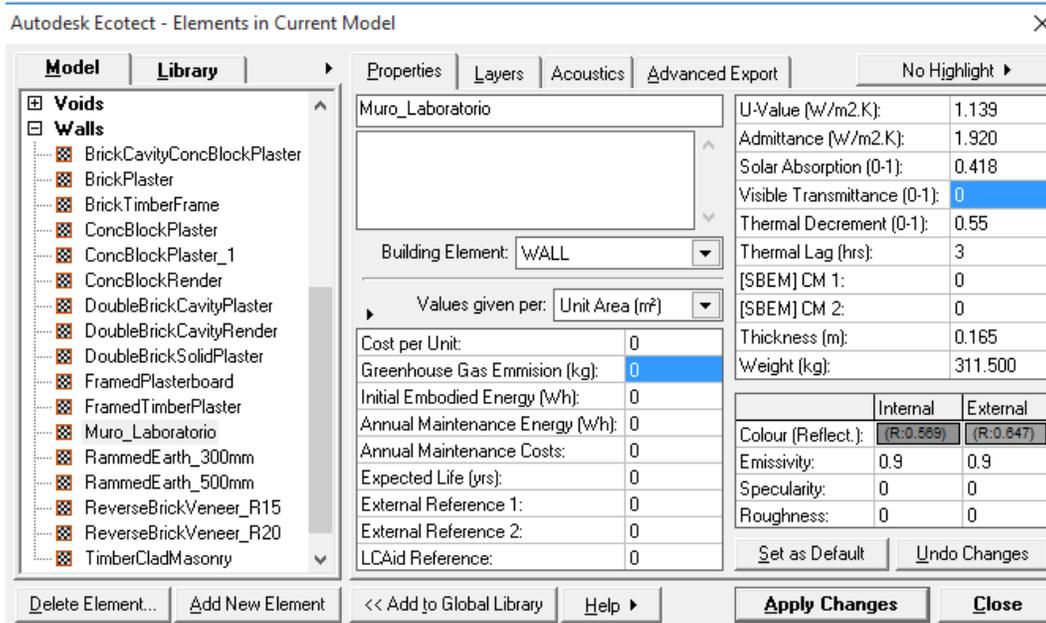
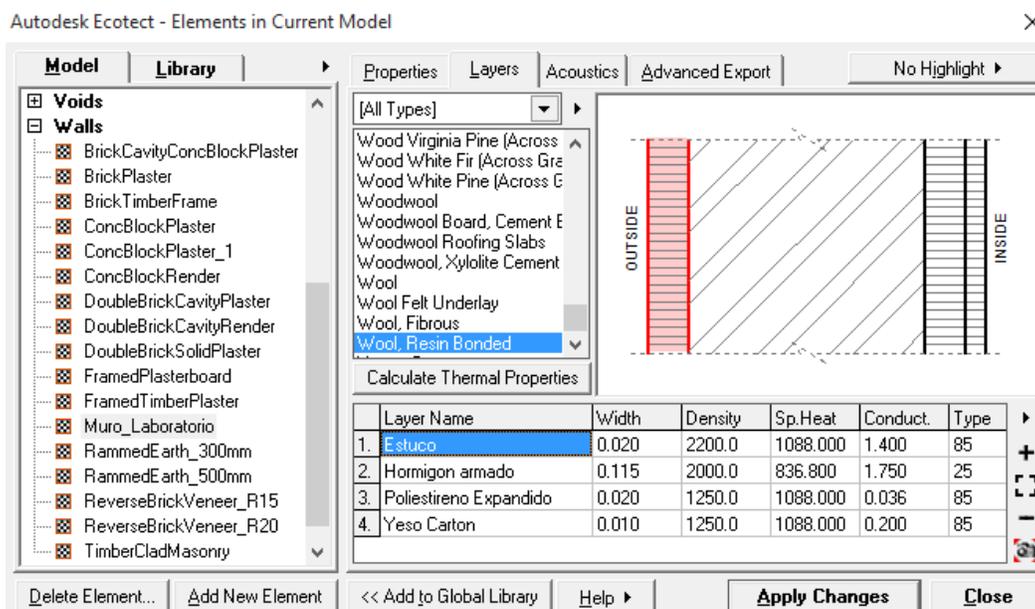


Figura 7.3 Creación de muro.

Propiedades y asignación de materiales constructivos del muro necesario para la edificación del laboratorio de metrología



7.4.3 Definición de condiciones de operación.

Hasta el momento nuestro modelo cuenta con la creación del modelo 3D del edificio, la asignación de los materiales con sus respectivas propiedades y la zonificación correspondiente a la ciudad de Concepción, además de la respectiva orientación geográfica del edificio. Por tanto, se procede a fijar las condiciones de operación del Laboratorio de Metrología de la Universidad del Bío-Bío.

Los parámetros se definen en el asistente de administración de zonas de Autodesk Ecotect Analysis, la cual presenta la siguiente visualización:

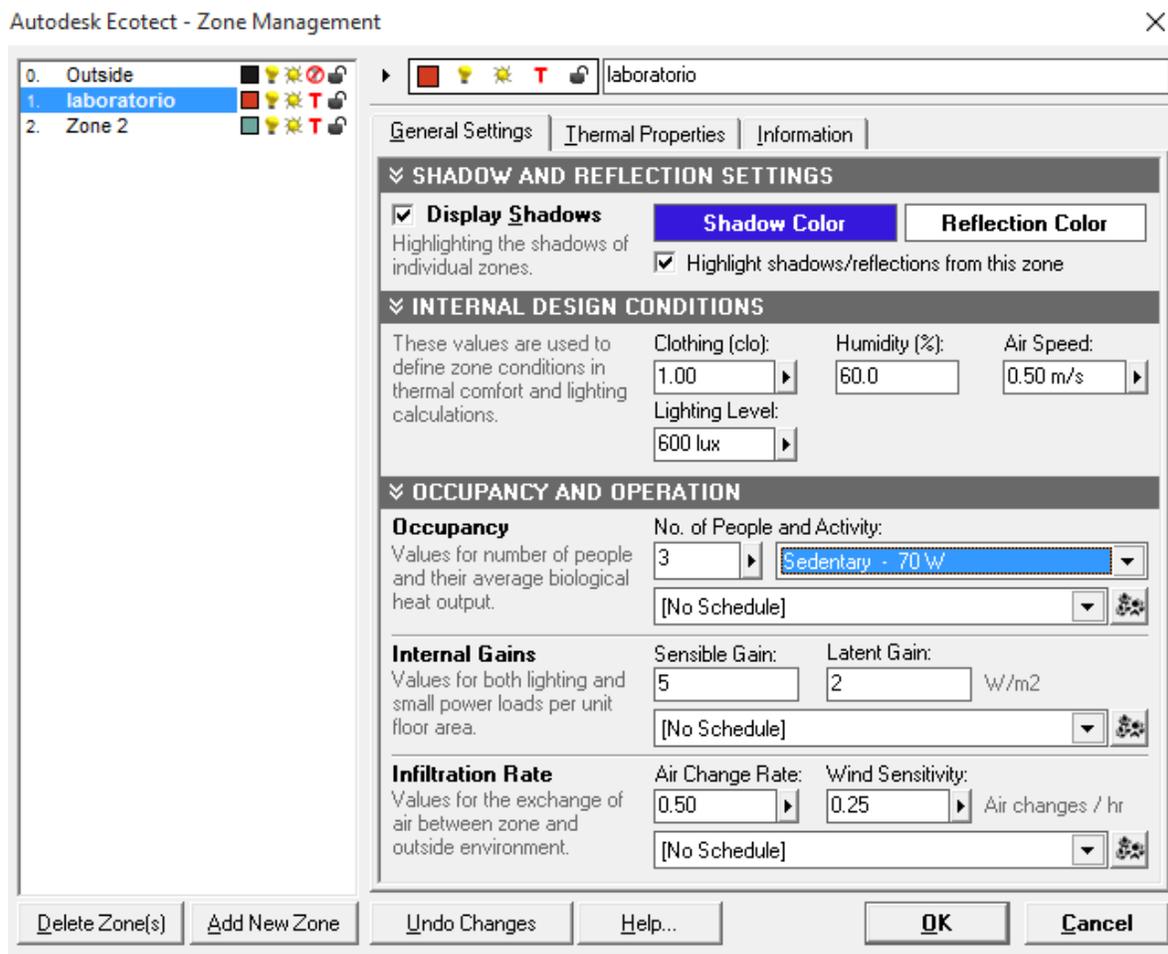


Figura 7.4 Condiciones de Operación.

En donde los valores que se presentan en esta captura serán identificados a continuación ya que estos valores dependen de las condiciones interiores que se presentan en Laboratorio de Metrología.

a) Ganancias térmicas aportadas por el tipo de ropa.

Al asignar el valor de diseño que representa las ganancias térmicas que aporta la ropa que usan los ocupantes, se consideran los valores dados por Autodesk Ecotect Analysis los cuales serán presentados en la siguiente tabla. Como bien la zona de Concepción es más frío y húmedo la gente utiliza generalmente uso de traje de calle + ropa interior térmica asignándosele un valor de ropa de 1,5.

Descripción de ropa	Factor
Desnudo	0
Solo ropa interior	0,2
Pantalón corto y camiseta	0,4
Pantalón y Camisa	0,6
Traje de calle.	1
Traje de calle+ Ropa interior Térmica	1,5
Chaqueta y abrigo	2
Ropa pesada de invierno	2,5
Ropa tipo ártico	3

Tabla 7.1 Ganancias térmicas por tipo de ropa.

b) Humedad relativa de diseño.

La humedad relativa de operación dentro de un laboratorio de metrología debe encontrarse bajo los estándares estipulados por la norma ISO 17025 en donde en su apartado estipula que según la normativa para laboratorio de uso universitario deben encontrarse en 45% de humedad

c) Velocidad del aire.

La velocidad del aire se determinó en base a las entregadas por el software. La cual en nuestro caso será de 0,5 m/s ya que las que se encuentran dentro de las posibilidades que entrega el programa son las siguientes:

Descripción	Factor
Calma	0
No Perceptible	0,1
Apenas perceptible	0,3
Brisa placentera	0,5
Brisa suave	0,7
Movimiento de cabello y papeles	1
Corrientes de aire perceptibles	1,4
Brisa molesta	1,7
Ventoso	2

Tabla 7.2 Velocidad del aire.

d) Nivel de iluminación.

Para decidir el nivel de iluminación(lux) de diseño se consideró el tipo de actividad que se realiza en su interior y se asignó el valor de 600 (Lx) ya que los valores posibles son los siguientes:

Tipo de recinto	Nivel de iluminación [Lx]
Estacionamiento	50
Corredor- Escalera	100
Ascensor- Salas de espera	200
Oficinas- Talleres	400
Mecanografía- Salones de clase	600
Iluminación General- Tableros	900
Salas de conferencia-Iluminación General	1200

Tabla 7.3 Nivel de iluminación

e) Ocupación.

Los parámetros de ocupación se usan para cuantificar las ganancias de calor que aportan las personas dentro del laboratorio dependiendo de la actividad que estas realicen. Para asignar la potencia disipada por cada persona en el laboratorio se usaron los valores recomendados por Autodesk Ecotect Analysis, por lo que se le asigna un valor de 70 W.

Actividad	Potencia (W)	Actividad	Potencia (W)	Actividad	Potencia (W)
Sedentaria	70	Digital	65	Bailar, Despacio	140
Caminar	80	Oficinista	70	Bailar, rápido	255
Ejercitarse	100	Cocinar, Ligero	95	Deporte en Equipo	440
agotadora	150	Cocinar, Pesado	115	Ejercicio, Ligero	175
Dormir	40	Limpieza, Ligero	115	Ejercicio, Pesado	235
Descansar	45	Limpieza, Pesado	220	Trabajo Pesado	235
Leer	55				

Tabla 7.4 Parámetros de ocupación.

f) Tasa de intercambio de aire.

A continuación, se presenta la tasa de renovación de una zona de acuerdo a la hermeticidad de la fachada del edificio, manejada por Autodesk Ecotect Analysis.

Construcción	Tasa de renovación de aire (renovaciones de aire/hora)
Hermética	0,25
Bien sellada	0,5
Promedio	1
Agujereada	2

Tabla 7.5 Tasa de intercambio de aire.

De acuerdo a la tabla anterior, y las características constructivas del laboratorio de Metrología, se asignó una tasa de 0,5 renovaciones/hora.

g) Tipo de sistema de climatización.

En la siguiente tabla se especifican los tipos de sistemas de calefacción y refrigeración que se pueden definir para la zona correspondiente al Laboratorio de Metrología según Autodesk Ecotect Analysis.

