

UNIVERSIDAD CATOLICA DE LA SANTISIMA CONCEPCION

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Civil



**CÁLCULO DE LA ENVOLVENTE TÉRMICA DEL EDIFICIO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE LA SANTÍSIMA CONCEPCIÓN.**

**RODRIGO ANDRÉS MUÑOZ GONZÁLEZ.**

**INFORME DE PROYECTO DE TÍTULO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

Profesor guía: Felipe Gonzalez.

Profesor Informante: Guillermo Bustamante.

Concepción, Enero, 2017.

*A mi querida familia, por su incondicional apoyo y motivación que día a día me demostraron, los cuales me dieron las fuerzas para salir adelante.*

## AGRADECIMIENTOS.

En primer lugar, agradecer a mi profesor guía Sr. Felipe González Monsalve, quien confió en mí, para desarrollar este proyecto entregando sus conocimientos y ayuda necesaria para concluirlo.

A mis padres y hermano, por ser la luz que ilumina mi camino en todo momento, estoy seguro que sin ellos este gran paso de mi vida no hubiese sido posible. Les doy las gracias por esos consejos y palabras de aliento que me han llevado a cumplir este sueño.

Además, les agradezco a mis amigos y compañeros de universidad, por su buena voluntad cuando lo necesité y por aquellos momentos inolvidables que compartimos.

Finalmente, quiero manifestar mi gratitud y reconocimiento a todos los funcionarios de la Universidad Católica de la Santísima Concepción, quienes con su labor me aportaron con las herramientas necesarias para poder cumplir mi meta.

## Resumen

Los materiales de construcción han evolucionado con el fin de optimizar dinero y tiempo de instalación, lo que ha dado como resultado, la creación de nuevos materiales, que, si bien son económicos y de instalación simple, pero se han olvidado de parámetros de ahorro de energía para el inmueble.

Hoy en día, la eficiencia energética nace por necesidad de una mejor calidad ambiental, térmica y de confort, este tema es a