Tipo de sistema	Descripción
Ninguno	Todas las ventanas y puertas se consideran cerradas y la única ventilación es a través de la tasa de renovaciones de aire definida.
Ventilación Natural	Significa que durante el periodo operacional las condiciones del exterior son cercanas a las de la franja de confort definida, los ocupantes abren las ventanas y el intercambio de aire aumentara proporcionalmente al área de la ventana en la dirección y velocidad del viento.
Sistema de modo combinado	Se combina el sistema de aire acondicionado y la ventilación natural, de manera que el sistema HVAC se apaga cuando las condiciones externas se encuentran dentro de las condiciones definidas en el termostato. Autodesk Ecotect Analysis asume que el sistema funciona y provee ventilación mecánica o las ventanas están abiertas, las dos situaciones no ocurren a la vez.
Aire acondicionado	El sistema de calefacción y refrigeración funciona cuando se requiera mantener la temperatura del aire de la zona entre los valores definidos del termostato durante el periodo operacional. Las ventanas nunca se abren, por lo que la única ventilación o infiltración es la que se define en la tasa de renovaciones de aire de la zona.
Solo calefacción	Es el mismo caso del aire acondicionado, solo con la componente de calefacción calculada.
Solo Refrigeración.	Es el mismo caso de aire acondicionado, solo con la componente de refrigeración calculada.

Tabla 7.6 Tipo de sistema de climatización.

En el caso del Laboratorio de Metrología se considera el sistema de aire acondicionado.

7.5 Simulación y análisis de Autodesk Ecotect Analysis.

La climatización del Laboratorio de Metrología es un gasto energético, y es necesario conocer en que época del año se consume la energía tanto para calefacción como refrigeración, para esto se muestra un gráfico en el cual se muestra en consumo diario de energía en climatización. Es importante señalar que los datos mostrados a continuación son los obtenidos desde el software que estamos utilizando.

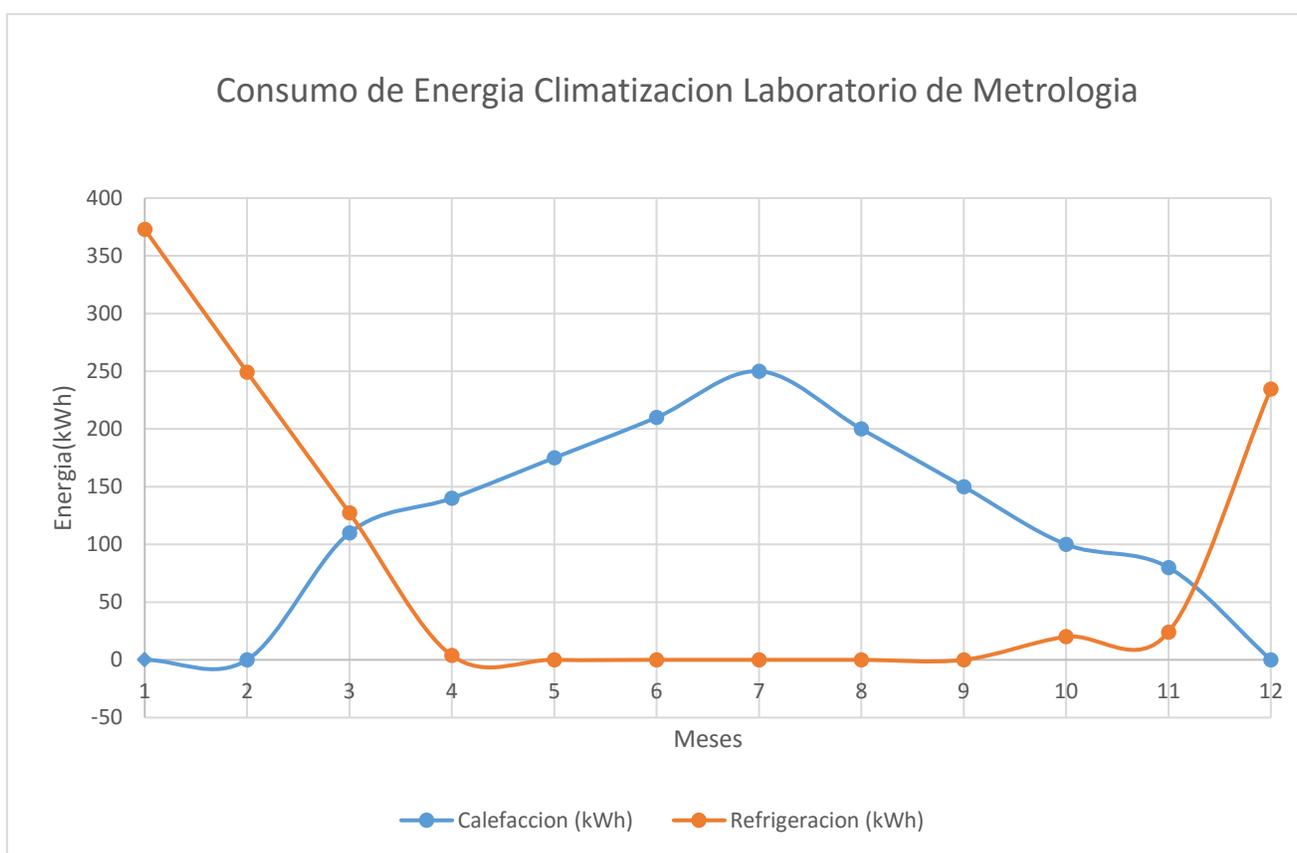


Figura 7.5 Consumo de energía.

Como podemos observar el sistema de climatización posee una fuerte carga de refrigeración, en los meses comprendidos entre diciembre y abril. Y por otra parte se presenta la mayor carga de calefacción en los meses comprendidos entre marzo y noviembre aproximadamente. Este fenómeno se puede explicar por los aportes solares

al edificio, el cual sufrirá variaciones dependiendo de la estación y horario en que nos encontremos, por esta razón a continuación se observará el comportamiento de la radiación solar de los distintos espacios del Laboratorio de Metrología de la Universidad del Bío-Bío en los muros y ventanas expresado en $\left(\frac{Wh}{m^2}\right)$.

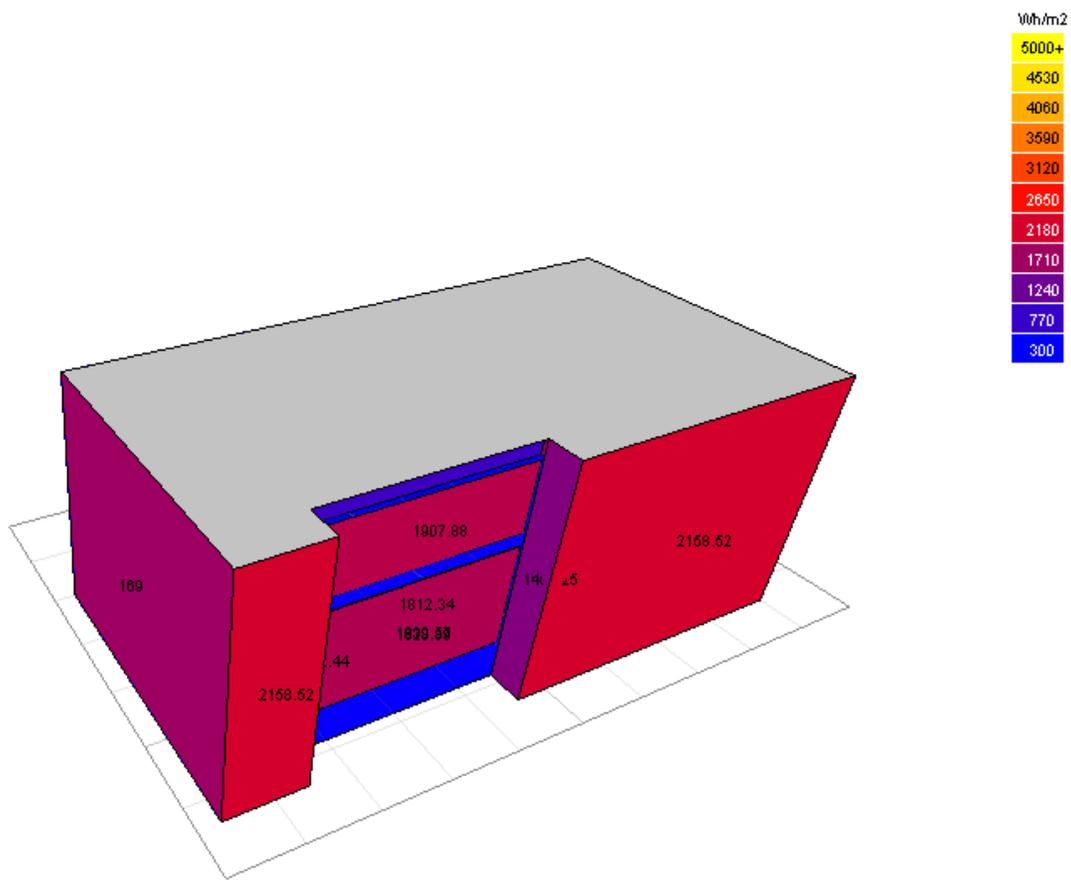


Figura 7.6 Radiación solar.

Aquí se pueden observar la distribución que presenta la radiación solar a lo largo de todo el año en el Laboratorio de Metrología, es importante señalar que la parte superior que se ve en color gris es debido a que al ser el cielo entre los dos pisos esta no recibe aporte solar por radiación.

7.5.1 Análisis de iluminación natural y Artificial.

Dentro de los tipos de análisis que posee Autodesk Ecotect Analysis es posible analizar la cantidad de iluminación natural y artificial que posee el edificio en estudio, con lo cual podemos obtener parámetros de iluminación y realizar análisis comparativos respecto a estas dos variables, es por esto que a continuación se presentan los datos obtenidos para cada uno de los análisis mencionados.

Iluminación natural en Laboratorio de Metrología.

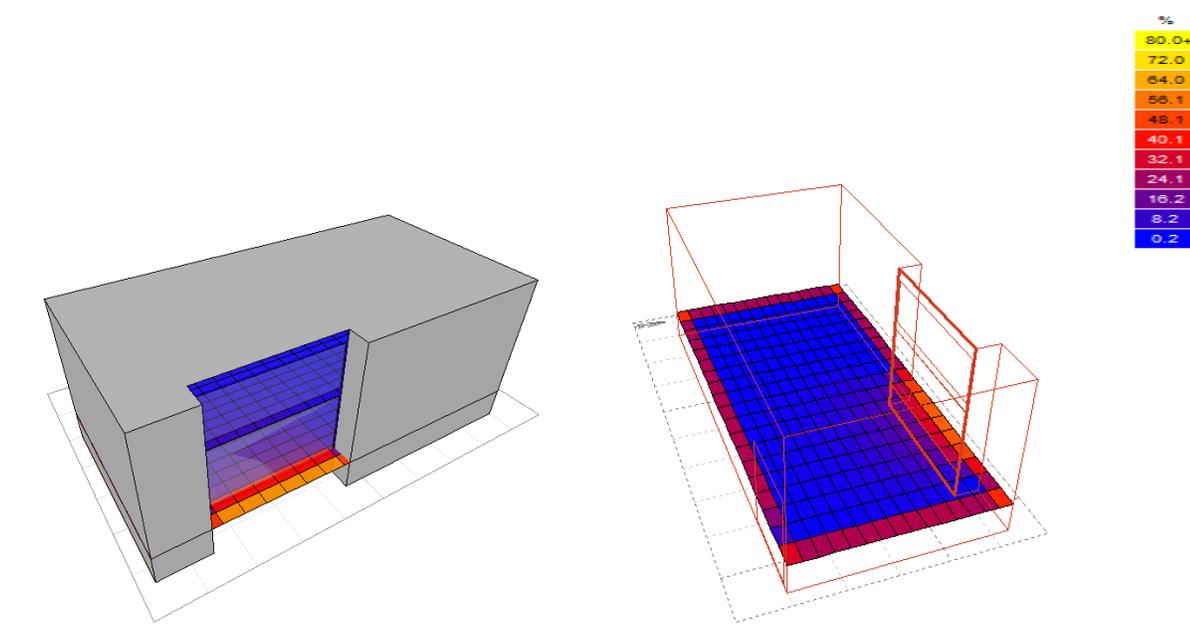


Figura 7.7 Iluminación natural.

En la figura anterior se puede observar el comportamiento en su interior y los valores máximos de iluminación natural que se pueden alcanzar para dicho recinto

A continuación, se procederá a realizar el análisis de iluminación artificial para el recinto con el Autodesk Ecotect Analysis mediante un método de análisis punto a punto, con la utilización de un enmallado en la parte inferior de la instalación.

Es importante señalar que los datos serán presentados en la unidad Lux que corresponde a $\left(\frac{\text{Luces}}{\text{m}^2}\right)$.

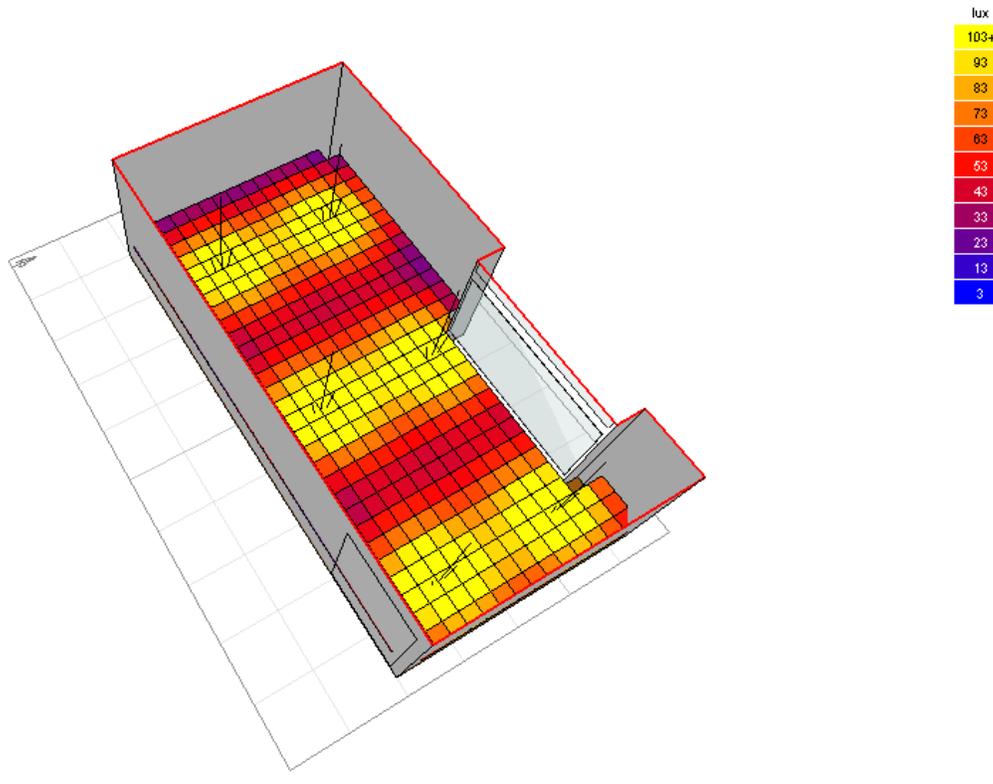


Figura 7.8 Iluminación Artificial.

Como bien se puede observar aquí las ganancias por iluminación artificial son mucho mayores que las obtenidas de forma natural.

Y así finalmente se presentan los resultados desglosados de los distintos tipos de ganancias de energía que posee el Laboratorio de metrología de la Universidad del Bío-Bío del departamento de Ingeniería Mecánica.

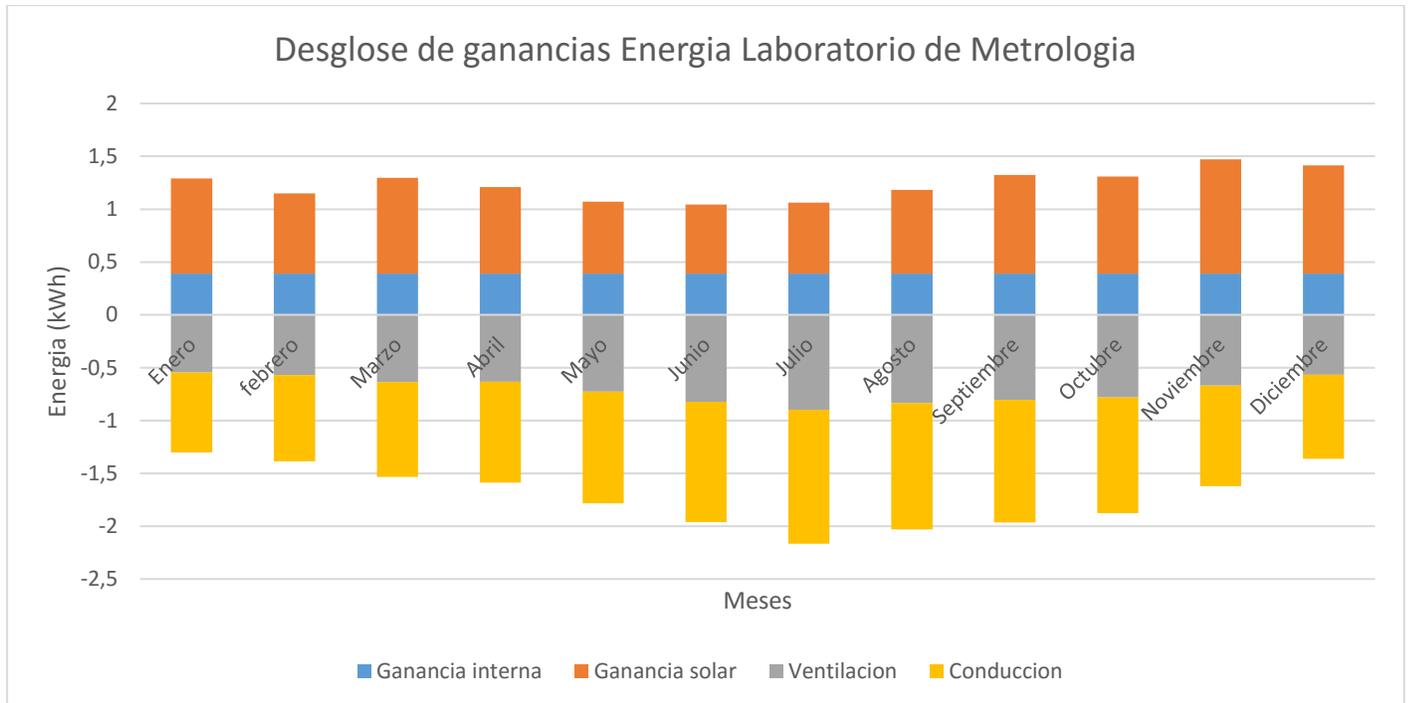


Figura 7.9 Ganancias de energía.

Como se puede observar las ganancias solares presentan una mayor influencia en las ganancias de energía, esto debido a la envergadura de las ventanas existentes en la edificación del laboratorio en estudio, por otra parte, las ganancias internas producidas por las personas que se encuentran especificadas en el gráfico no sufren modificaciones ya se cuenta con la totalidad de ocupación dentro del funcionamiento óptimo del laboratorio de metrología.

Por otra parte, también se deduce que las grandes pérdidas de calor son producidas por conducción por lo tanto se sugiere un cambio en los materiales envolventes de la edificación. Y por último las pérdidas de ventilación son producidas a partir de la infiltración de aire y ventilación propia del recinto por lo que es recomendable optar por

sistemas de recuperación de calor para así disminuir la cantidad de energía desperdiciada.

Según los datos obtenidos se realizaron finalmente una comparación del consumo energético obtenido de forma manual y los entregados por el software, de donde se desprenden los siguientes datos comparativos:

	Datos Obtenidos	Ecotect Analysis
Calefacción (kW-h/año)	13938,9	12912,11

Tabla 7.7 Comparación de datos.

Es importante señalar que solo se toma en cuenta esta medida, ya que el lograr un parámetro sobre el consumo energético para la refrigeración resulta más difícil realizarlo, es por esto que si bien estos datos presentan una variación entre ellos el error se encuentra dentro de rangos aceptables, es por esto que se asume que los valores determinados de forma manual se ajustan a los obtenidos por el Software de análisis de consumo energético.

8. Conclusiones.

1. El primer paso para el desarrollo del proyecto de climatización fue conocer las normas asociadas a los laboratorios de metrología, con la cual se obtuvieron los valores de referencia para los cálculos posteriores. Dicha norma utilizada fue la NCh-17025. La cual proporcionó los datos necesarios para la climatización del recinto, la cual dice que se debe mantener la temperatura en 20°C a lo largo de todo el año sin interrupción alguna.
2. En base a lo anterior se obtuvieron las cargas térmicas tanto de calefacción y refrigeración con el uso de metodología de cálculo basado en el manual Carrier de aire acondicionado, en donde cuyos valores corresponden a 2988,17 (W) y 4077,4 (W) respectivamente. De estos valores se observó claramente que la carga de refrigeración es mayor a la de calefacción, lo cual ocurre normalmente en la mayoría de las edificaciones debido a las ganancias que se producen en el recinto.
3. Teniendo las cargas térmicas se procedió a la determinación de las propuestas de climatización para el laboratorio, en donde la primera de ellas corresponde al uso de bomba de calor geotérmica de lazo cerrado con uso de captadores horizontales, en donde se seleccionó una bomba de calor de la marca Enertres modelo SW 6 HGL C de 5,8 de potencia nominal y un COP de 4,5. Teniendo en cuenta los valores de los distintos componentes obtuvimos que el costo total de la bomba de calor geotérmica sea de \$46.438.537. El cual se ve incrementado en gran medida por los costos asociados a la excavación necesaria para este tipo de instalaciones.
4. Luego se procedió a determinar los componentes de la segunda propuesta de climatización correspondiente a Paneles solares térmicos planos para calefacción y uso de máquina de absorción para refrigeración en verano, en donde a través de cálculos hechos en planilla Excel se determinó la demanda de calefacción anual del laboratorio, la cual es de 13938,9 (kW-h/año), con esto se determinó que con 3 paneles solares se cubrirá la demanda térmica necesaria. Teniendo en cuenta los paneles solares, el sistema de apoyo,

máquina de absorción y los distintos componentes el costo total de implementación es de \$ 20.357.291.

5. Demostrando así que la propuesta de climatización más rentable desde el punto de vista económico es la segunda, ya que significa aproximadamente el 50% de la primera propuesta, dejando de lado obviamente al sistema de aire acondicionado Split ya que como dijimos el proyecto está orientado a la utilización de otros tipos de energía para cumplir con la demanda energética.
6. Para darle un valor agregado al proyecto se realizó una evaluación energética del Laboratorio de Metrología mediante el uso de Autodesk Ecotect Analysis con el cual se realizaron varias simulaciones, una de ellas fue el consumo energético en donde se observa los periodos en los que se necesita calefacción y refrigeración. También se realizaron análisis de radiación solar en distintas horas y fechas para así ver su comportamiento en $\left(\frac{Wh}{m^2}\right)$ en los muros y pisos del recinto. Además, se mostró la simulación de los valores peak de la iluminación artificial y natural en los pisos del laboratorio todo esto con el fin de realizar ahorros en la energía.
7. Finalmente se realizó una comparación entre los consumos energéticos anuales obtenidos de forma manual y los entregados por el software, donde si bien no eran valores exactamente iguales el error presente es pequeño, demostrando así que los cálculos obtenidos de forma manual no se alejan en demasía de los entregados por software que trabaja de manera precisa.

9. Recomendaciones y sugerencias.

1. Es importante realizar una revisión de los materiales de construcción respecto al laboratorio, ya que según Autodesk Ecotect Analysis las mayores perdidas son producidas por efectos de la conducción de los elementos constructivos.
2. Se recomienda una mayor profundización en las máquinas de absorción ya que es una buena opción de refrigeración con la combinación de paneles solares térmicos, esto último ya que aquí solo se vio la selección de unos de los equipos, pero resultaría importante utilizarlo como un estudio más completo.
3. Implementar las normas para que el laboratorio de metrología trabaje bajo los estándares internacionales y así se muestre una mayor competitividad ante el mundo laboral para los futuros Ingenieros Mecánicos de la Universidad del Bío-Bío.

10.BIBLIOGRAFÍA.

- [1] Sanchez Arriagada, R. (2015). *Apuntes de Proyectos de Equipos e instalaciones Termicas*. Escuela Ingenieria Mecanica UBB.
- [2] Cerda Miskulini, L. (2015). *Apuntes de transferencia de calor*. Escuela Ingeniera Mecanica UBB.
- [3] Muñoz Viveros, C. (2013). *Apuntes curso de computacion ECOTECT* . Escuela Arquitectura UBB.
- [4] Graw Hill, M. (1987). *CARRIER AIR CONDITIONIG COMPANY*. New York.
- [5] Instituto Nacional de Normalizacion. (2005). *Requisitos Gnenerales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración .NCh-17025*.

Anexos

Anexo 1: Tablas temperaturas exteriores de cálculo de acuerdo a la NCh1078.c73

TEMPERATURA EXTERIOR DE CALCULO DE CIUDADES DEL PAIS			
Lugar	Latitud S	Zona Climática	Temperatura ext. de cálculo °C
Achao	42°28'	F	5
Aisén	45°24'	D	1
Algarrobo	33°22'	F	7
Ancud	41°52'	F	5
Angol	37°48'	E	3
Antofagasta	23°42'	F	9
Arica	18°28'	F	13
Calama	22°27'	F	5
Caldera	27°03'	F	9
Cartagena	33°33'	F	7
Castro	42°29'	F	5
Cauquenes	35°58'	E	3
Coyaique	45°34'	B	-3
Combarbalá	31°11'	E	3
Concepción	36°50'	F	5
Constitución	35°20'	F	5
Copiapó	27°21'	F	7
Coquimbo	29°56'	F	7
Coronel	37°01'	F	5
Curacautín	38°26'	D	1
Curicó	34°59'	E	3
Chaitén	42°54'	E	3
Chañaral	26°20'	F	9
Chile Chico	46°34'	B	-3
Chillán	36°36'	E	3
Huasco	28°27'	F	9
Illapel	31°37'	F	5
Iquique	20°12'	F	11
Islas Juan Fernandez	33°37'	F	9
La Calera	32°48'	E	3
La Ligua	32°27'	F	7
La Serena	29°55'	F	7
La Unión	40°15'	E	3
Lautaro	38°33'	E	3
Lebu	37°37'	F	5
Limache	33°01'	F	5
Linares	35°51'	E	3
Loncoche	39°23'	E	3

TABLA 2

(Continuación)

Lugar	Latitud S	Zona Climática	Temperatura ext. de cálculo °C
Lonquimay	38°26'	B	-3
Los Andes	32°50'	D	1
Los Angeles	37°28'	E	3
Los Vilos	31°54'	F	7
Lota	37°05'	F	5
Llolleo	33°38'	F	7
Melipilla	33°42'	E	3
Molina	35°05'	D	1
Navarino	55°10'	C	-1
Nueva Imperial	38°43'	E	3
Olmué	33°00'	F	5
Osorno	40°35'	E	3
Ovalle	30°36'	F	5
Palena	43°38'	C	-1
Panguipulli	39°41'	D	1
Panimávida	35°45'	E	3
Papudo	32°30'	F	7
Parral	36°09'	E	3
Pichidangui	32°07'	F	7
Pichilemu	34°24'	F	5
Pisagua	19°34'	F	11
Pitrufquén	38°59'	E	3
Potrerrillos	26°30'	F	5
Pucón	39°16'	D	1
Puerto Montt	41°28'	E	3
Puerto Natales	51°44'	B	-3
Puerto Varas	41°20'	E	3
Punta Arenas	53°10'	C	-1
Quilpué	33°04'	F	5
Quillota	32°54'	F	5
Quintero	32°47'	F	7
Rancagua	34°10'	D	1
Rengo	34°25'	E	3
San Antonio	33°34'	F	7
San Felipe	32°45'	E	3
San Fernando	34°35'	E	3
San José de Maipo	33°39'	D	1
Santiago	33°27'	E	3
Santo Domingo	33°39'	F	7
Talagante	33°40'	F	5
Talca	35°26'	E	3

TABLA 2

(Continuación)

Lugar	Latitud S	Zona Climática	Temperatura ext. de cálculo °C
Talcahuano	36°43'	F	5
Taltal	25°22'	F	9
Temuco	38°45'	E	3
Tocopilla	22°06'	F	11
Tomé	36°37'	F	5
Traiguén	38°15'	E	3
Valdivia	39°48'	E	3
Valparaíso	33°02'	F	7
Vallenar	28°34'	F	5
Victoria	38°14'	E	3
Vicuña	30°02'	F	5
Villa Alemana	33°04'	F	5
Villarrica	39°17'	C	1
Viña del Mar	33°01'	F	7
Yumbel	37°09'	E	3
Zapallar	32°32'	F	7

Anexo 2: Temperatura de locales no calefaccionados.

TABLA 3

TEMPERATURA DE LOCALES NO CALEFACCIONADOS

LOCAL	Temperatura exterior de cálculo, °C				
	+3	+1	-1	-3	-5
Local no calefaccionado, rodeado de otros calefaccionados	12	11	10	9	8
Sotanos no calefaccionados	13	12	11	11	10
Terreno debajo del suelo del sótano	12	11	10	10	9
Suelo a nivel del terreno	8	6	5	3	2
Atico no calefaccionado, inmediatamente debajo del tejado provisto de aislación térmica	13	12	11	11	10
Atico no calefaccionado, inmediatamente debajo del tejado sin protección térmica	8	6	4	2	0
Local auxiliar comunicado directamente con el aire exterior	6	4	2	0	-2

Anexo 3: Tablas de conductividad térmica de materiales de acuerdo a la NCh853-2007

TABLA 2			
CONDUCTIVIDAD TERMICA VALIDA (λ) Y DENSIDAD APARENTE (ρ) DE MATERIALES DE CONSTRUCCION.			
N°	Material (M)	ρ kg/m ³	λ W/(mK)
M.1	AISLANTES TERMICOS		
M.1.1	<u>En forma de colchonetas y fieltros</u>		
M.1.1.1	Colchoneta aislante de algodón.....	14	0,035
M.1.1.2	Colchoneta de lana mineral, entre papel, según densidades aparentes...	35 < ρ < 40 40 < ρ < 50 50 < ρ < 60 60 < ρ < 70 70 < ρ < 80 80 < ρ < 90 90 < ρ < 110 110 < ρ < 130	0,047 0,044 0,041 0,040 0,038 0,038 0,037 0,037
M.1.1.3	Fibra de lino, entre papel	78	0,041
M.1.1.4	Fibra de madera, tratada químicamen te y colocada entre capas de cartón	58	0,036
M.1.1.5	Fieltro de vidrio embreado		0,05
M.1.2.	<u>En forma de planchas (rígidas y semirígidas).</u>		
M.1.2.1	Lanas minerales de vidrio, rígidas o semirígidas	150 < ρ < 200 200 < ρ < 300	0,052 0,058
M.1.2.2	Madera triturada y cemento	390 480	0,066 0,11

TABLA 2 (continuación)

N°	Material (M)	ρ kg/m ³	λ W/(m.K)
M.1.2.3	Materias plásticas expandidas		
M.1.2.3.1	Caucho espuma	50 <math>\rho < 100</math>	0,035
		200	0,045
		300	0,06
		400	0,07
		500	0,09
M.1.2.3.2	Cloruro de polivinilo expandido ..	40 <math>\rho < 72</math>	0,035
M.1.2.3.3	Ebonita expandida	64	0,031
M.1.2.3.4	Formaldehido de fenol celular	32	0,042
M.1.2.3.5	Poliestireno ^(estirobl) expandido, según densidades aparentes	10 <math>\rho < 16</math>	0,036
		20 <math>\rho < 25</math>	0,035
		25 <math>\rho < 30</math>	0,034
M.1.2.3.6	Poliuretano expandido	24	0,025
M.1.2.4	Paneles de amianto	200	0,056
		300	0,065
		400	0,078
		500	0,084
		600	0,105
		800	0,15
M.1.2.5	Paneles de fibras aglomeradas, con colas orgánicas	200	0,044
		250	0,045
		300	0,047
		350	0,050
		400	0,052
		450	0,055
		500	0,059
		550	0,064
		600	0,071

TABLA 2 (continuación)

Nº	Material (M)	ρ kg/m ³	λ W/(m·K)
M.1.2.6	Paneles de fibra de vidrio.....	16	0,051
		22	0,042
		40	0,040
		54	0,036
M.1.2.7	Plancha de corcho.....	100	0,040
		200	0,047
		300	0,058
		400	0,066
		500	0,074
M.1.2.8	Plancha de corcho aglomerado con asfalto.....	230	0,047
M.1.2.9	Plancha de corcho sin aglomerante...	96	0,035
		112	0,038
		170	0,043
		224	0,049
M.1.3	Material suelto (de relleno)		
M.1.3.1	Aserrín de corcho (\approx 5 mm).....	130	0,044
M.1.3.2	Aserrín de madera.....	190	0,06
M.1.3.3	Corcho granulado.....	50	0,035
		100	0,040
		150	0,045
		200	0,050
M.1.3.4	Corteza de pino.....	80	0,037
M.1.3.5	Escorias de alto horno.....	---	0,11
M.1.3.6	Fibras de vidrio (0,008 a 0,15 mm) ..	24	0,040
M.1.3.7	Lana de amianto.....	100	0,061
		200	0,063
		400	0,12
		50	0,041
M.1.3.8	Lana de vidrio.....	100	0,039
		200	0,041
		300	0,048
		400	0,056
M.1.3.9	Lana mineral granulada, aplicada a mano o a máquina en espesores de 5 a 15 cm, posición horizontal; sin recubrimiento.....	40 < ρ < 160	0,043
M.1.3.10	Material fibroso, a base de dolomita y sílice.....	24	0,038
M.1.3.11	Material fibroso, a base de escoria.	150	0,038
M.1.3.12	Material granular aislante fabricado con silicato cálcico y alúmina	67	0,035
M.1.3.13	Poliestireno en partículas.....	15	0,036
M.1.3.14	Vermiculita expandida.....	100	0,070
M.1.3.15	Vermiculita en partículas.....	99	0,047

TABLA 2 (continuación)

N°	Material (M)	ρ kg/m ³	λ W/(m·K)
M.2	CUBIERTAS		
M.2.1	Asbestocemento en planchas onduladas.....	1800 ρ <math>< 2000</math>	0,76
M.2.2	Asbestocemento en planchas planas.....	1400 ρ <math>< 1800</math>	0,65
M.2.3	Asfalto	2100	0,9
M.2.4	Bitúmen (betún).....	1050	0,16
M.2.5	Cartón asfaltado.....	1100	0,14
M.2.6	Fibrocemento (amianto-cemento-celulosa).....	1400 ρ <math>< 1800</math> 1000 ρ <math>< 1400</math>	0,46 0,35
M.2.7	Planchas onduladas metálicas.....	---	50
M.2.8	Tejas curvas.....	---	0,76
M.2.10	Tejas y planchas prensadas de fibrocemento.....	1800	0,76
M.3	HORMIGONES		
M.3.1	Bloques huecos de hormigón (promedio).....	1160 1150 500	0,94 0,76 0,66
M.3.2	Hormigón armado, dosificación normal	2400	1,75(1,50)
M.3.3	Hormigón celular		
M.3.3.1	Hormigón con cenizas.....	1000	0,41
M.3.3.2	Hormigón con escorias de altos hornos.....	600 800 1000	0,17 0,22 0,30
M.3.3.3	Hormigón normal, con áridos silíceos.....	600 800 1000	0,34 0,49 0,67
M.3.4	Hormigón liviano (con piedra pómez, escoria dilatada, puzolana, poliestireno expandido en copos, vermiculita, etc.).....	600 800 1000 1200 1400	0,17 0,26 0,33 0,43 0,55
M.3.5	Hormigón con grava normal, sin armar:		
M.3.5.1	Hormigón con áridos livianos.....	1600 1800	0,73 0,93
M.3.5.2	Hormigón con áridos ordinarios, sin vibrar.....	2000	1,16
M.3.5.3	Hormigón con áridos ordinarios, vibrado.....	2200 2400	1,40 1,75

TABLA 2 (continuación)

Nº	Material (M)	ρ kg/m ³	λ W/(m·K)
M.3.6	Hormigón de madera		
M.3.6.1	Hormigón de viruta de madera.....	450 < ρ < 650	0,26
M.3.6.2	Hormigón de fibras de madera.....	300 < ρ < 400	0,12
		400 < ρ < 500	0,14
		500 < ρ < 600	0,16
M.3.7	Placa de hormigón.....	2000	0,77
M.3.8	Placa de hormigón de escorias.....	1350	0,29
M.4	LADRILLOS		
A.4.1	Albañilería de ladrillo, incluso las juntas de mortero.		
M.4.1.1	Clinker.....	$\rho > 1900$	1,05
M.4.1.2	Clinker hueco.....	-----	0,79
M.4.1.3	Ladrillo hueco.....	1000	0,46
		1200	0,52
		1400	0,60
M.4.1.4	Ladrillo macizo	1000	0,46
		1200	0,52
		1400	0,60
		1800	0,79
		2000	1,0
		-----	0,5
M.4.2	Ladrillo hecho a mano.....	600	0,25
M.4.3	Ladrillo liviano con agregados....	800	0,31
M.4.4	Muros de adobes.....	1100 < ρ < 1800	0,90
M.4.5	Muros de ladrillos livianos.....	800	0,34
		1000	0,41
		1200	0,49
M.4.6	Muros de ladrillos normales.....	1600	0,76
		1800	0,87
		2000	1,05
M.5	MADERAS		
M.5.1	Maderas livianas, tales como: álamo, pino insigne, alerce, tepa, laurel, raulí, coigüe, lingue, olivillo...	350 < ρ < 450	0,12
		450 < ρ < 600	0,15
M.5.2	Maderas pesadas, tales como: ulmo, pino araucaria, roble, pellín, eucalipto.....	600 < ρ < 900	0,23
M.5.3	Madera terciada.....	400 < ρ < 600	0,14
M.5.4	Paneles de fibras de madera prensada.....	850 < ρ < 1000	0,20
M.5.5	Viruta de madera.....	140	0,060
		210	0,051

TABLA 2 (continuación)

Nº	Material (M)	ρ kg/m ³	λ W/(m·K)
M.5.6	Viruta de madera mineralizada y con cemento.....	400	0,066
M.5.7	Viruta de madera prensada.....	650	0,082
M.6	MATERIALES A GRANEL O EN POLVO		
M.6.1	Arena.....	1600	0,49
M.6.2	Escorias.....	800	0,25
		1000	0,29
		1200	0,34
		1400	0,41
M.6.3	Grava.....	1800 <math>\rho < 2200</math>	0,80
M.6.4	Ladrillo molido	-	0,4
M.6.5	Productos minerales a granel.....	200	0,15
		400	0,18
		600	0,22
M.6.6	Productos minerales en polvo (kieselguhr, polvo mineral).....	200	0,08
		400	0,12
		600	0,16
		800	0,21
		1000	0,27
		1200	0,34
		1400	0,40
M.7	METALES		
M.7.1	Acero (1% C).....	7780	50
M.7.2	Aluminio.....	2700	210
M.7.3	Aluminio duro (duraluminio: 95% Al, 5% Cu).....	2780	200
M.7.4	Cinc.....	7140	110
M.7.5	Cobre.....	8930	380
M.7.6	Fundición (4% C).....	7400	50
M.7.7	Hierro puro.....	7870	75
M.7.8	Latón (70% Cu, 30% Zn).....	8450	105
M.7.9	Plomo.....	11300	35
M.8	MORTEROS Y ENLUCIDOS		
M.8.1	Enlucidos de yeso.....	800	0,35
		1000	0,44
		1200	0,56
M.8.2	(Tales y morteros) Enlucidos y morteros de cal o cemento.....	1600	0,65
		1800	0,84
		2000	1,05
		2200	1,40

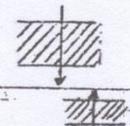
TABLA 2 (continuación)

Nº	Material (M)	ρ kg/m ³	λ W/(m·K)
M.8.3	Placas celulares o de áridos li- vianos.....	200 400 600	0,09 0,16 0,25
M.8.4	Placas de yeso.....	600 800 1000 1200	0,24 0,28 0,35 0,41
M.9	PAVIMENTOS	---	1,05
M.9.1	Azulejos.....	---	1,75
M.9.2	Baldosas cerámicas.....	---	1,75
M.9.3	Linóleo.....	1200	0,19
M.9.4	Madera (ver M.5)	---	0,75
M.9.5	Pavimento plástico	---	2,0-3,5
M.9.6	Mármol.....	2500 < ρ < 2850 2200	1,75
M.9.7	Terrazo.....	---	0,3 < λ < 2,8
M.9.8	Tierra natural.....	1600 < ρ < 1900	0,3 < λ < 2,8
M.10	PIEDRAS	---	---
M.10.1	Arena, secado normal.....	1500 2200	0,6 1,4
M.10.2	Arenisca.....	---	1,8
M.10.3	Basaltos.....	2800 < ρ < 3000	1,8
M.10.4	Calcáreas	---	---
M.10.4.1	blandas.....	1450 < ρ < 1850	1,05
M.10.4.2	medias (calizas).....	1850 < ρ < 2150	1,4
M.10.4.3	duras.....	2150 < ρ < 2580	2,2
M.10.4.4	mármol.....	ρ > 2590	2,9
M.10.5	Granito.....	2600 < ρ < 3000	3,5
M.10.6	Gravas.....	1900	2,3
M.10.7	Lavas.....	2100 < ρ < 2400	2,9
M.10.8	Mampostería.....	---	1,6 < λ < 5
M.10.9	Piedra pómez.....	---	0,16 < λ < 0,5
M.11	VARIOS	---	---
M.11.1	Cartón.....	800 700	0,14 0,14
M.11.2	Cartón piedra.....	---	0,035
M.11.3	Caucho espuma.....	50 < ρ < 100 200 300 400 500	0,045 0,06 0,07 0,09
M.11.4	Caucho natural.....	1050 1150	0,16 0,28
M.11.5	Caucho sintético.....	1150 1250	0,23 0,47

TABLA 2 (continuación)			
Nº	Material (M)	ρ kg/m ³	λ W/(m-K)
M.11.6	Celuloide.....	1400	0,22
M.11.7	Papel.....	1000	0,13
M.11.8	Vidrio para ventanas.....	-	1,2
M.12	YESOS		
M.12.1	Bloques de yeso para tabiques.	-	0,40
M.12.2	Planchas de yeso con revesti- miento de cartón en ambas caras.....	-	0,20
M.12.3	Yeso con piedras pómez, esco- ria dilatada, puzolana, ver- miculita, poliestireno ex- pandido.....	200 400 600	0,08 0,12 0,16
M.12.4	Yeso normal.....	-	0,48
M.12.5	Yesos porosos.....	200 400 600	0,12 0,21 0,29

Anexo 4: Resistencia térmica de superficies.

TABLA 3
RESISTENCIAS TERMICAS DE SUPERFICIE ($1/h_i$, $1/h_e$, $1/h_i + 1/h_e$)
($m^2 \cdot K/W$)

Inclinación de elementos y sentido del flujo de calor	Elementos exteriores			Elementos interiores		
	$1/h_i$	$1/h_e^{*}$	$1/h_i + 1/h_e$	$1/h_i'$	$1/h_i''$	$(1/h_i' + 1/h_i'')$
Elementos verticales 	0,12	0,05	0,17	0,12	0,12	0,24
Elementos horizontales o ligeramente inclinados (flujo ascendente) 	0,09	0,05	0,14	0,10	0,10	0,20
Elementos horizontales (flujo descendente) 	0,17	0,05	0,22	0,17	0,17	0,34
				0,11	0,11	0,22

(*) Los valores de $1/h_e$ corresponden a aire exterior movido con velocidad media de 2 m/s, aproximadamente y los demás a aire en reposo. Estos valores se utilizan como base de cálculos comparativos entre las propiedades térmicas de diferentes elementos. Para los cálculos en condiciones reales, se debe consultar la norma referente a condiciones climatológicas.

$h_e = 5,8 + 4 \cdot \vec{V}$ [W/m² K] si $\vec{V} < 5$ m/s
 $h_e = 7,15 \cdot \vec{V}^{0,78}$ [W/m² K] si $\vec{V} \geq 5$ m/s

Anexo 5: Resistencia térmica de espacios no ventilados, de acuerdo a la Norma Nch 853-of71.

TABLA 4 (ver Nota 7)				
RESISTENCIA TERMICA VALIDA POR UNIDAD DE SUPERFICIE, R_a , DE ESPACIOS NO VENTILADOS (CAMARAS DE AIRE) VERTICALES; (flujo térmico horizontal)				
Espesor del espacio (e) mm	Factor a'			
	0,82	0,20	0,1	0,05
	Resistencia térmica válida, R_a , m ² .K/W			
5	0,105	0,17	0,20	0,20
10	0,14	0,28	0,32	0,38
15	0,155	0,35	0,43	0,51
20	0,165	0,37	0,46	0,55
25	0,165	0,37	0,46	0,55
30	0,16	0,35	0,45	0,53
35	0,155	0,35	0,44	0,51
$e \geq 40$	0,155 - 0,19	0,35	0,43	0,50

Nota 7 . Las Tablas 4,5 y 6 indican la resistencia térmica, R_a , válida de espacios continuos no ventilados (cámaras de aire) en función de los parámetros siguientes:

- sentido de flujo térmico
- espesor del espacio (de la cámara de aire)
- factor a' , dado por la fórmula:

$$\frac{1}{a'} = \frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_2} - 1$$

en que :

- a_1, a_2 = absorptividades de las superficies en contacto con el espacio considerado.
- $a = 0,9$ superficie de albañilería, madera, papel, vidrio o pinturas no metálicas.
- $a = 0,2$ superficie de papel de aluminio, fierro galvanizado brillante.
- $a = 0,05$ superficie de lámina de aluminio brillante.

Se distinguen los 4 casos característicos siguientes:

- Caso general : $a_1 = a_2 = 0,9$ de donde: $a' = 0,82$
- Una superficie absorbe poco: $a_1 = 0,2$; $a_2 = 0,9$, de donde: $a' = 0,20$
- Ambas superficies absorben poco: $a_1 = a_2 = 0,2$, de donde: $a' = 0,11$.
- Una absorbe muy poco: $a_1 = 0,05$; $a_2 = 0,9$. de donde: $a' = 0,05$.

Anexo 6: Resistencia térmica de espacios no ventilados con cámara de aire horizontales.

Flujo térmico ascendente.

Espesor del espacio (e) mm	Factor a'			
	0,82	0,20	0,11	0,05
	Resistencia térmica válida, $R_a, m^2 \cdot K/W$			
5	0,10	0,16	0,17	0,19
10	0,13	0,23	0,26	0,29
15	0,13	0,25	0,29	0,32
20	0,135	0,25	0,29	0,33
30	0,14	0,26	0,31	0,35
40	0,14	0,27	0,32	0,36
50	0,14	0,28	0,33	0,37
60	0,14	0,28	0,34	0,38
70	0,14	0,29	0,34	0,39
80	0,145	0,29	0,35	0,39
90	0,145	0,29	0,35	0,40
e ≥ 100	0,145	0,30	0,36	0,40

Flujo térmico descendente.

Espesor del espacio (e) mm	Factor a'			
	0,82	0,20	0,11	0,05
	Resistencia térmica válida, $R_a, m^2 \cdot K/W$			
5	0,09	0,16	0,20	0,20
10	0,14	0,29	0,34	0,37
15	0,16	0,36	0,45	0,52
20	0,17	0,42	0,55	0,65
25	0,17	0,47	0,63	0,76
30	0,175	0,51	0,68	0,87
40	0,185	0,57	0,77	1,03
50	0,19	0,60	0,84	1,15
60	0,19	0,61	0,89	1,25
70	0,195	0,62	0,94	1,33
80	0,20	0,63	0,97	1,40
90	0,20	0,63	1,00	1,46
e ≥ 100	0,20	0,63	1,03	1,51

Anexo 7: Suplemento s_0 de acuerdo a Nch 1078 c73.

SUPLEMENTO s_0				
Modo del servicio de calefacción	valores del suplemento s_0			
	Permeabilidad térmica media, P_m , $W/(m^2 \cdot K)$			
	0,11 a 0,34	0,35 a 0,81	0,82 a 1,74	>1,75
1. Reducción de la potencia durante la noche	0,07	0,07	0,07	0,07
2. Interrupción durante 9 a 12 h	0,20	0,15	0,15	0,15
3. Interrupción durante 12 a 16 h	0,30	0,25	0,20	0,15

Anexo 8: Suplemento s_1 por orientación.

Orientación	N	NE	E	SE	S	SO	O	NO
Suplemento s_1	-0,05	-0,05	0	+0,05	+0,05	+0,05	0	-0,05

Anexo 9: Factor característico del local (R).

Ventanas de:	Puertas interiores		R
	No herméticas	Herméticas	
Madera y material sintético.	$A_v/A_p < 3$ *)	$A_v/A_p < 1,5$ *)	0,9
	$3 \leq A_v/A_p \leq 9$ *)	$1,5 \leq A_v/A_p \leq 3$ *)	0,7
Metal	$A_v/A_p \leq 6$ *)	$A_v/A_p < 2,5$ *)	0,9
	$6 \leq A_v/A_p \leq 20$	$2,5 \leq A_v/A_p \leq 6$	0,7

Anexo 10: Factor característico de casa (H).

Localidad	Situación	Casa de fila *	Casa independiente
normal	Protegida	0,24	0,34
	despejada	0,41	0,58
	extraordinariamente despejada	0,60	0,84
de vientos intensos	protegida	0,41	0,58
	despejada	0,60	0,84
	extraordinariamente despejada	0,82	1,13

Anexo 11: Infiltración de aire.

CLASE DE HABITACIÓN O EDIFICIO	Nº renovaciones hora N°RH
Habitaciones sin ventanas exteriores	0,5
Habitaciones con ventanas o puertas exteriores por 1 lado	0,5 - 1,0
Habitaciones con ventanas o puertas exteriores en 2 lados	1,0 - 1,5
Habitaciones con ventanas o puertas exteriores en 3 lados	1,5 - 2,0
Recibidores de entrada o Hall	≈ 2,0

Anexo 12: Pérdidas por el piso.

Aislacion piso	Resistencia térmica total piso (m ² °C/W)	Coficiente " H " (W / m °C)
Piso corriente	0.15 - 0,25	1,4
Piso medianamente aislado	0,26 - 0,6	1,2
Piso aislado	> 0,6	1,0

Anexo 13: Máximas aportaciones solares a través de cristal sencillo.

TABLA 6. MÁXIMAS APORTACIONES SOLARES A TRAVÉS DE CRISTAL SENCILLO *
kcal/ (hora) (m²)

LATITUD NORTE	MES	ORIENTACIÓN (LATITUD NORTE)									MES	LATITUD SUR
		N**	NE	E	SE	S	SO	O	NO	Horiz.		
0°	Junio	160	423	398	113	38	113	398	423	612	Diciembre Nov. y Enero Oct. y Febrero Sept. y Marzo Agosto y Abril Julio y Mayo Junio	0°
	Julio y Mayo	130	414	412	141	38	141	412	414	631		
	Agosto y Abril	67	382	442	214	38	214	442	382	664		
	Sept. y Marzo	27	320	432	320	38	320	432	320	678		
	Oct. y Febrero	27	214	442	382	92	382	442	214	664		
	Nov. y Enero	27	141	412	414	181	414	412	141	631		
	Diciembre	27	113	398	423	222	423	398	113	612		
10°	Junio	108	414	420	149	38	149	420	414	659	Diciembre Nov. y Enero Oct. y Febrero Sept. y Marzo Agosto y Abril Julio y Mayo Junio	10°
	Julio y Mayo	81	401	428	179	38	179	428	401	669		
	Agosto y Abril	35	352	442	254	38	254	442	352	678		
	Sept. y Marzo	27	279	444	344	75	344	444	279	669		
	Oct. y Febrero	27	179	420	404	198	404	420	179	623		
	Nov. y Enero	24	100	387	436	287	273	387	100	569		
	Diciembre	24	75	371	442	324	442	371	75	547		
20°	Junio	70	417	413	198	38	198	433	417	678	Diciembre Nov. y Enero Oct. y Febrero Sept. y Marzo Agosto y Abril Julio y Mayo Junio	20°
	Julio y Mayo	51	374	442	230	38	230	442	374	680		
	Agosto y Abril	29	320	447	306	70	306	447	320	669		
	Sept. y Marzo	27	235	442	379	176	379	442	235	631		
	Oct. y Febrero	24	141	398	433	301	433	398	141	564		
	Nov. y Enero	21	70	347	444	382	444	347	70	488		
	Diciembre	21	48	328	452	404	452	328	48	461		
30°	Junio	54	377	436	244	57	244	436	377	678	Diciembre Nov. y Enero Oct. y Febrero Sept. y Marzo Agosto y Abril Julio y Mayo Junio	30°
	Julio y Mayo	43	355	444	271	81	271	444	355	667		
	Agosto y Abril	29	292	447	349	170	349	447	292	637		
	Sept. y Marzo	24	244	428	412	284	412	428	244	574		
	Oct. y Febrero	21	105	366	442	393	442	366	105	485		
	Nov. y Enero	19	43	314	439	431	439	314	43	393		
	Diciembre	16	32	284	439	442	439	284	32	355		
40°	Junio	46	360	439	301	146	301	439	360	642	Diciembre Nov. y Enero Oct. y Febrero Sept. y Marzo Agosto y Abril Julio y Mayo Junio	40°
	Julio y Mayo	40	344	444	339	187	339	444	344	631		
	Agosto y Abril	29	276	439	395	276	396	439	276	580		
	Sept. y Marzo	24	157	404	439	379	439	404	157	496		
	Oct. y Febrero	19	94	330	442	439	442	330	94	349		
	Nov. y Enero	13	32	271	423	450	423	271	32	279		
	Diciembre	13	27	233	401	447	401	233	27	230		
50°	Junio	43	341	444	366	252	366	444	341	596	Diciembre Nov. y Enero Oct. y Febrero Sept. y Marzo Agosto y Abril Julio y Mayo Junio	50°
	Julio y Mayo	38	317	442	387	287	387	442	317	572		
	Agosto y Abril	29	254	428	425	374	425	428	254	501		
	Sept. y Marzo	21	157	374	442	428	442	374	157	401		
	Oct. y Febrero	13	78	284	425	452	425	284	78	254		
	Nov. y Enero	10	24	173	344	414	344	173	24	143		
	Diciembre	8	19	127	314	382	314	127	19	108		
		S	SE	E	NE	N	NO	O	SO	Horiz.		
		ORIENTACIÓN (LATITUD SUR)										

Anexo 14: Factor de almacenamiento.

TABLA 8. FACTORES DE ALMACENAMIENTO SOBRE CARGA TÉRMICA, APORTACIONES SOLARES A TRAVÉS DE VIDRIO

Con vidrio descubierto o con elementos de sombra externos*
Funcionamiento de 24 horas diarias, Temperatura interior constante**

ORIENTACION (Latitud Norte)	PESO(***) (kgpor m ² de superf de suelo)	HORA SOLAR																								ORIENTACION (Latitud Sur)					
		MAÑANA												TARDE													MAÑANA				
		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5						
NE	750 y más	0,17	0,27	0,33	0,33	0,31	0,29	0,27	0,25	0,23	0,22	0,20	0,19	0,17	0,15	0,14	0,12	0,11	0,10	0,09	0,08	0,07	0,07	0,06	0,06	SE					
	500	0,19	0,31	0,38	0,39	0,36	0,34	0,27	0,24	0,22	0,21	0,19	0,17	0,16	0,14	0,12	0,10	0,07	0,08	0,07	0,06	0,05	0,05	0,04	0,03						
E	750 y más	0,16	0,26	0,34	0,39	0,40	0,38	0,34	0,30	0,28	0,26	0,23	0,22	0,20	0,18	0,16	0,14	0,13	0,12	0,10	0,09	0,08	0,08	0,07	0,06	E					
	500	0,16	0,29	0,40	0,46	0,46	0,42	0,36	0,31	0,28	0,25	0,23	0,20	0,18	0,15	0,14	0,12	0,11	0,09	0,08	0,08	0,06	0,06	0,05	0,04						
SE	750 y más	0,08	0,14	0,22	0,31	0,38	0,43	0,44	0,43	0,39	0,35	0,32	0,29	0,26	0,23	0,21	0,19	0,16	0,15	0,13	0,12	0,11	0,10	0,09	0,08	NE					
	500	0,08	0,18	0,40	0,59	0,72	0,77	0,72	0,60	0,44	0,32	0,23	0,18	0,14	0,09	0,07	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01						
S	750 y más	0,10	0,10	0,13	0,20	0,28	0,35	0,42	0,48	0,51	0,51	0,48	0,42	0,37	0,33	0,29	0,26	0,23	0,21	0,19	0,17	0,15	0,14	0,13	0,12	N					
	500	0,07	0,06	0,12	0,20	0,30	0,39	0,48	0,54	0,58	0,57	0,53	0,45	0,37	0,31	0,27	0,23	0,20	0,18	0,16	0,14	0,12	0,10	0,09	0,08						
SO	750 y más	0,11	0,10	0,10	0,10	0,10	0,14	0,21	0,29	0,36	0,43	0,47	0,46	0,40	0,34	0,30	0,27	0,24	0,22	0,20	0,18	0,16	0,14	0,13	0,12	NO					
	500	0,09	0,09	0,08	0,09	0,09	0,14	0,22	0,31	0,42	0,50	0,53	0,51	0,44	0,35	0,29	0,26	0,22	0,19	0,17	0,15	0,13	0,12	0,11	0,09						
O	750 y más	0,12	0,11	0,11	0,10	0,10	0,10	0,10	0,13	0,19	0,27	0,36	0,42	0,44	0,38	0,33	0,29	0,26	0,23	0,21	0,18	0,16	0,15	0,13	0,12	O					
	500	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,10	0,12	0,19	0,30	0,40	0,48	0,51	0,42	0,35	0,30	0,25	0,22	0,19	0,16	0,14	0,13	0,11	0,09	0,08						
NO	750 y más	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,12	0,17	0,25	0,34	0,39	0,34	0,29	0,26	0,23	0,20	0,18	0,16	0,14	0,13	0,12	0,10	SO					
	500	0,02	0,04	0,05	0,07	0,08	0,09	0,10	0,10	0,13	0,22	0,48	0,65	0,73	0,49	0,31	0,21	0,16	0,10	0,07	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01						
N y sombra	750 y más	0,16	0,23	0,33	0,41	0,47	0,52	0,57	0,61	0,66	0,69	0,72	0,74	0,59	0,52	0,46	0,42	0,37	0,34	0,31	0,27	0,25	0,23	0,21	0,17	S y sombra					
	500	0,11	0,33	0,44	0,51	0,57	0,62	0,66	0,70	0,74	0,76	0,79	0,80	0,60	0,51	0,44	0,37	0,32	0,29	0,27	0,23	0,21	0,18	0,16	0,13						

Anexo 15: Ganancias de calor debido al alumbrado.

TABLA 12. FACTORES DE ALMACENAMIENTO DE LA CARGA. GANANCIAS DE CALOR DEBIDAS AL ALUMBRADO*

Luces en funcionamiento durante 10 horas**, con equipo de acondicionamiento funcionando 12, 16 y 24 horas.
Temperatura del local constante

Duración de funcionamiento de instalación	Peso (***) (kg/m ² de superf de suelo)	NÚMERO DE HORAS TRANSCURRIDAS DESDE QUE SE ENCIENDEN LAS LUCES																								
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
		Alumbrado fluorescente Aparato no empotrado	24	750 y más	0,37	0,67	0,71	0,74	0,76	0,79	0,81	0,83	0,84	0,86	0,87	0,29	0,26	0,23	0,20	0,19	0,17	0,15	0,14	0,12	0,11	0,10
500	0,31			0,67	0,72	0,76	0,79	0,81	0,83	0,85	0,87	0,88	0,90	0,30	0,26	0,22	0,19	0,16	0,15	0,13	0,12	0,10	0,09	0,08	0,07	0,06
16	750 y más		0,60	0,82	0,83	0,84	0,84	0,85	0,85	0,86	0,88	0,90	0,32	0,28	0,25	0,23	0,19									
	500		0,46	0,79	0,84	0,86	0,87	0,88	0,88	0,89	0,89	0,90	0,30	0,26	0,22	0,19	0,16									
12	750 y más		0,63	0,90	0,91	0,93	0,93	0,94	0,95	0,95	0,95	0,96	0,96	0,37												
	500		0,57	0,89	0,91	0,92	0,94	0,94	0,95	0,95	0,96	0,96	0,97	0,36												
Alumbrado fluorescente empotrado o incandescente no empotrado	24	750 y más	0,34	0,55	0,61	0,65	0,68	0,71	0,74	0,77	0,79	0,81	0,83	0,39	0,35	0,31	0,28	0,25	0,23	0,20	0,18	0,16	0,15	0,14	0,12	0,11
		500	0,24	0,56	0,63	0,68	0,72	0,75	0,78	0,80	0,82	0,84	0,86	0,40	0,34	0,29	0,25	0,20	0,18	0,17	0,15	0,14	0,12	0,10	0,09	0,08
	16	750 y más	0,58	0,75	0,79	0,80	0,80	0,81	0,82	0,83	0,84	0,85	0,87	0,88	0,40	0,34	0,29	0,25	0,20							
		500	0,46	0,73	0,78	0,82	0,82	0,82	0,83	0,84	0,85	0,87	0,88	0,40	0,34	0,29	0,25	0,20								
	12	750 y más	0,69	0,86	0,89	0,90	0,91	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,95	0,50												
		500	0,58	0,85	0,88	0,88	0,90	0,92	0,93	0,94	0,94	0,94	0,95	0,48												
Alumbrado (fluorescente o incandescente) empotrado en falso techo que sirve de retorno de cámara de pleno	24	750 y más	0,23	0,33	0,41	0,47	0,52	0,57	0,61	0,66	0,69	0,72	0,74	0,59	0,52	0,46	0,42	0,37	0,34	0,31	0,27	0,25	0,23	0,21	0,18	0,16
		500	0,17	0,33	0,44	0,52	0,56	0,61	0,66	0,69	0,74	0,77	0,79	0,60	0,51	0,44	0,37	0,32	0,30	0,27	0,23	0,20	0,18	0,16	0,14	0,12
	16	750 y más	0,47	0,64	0,68	0,72	0,73	0,74	0,74	0,75	0,76	0,78	0,79	0,80	0,81	0,82	0,60	0,51	0,44	0,37	0,32	0,30	0,27	0,23	0,20	0,18
		500	0,07	0,53	0,70	0,78	0,84	0,88	0,91	0,93	0,95	0,97	0,98	0,52	0,34	0,24	0,16	0,11								
	12	750 y más	0,75	0,79	0,83	0,84	0,86	0,88	0,89	0,91	0,91	0,93	0,93	0,75												
		500	0,68	0,77	0,81	0,84	0,86	0,88	0,89	0,89	0,92	0,93	0,93	0,72												

Anexo 16: Aportaciones solares a través del vidrio sencillo.

TABLA 15. APORTACIONES SOLARES A TRAVÉS DE VIDRIO SENCILLO (Cont.)
kcal/h × (m² de abertura)

40°		0° LATITUD NORTE																40°	
		HORA SOLAR																	
Época	Orientación	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	Orientación	Época			
21 Junio	N	87	54	32	35	38	38	38	38	38	35	32	54	86	22 Diciembre	S			
	NE	329	369	303	198	81	38	38	38	38	35	32	27	16		SE			
	E	341	436	439	385	257	119	38	38	38	35	32	27	16		E			
	SE	138	236	295	303	268	190	92	38	38	35	32	27	16		NE			
	S	16	27	32	35	38	38	38	119	94	51	32	27	16		N			
SO	16	27	32	35	38	38	92	192	268	301	295	238	138	NO					
O	16	27	32	35	38	38	38	119	257	385	439	436	341	O					
NO	16	27	32	35	38	38	38	81	198	303	380	320	220	SO					
Horizontal	84	222	363	485	569	629	642	629	569	485	363	222	84	Horizontal					
22 Julio y 21 Mayo	N	65	38	32	35	38	38	38	38	35	32	38	65	21 Enero y 21 Noviembre	S				
	NE	287	344	294	179	70	38	38	38	38	35	32	27		13	SE			
	E	570	436	444	390	265	116	38	38	38	35	32	27		13	E			
	SE	146	260	322	326	296	222	113	40	38	35	32	27		13	N			
	S	13	27	32	35	38	38	113	170	119	70	35	27		13	NO			
SO	13	27	32	35	38	38	40	113	222	298	322	260	146	O					
O	13	27	32	35	38	38	38	116	265	390	444	436	320	SO					
NO	13	27	32	35	38	38	38	70	179	284	344	287	13	Horizontal					
Horizontal	65	198	341	483	560	610	621	610	560	483	341	198	65	Horizontal					
24 Agosto y 20 Abril	N	19	21	29	35	38	38	38	38	35	29	21	19	20 Febrero y 23 Octubre	S				
	NE	184	226	222	124	43	38	38	38	38	35	29	21		8	SE			
	E	227	336	439	393	273	122	38	38	38	35	29	21		8	E			
	SE	130	284	376	356	377	290	179	67	38	35	29	21		8	NE			
	S	8	21	29	35	38	38	273	263	241	138	65	21		8	N			
SO	8	21	29	35	38	38	67	179	290	377	396	374	284	NO					
O	8	21	29	35	38	38	38	122	273	393	439	398	227	O					
NO	8	21	29	35	38	38	38	43	124	227	276	184	130	SO					
Horizontal	24	127	271	406	501	556	560	556	501	406	271	127	24	Horizontal					
22 Septiembre y 22 Marzo	N	0	13	24	32	35	35	35	35	32	24	13	0	22 Marzo y 22 Septiembre	S				
	NE	0	138	187	78	35	35	35	35	32	24	13	0		SE				
	E	0	314	454	377	268	122	38	35	35	32	24	13		0	E			
	SE	0	257	398	476	425	360	244	111	38	32	24	13		0	NE			
	S	0	32	119	219	298	330	329	330	298	219	119	32		0	N			
SO	0	13	24	32	35	38	111	244	360	425	439	390	257	0	NO				
O	0	13	24	32	35	38	122	268	377	404	314	0	0	O					
NO	0	13	24	32	35	38	35	35	35	32	24	13	0	SO					
Horizontal	0	57	183	326	414	477	496	477	414	326	183	57	0	Horizontal					
23 Octubre y 20 Febrero	N	0	5	16	27	29	32	32	32	29	27	16	5	0	20 Abril y 24 Agosto	S			
	NE	0	84	89	32	29	32	32	32	29	27	16	5	0		SE			
	E	0	220	317	330	238	105	32	32	32	29	27	16	5		0	E		
	SE	0	219	358	336	442	390	290	170	54	27	16	5	0		NE			
	S	0	57	160	282	371	417	435	417	371	282	160	57	0		N			
SO	0	5	16	27	29	32	32	290	395	442	336	358	219	0	NO				
O	0	5	16	27	29	32	32	105	238	332	317	250	0	O					
NO	0	5	16	27	29	32	32	32	29	32	89	54	0	SO					
Horizontal	0	21	78	173	273	333	349	333	273	173	78	21	0	Horizontal					
21 Noviembre y 21 Enero	N	0	0	8	19	24	27	27	27	24	19	8	0	0	21 Mayo y 23 Julio	S			
	NE	0	0	32	19	24	27	29	27	24	19	8	0	0		SE			
	E	0	0	244	221	200	89	29	27	24	19	8	0	0		E			
	SE	0	0	295	390	423	390	314	189	73	19	8	0	0		NE			
	S	0	0	160	202	377	428	450	458	377	282	160	0	0		N			
SO	0	0	8	19	24	27	27	27	24	19	8	0	0	NO					
O	0	0	8	19	24	27	29	89	210	321	286	0	0	O					
NO	0	0	8	19	24	27	27	27	24	19	8	0	0	SO					
Horizontal	0	0	43	116	198	249	279	249	198	116	43	0	0	Horizontal					
22 Diciembre	N	0	0	5	16	24	27	27	27	24	16	5	0	0	21 Junio	S			
	NE	0	0	19	16	24	27	27	27	24	16	5	0	0		SE			
	E	0	0	195	233	184	84	27	27	24	16	5	0	0		E			
	SE	0	0	238	323	401	385	311	198	81	19	5	0	0		NE			
	S	0	0	138	268	343	420	442	428	343	268	138	0	0		N			
SO	0	0	5	19	81	198	311	385	401	363	238	0	0	NO					
O	0	0	5	16	24	27	27	84	184	233	198	0	0	O					
NO	0	0	5	16	24	27	27	27	24	16	19	0	0	SO					
Horizontal	0	0	21	86	149	206	239	206	149	86	21	0	0	Horizontal					

Correcciones: Marco metálico o plástico marco × 1,0,85 ó 1,17; Defecto de limpieza 15% máx.; Altitud + 0,7% por 300 m; Punto de rocío superior a 19,5°C - 14% por 10°C; Punto de rocío superior a 19,5°C + 14% por 10°C; Latitud sur Dic. o Enero + 7%

Anexo 17: Diferencia equivalente de Temperatura.

TABLA 19. DIFERENCIA EQUIVALENTE DE TEMPERATURA (°C)

Muros soleados o en sombra*

Valedero para muros de color oscuro, 35 °C de temperatura exterior, 27 °C de temperatura interior, 11 °C de variación de la temperatura exterior en 24 h. mes de Julio y 40° de latitud Norte**

ORIENTACIÓN	PESO DEL MURO *** (kg/m²)	HORA SOLAR																								
		MAÑANA										TARDE										MAÑANA				
		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	
NE	100	2,8	8,3	12,2	12,8	13,3	10,6	7,8	7,2	6,7	7,2	7,8	7,8	7,8	6,7	5,5	4,4	3,3	2,2	1,1	0	-1,1	-1,7	-2,2	-1,1	
	300	-0,5	-1,1	-1,1	2,8	13,3	12,2	11,1	8,3	5,5	6,1	6,7	7,2	7,8	7,2	6,7	6,1	5,5	4,4	3,3	2,2	1,1	0,5	0	-0,5	
	500	2,2	1,7	2,2	2,2	2,2	5,5	8,9	8,3	7,8	6,7	5,5	6,1	6,7	6,7	6,1	5,5	5,0	4,4	3,9	3,3	3,3	2,8	2,8		
	700	2,8	2,8	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	5,5	7,8	8,9	7,8	6,7	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,0	5,0	4,4	3,9	
E	100	0,5	9,4	16,7	18,3	20,0	19,4	17,8	11,1	6,7	7,2	7,8	7,8	7,8	6,7	5,5	4,4	3,3	2,2	1,1	0	-0,5	-1,1	-1,7	-1,7	
	300	-0,5	-0,5	0	11,7	16,7	17,2	17,2	10,6	7,8	7,2	6,7	7,2	7,8	7,2	6,7	6,1	5,5	4,4	2,8	2,2	1,7	0,5	0	0	
	500	2,8	2,8	3,3	4,4	7,8	11,1	13,3	13,9	13,3	11,1	10,0	8,9	7,8	7,8	7,8	7,2	6,7	6,1	5,5	5,0	4,4	3,9	3,9	3,3	
	700	6,1	5,5	5,5	5,0	4,4	5,0	5,5	8,3	10,0	10,6	10,0	9,4	8,9	7,8	6,7	7,2	7,8	7,8	7,8	7,8	7,2	7,2	6,7	6,7	
SE	100	5,5	3,3	7,2	10,6	14,4	15,0	15,6	14,4	13,3	10,6	8,9	8,3	7,8	6,7	5,5	4,4	3,3	2,2	1,1	0	-0,5	-0,5	-1,1	-1,1	
	300	0,5	0,5	0	7,2	11,1	13,3	15,6	14,4	13,9	11,7	10,0	8,3	7,8	7,2	6,7	6,1	5,5	4,4	3,3	2,8	2,2	1,7	1,7		
	500	3,9	3,9	3,3	3,3	3,3	6,1	8,9	9,4	10,0	10,6	10,0	9,4	7,8	7,2	6,7	6,1	5,5	5,5	5,0	5,0	4,4	4,4	3,9		
	700	5,0	4,4	4,4	4,4	4,4	3,9	3,3	6,1	7,8	8,3	8,9	10,0	8,9	8,3	7,8	7,2	6,7	6,7	6,7	6,1	6,1	5,5	5,5	5,0	
S	100	-0,5	-1,1	-2,2	0,5	2,2	7,8	12,2	15,0	16,7	15,6	14,4	11,1	8,9	6,7	5,5	3,9	3,3	1,7	1,1	0,5	0,5	0	0	-0,5	
	300	-0,5	-1,7	-2,2	-1,7	-1,1	3,9	6,7	11,1	13,3	13,9	14,4	12,8	11,1	8,3	6,7	5,5	4,4	3,3	2,2	1,1	0,5	0,5	0	-0,5	
	500	2,2	2,2	1,1	1,1	1,1	1,7	2,2	4,4	6,7	8,3	8,9	10,0	10,0	8,3	7,8	6,1	5,5	5,0	4,4	4,4	3,9	3,3	3,3	2,8	
	700	3,9	3,3	3,3	2,8	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	3,9	5,5	7,2	7,8	8,3	8,9	8,9	7,8	6,7	5,5	5,5	5,0	5,0	4,4	3,9	
SO	100	-1,1	-2,2	-2,2	-1,1	0	2,2	3,3	10,6	14,4	18,9	22,2	22,8	23,3	16,7	13,3	6,7	3,3	2,2	1,1	0,5	0,5	0	-0,5	-0,5	
	300	1,1	0,5	0	0	0	6,5	1,1	4,4	6,7	13,3	17,8	19,4	20,0	19,4	18,9	11,1	5,5	3,9	3,3	2,8	2,2	2,2	1,7	1,7	
	500	3,9	2,8	3,3	2,8	2,2	2,8	3,3	3,9	4,4	6,7	7,8	10,6	12,2	12,8	13,3	12,8	12,2	8,3	5,5	5,5	5,0	5,0	4,4	3,9	
	700	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	5,9	3,3	3,3	3,3	3,9	4,4	5,0	5,5	8,3	10,0	10,6	11,1	7,2	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	
O	100	-1,1	-1,7	-2,2	-1,1	0	1,7	3,3	7,8	11,1	17,8	22,2	25,0	26,7	18,9	12,2	7,8	4,4	2,8	1,1	0,5	0	0	-0,5	-0,5	
	300	1,1	0,5	0	0	0	1	2,2	3,9	5,5	10,6	14,4	18,9	22,2	22,8	20,0	15,4	8,9	5,5	3,3	2,8	2,2	1,7	1,7		
	500	3,9	3,9	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,9	4,4	5,5	6,7	9,4	11,1	13,9	15,6	15,0	14,4	10,6	7,8	6,7	6,1	5,5	5,0	4,4	
	700	6,7	6,1	5,5	5,0	4,4	4,4	4,4	5,0	5,5	5,5	6,1	6,7	7,8	8,9	11,7	12,2	12,8	12,2	11,1	10,6	8,9	8,3	7,2	7,2	
NO	100	-1,7	-2,2	-2,2	-1,1	0	1,7	3,3	5,5	6,7	10,6	13,3	18,3	22,2	20,6	18,9	10,0	3,3	2,2	1,1	0	-0,5	-0,5	-1,1	-1,1	
	300	-1,1	-1,7	-2,2	-1,7	-1,1	0	1,1	3,3	4,4	5,5	6,7	11,7	16,7	17,2	17,8	11,7	6,7	4,4	3,3	2,2	1,7	0,5	0	-0,5	
	500	2,8	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	3,9	5,0	6,7	9,4	11,1	11,7	12,2	7,8	4,4	3,9	3,3	3,3	2,8	
	700	4,4	3,9	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,9	4,4	5,0	5,5	7,8	10,6	10,6	11,1	8,9	7,2	6,1	5,5	5,0	
N (en la sombra)	100	-1,7	-1,7	-2,2	-1,7	-1,1	4,5	2,2	4,4	5,5	6,7	7,8	7,2	6,7	5,5	4,4	3,3	2,2	1,1	0	0	-0,5	-0,5	-1,1	-1,1	
	300	-1,7	-1,7	-2,2	-1,7	-1,1	4,5	0	1,7	3,3	4,4	5,5	6,1	6,7	6,7	5,5	4,4	3,3	2,2	1,1	0,5	0	-0,5	-1,1		
	500	0,5	0,5	0	0	0	0	0	0,5	1,1	1,7	2,2	2,8	2,8	2,8	4,4	3,9	3,3	2,8	2,2	1,7	1,7	1,1	1,1	0,5	
	700	0,5	0,5	0	0	0	0	0	0	0,5	1,1	1,7	2,2	2,8	3,3	3,9	4,4	3,9	3,3	2,2	1,7	1,1	1,1	1,1	0,5	

Anexo 20: Corrección de las diferencias Equivalentes de temperaturas.

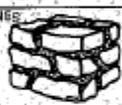
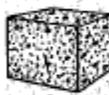
TABLA 20A. CORRECCIONES DE LAS DIFERENCIAS EQUIVALENTES DE TEMPERATURA (°C)

Temperatura exterior a las 15 h para el mes considerado menos temperatura interior	VARIACIÓN DE LA TEMPERATURA EXTERIOR EN 24 h																					
	5	6	7	8	9	-10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22				
	-16	-21,2	-21,7	-22,3	-22,8	-23,3	-23,8	-24,2	-24,7	-25,1	-25,6	-26,0	-26,5	-27,0	-27,4	-27,9	-28,8	-29,3	-29,8			
-12	-17,2	-17,7	-18,3	-18,8	-19,3	-19,8	-20,2	-20,7	-21,1	-21,6	-22,0	-22,5	-23,0	-23,4	-23,9	-24,8	-25,3	-25,8				
-8	-13,2	-13,7	-14,3	-14,8	-15,3	-15,8	-16,2	-16,7	-17,1	-17,6	-18,0	-18,5	-19,0	-19,4	-19,9	-20,8	-21,3	-21,8				
-4	-9,2	-9,7	-10,3	-10,8	-11,3	-11,8	-12,2	-12,7	-13,1	-13,6	-14,0	-14,5	-15,0	-15,4	-15,9	-16,8	-17,3	-17,8				
0	-5,0	-5,5	-6,1	-6,6	-7,1	-7,6	-8,0	-8,5	-8,9	-9,4	-9,8	-10,3	-10,8	-11,2	-11,7	-12,6	-13,1	-13,6				
+2	-3,1	-3,6	-4,2	-4,7	-5,2	-5,6	-6,1	-6,6	-7,0	-7,5	-7,9	-8,4	-8,9	-9,3	-9,8	-10,6	-11,1	-11,7				
+4	-1,1	-1,6	-2,2	-2,7	-3,2	-3,6	-4,1	-4,6	-5,0	-5,5	-5,9	-6,4	-6,9	-7,3	-7,8	-8,6	-9,1	-9,7				
+6	0,8	0,3	0,3	0,8	1,3	1,7	2,2	2,7	3,1	3,6	4,0	4,5	5,0	5,4	5,9	6,7	7,2	7,8				
+8	2,8	2,3	1,7	1,2	0,7	0,3	0	-0,7	-1,1	-1,6	-2,0	-2,5	-3,0	-3,4	-3,9	-4,7	-5,2	-5,8				
+10	4,7	4,2	3,6	3,1	2,6	2,2	1,7	1,2	0,8	0,3	-0,1	-0,6	-1,1	-1,5	-2,0	-2,8	-3,3	-3,9				
+12	6,8	6,3	5,7	5,2	4,7	4,3	3,8	3,3	2,9	2,4	1,8	1,3	0,8	0,4	0,1	-0,7	-1,2	-1,8				
+14	8,8	8,3	7,7	7,2	6,7	6,3	5,8	5,3	4,9	4,4	3,8	3,3	2,8	2,4	1,9	1,3	0,8	0,2				
+16	10,8	10,3	9,7	9,2	8,7	8,3	7,8	7,3	6,9	6,4	5,8	5,3	4,8	4,4	3,9	3,3	2,8	2,2				
+18	12,8	12,3	11,7	11,2	10,7	10,3	9,8	9,3	8,9	8,4	7,8	7,3	6,8	6,4	5,9	5,3	4,8	4,2				
+20	14,8	14,3	13,7	13,2	12,7	12,3	11,8	11,3	10,9	10,4	9,8	9,3	8,8	8,4	7,9	7,3	6,8	6,2				
+22	16,9	16,4	15,8	15,3	14,8	14,4	13,9	13,4	13,0	12,5	11,9	11,4	10,9	10,5	10,0	9,4	8,9	8,3				

Anexo 21: Coeficiente Global K.

TABLA 21. COEFICIENTES DE TRANSMISIÓN GLOBAL K. MUROS DE MAÑPOSTERÍA*
 VERANO – INVIERNO
 kcal/h·m²·°C

Los números entre paréntesis corresponden a pesos por m². El peso total por m² es igual a la suma de los valores correspondientes al muro y al revestimiento

TIPO DE CONSTRUCCIÓN	ESPESOR (cm) y peso (kg/m ²)	REVESTIMIENTO INTERIOR										
		Ninguno	Revoques de yeso 10 mm (10)	Enlucido 15 mm		Entramado metálico sobre forro		Yeso 10 mm o entramado madera sobre forro		Panel aislante sin enlucido o con enlucido sobre forro		
				De arena (30)	Ligero (15)	Enlucido de arena 20 mm (35)	Enlucido ligero 20 mm (15)	Enlucido de arena 12 mm (35)	Enlucido ligero 12 mm (10)	Panel de 12 mm (10)	Panel de 25 mm (20)	
LADRILLO MACIZO 	Paramento y ordinario	20 (425)	2,34	2,00	2,20	2,00	1,51	1,37	1,42	1,32	1,07	0,78
		30 (600)	1,71	1,51	1,61	1,46	1,22	1,12	1,12	1,07	0,93	0,68
		40 (846)	1,32	1,22	1,27	1,22	1,02	0,93	0,98	0,93	0,78	0,63
	Ordinario solamente	20 (391)	2,00	1,74	1,90	1,71	1,37	1,27	1,27	1,32	1,02	0,73
		30 (586)	1,51	1,37	1,46	1,32	1,12	1,07	1,07	1,02	0,88	0,68
		40 (781)	1,22	1,12	1,17	1,12	0,93	0,88	0,88	0,88	0,78	0,59
ADQUINES 	20 (488)	3,27	2,48	3,07	2,39	1,90	1,66	1,71	1,54	1,27	0,88	
	30 (732)	2,68	2,27	2,54	2,24	1,66	1,51	1,42	1,17	1,17	0,83	
	40 (976)	2,29	2,00	2,20	1,93	1,51	1,37	1,37	1,32	1,07	0,78	
	40 (1466)	1,74	1,56	1,71	1,56	1,27	1,17	1,17	1,12	0,93	0,73	
ADÓBE O LADRILLO	20 (127)	1,66	1,46	1,56	1,46	1,22	1,12	1,12	1,07	0,88	0,59	
	30 (195)	1,22	1,12	1,17	1,12	0,98	0,88	0,88	0,88	0,73	0,68	
HORMIGÓN VERTIDO 	2250 Kg/m ³	15 (342)	3,66	2,68	3,37	2,83	2,00	1,75	1,81	1,66	1,32	0,88
		20 (454)	3,27	2,39	3,07	2,39	1,90	1,66	1,71	1,54	1,27	0,83
		25 (571)	2,98	2,15	2,78	2,39	1,76	1,56	1,61	1,51	1,22	0,83
		30 (683)	2,68	1,95	2,54	2,20	1,66	1,51	1,51	1,42	1,17	0,78
	1300 Kg/m ³	15 (195)	1,51	1,37	1,46	1,32	1,12	1,02	1,07	1,02	0,88	0,68
		20 (259)	1,22	1,12	1,17	1,12	0,93	0,88	0,88	0,88	0,78	0,59
		25 (322)	1,02	0,93	0,98	0,93	0,83	0,78	0,78	0,78	0,68	0,54
		30 (398)	0,88	0,83	0,83	0,78	0,73	0,68	0,68	0,68	0,59	0,49
	500 Kg/m ³	15 (73)	0,63	0,63	0,63	0,63	0,59	0,54	0,54	0,54	0,45	0,44
		20 (97)	0,49	0,49	0,49	0,49	0,44	0,44	0,44	0,44	0,49	0,34
		25 (122)	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,34	0,39	0,34	0,39	0,29
		30 (146)	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,29	0,29	0,24
AGLOMERADO HUECO 	Arena y gravilla	20 (216)	2,54	2,15	2,34	2,10	1,41	1,42	1,46	1,37	1,12	0,83
		30 (307)	2,29	2,00	2,20	1,95	1,51	1,37	1,37	1,32	1,07	0,78
	Escoria	20 (180)	1,90	1,71	1,81	1,66	1,32	1,22	1,22	1,17	0,98	0,73
		30 (259)	1,74	1,61	1,71	1,56	1,27	1,17	1,17	1,12	0,93	0,73
	Ligero	20 (156)	1,71	1,56	1,66	1,51	1,27	1,12	1,17	1,07	0,93	0,73
		30 (200)	1,56	1,42	1,51	1,37	1,17	1,07	1,07	1,02	0,88	0,68
ESCAYOLA SOBRE LADRILLO HUECO	20 (190)	1,74	1,56	1,66	1,56	1,27	1,17	1,17	1,12	0,93	0,73	
	25 (216)	1,56	1,42	1,51	1,37	1,12	1,07	1,07	1,02	0,88	0,68	
	30 (239)	1,42	1,32	1,37	1,27	1,07	0,98	1,02	0,98	0,83	0,63	

Anexo 22: Ganancias debido a los ocupantes.

TABLA 48. GANANCIAS DEBIDAS A LOS OCUPANTES

GRADO DE ACTIVIDAD	TIPO DE APLICACIÓN	Metabolismo hombre adulto (kcal/h)	Metabolismo medio (kcal/h)	TEMPERATURA SECA DEL LOCAL (°C)									
				28		27		26		24		21	
				kcal/h		kcal/h		kcal/h		kcal/h		kcal/h	
				Sensibles	Latentes	Sensibles	Latentes	Sensibles	Latentes	Sensibles	Latentes	Sensibles	Latentes
Sentados, en reposo	Teatro, escuela primaria	98	88	44	44	49	39	53	35	58	30	65	23
Sentados, trabajo muy ligero	Escuela secundaria	113	100	45	55	48	52	54	46	60	40	68	32
Empleado de oficina	Oficina, hotel, apartamento, escuela superior	120	113	45	68	50	63	54	59	61	52	71	42
De pie, marcha lenta	Almacenes, tienda	139											
Sentado, de pie	Farmacia	139	126	45	81	50	76	55	71	64	62	73	53
De pie, marcha lenta	Banco	139											
Sentado	Restaurante **	126	139	48	91	55	84	61	78	71	68	81	58
Trabajo ligero en el banco de taller	Fábrica, trabajo ligero	202	169	48	141	55	134	62	127	74	115	92	97
Baile o danza	Sala de baile	227	214	55	159	62	152	69	145	82	132	101	113
Marcha, 5 km/h	Fábrica, trabajo bastante penoso	252	252	68	184	76	176	83	169	96	156	116	136
Trabajo penoso	Pista de bowling *** Fábrica	378	365	113	252	117	248	122	243	132	233	152	213

Anexo 23: Planos laboratorio.

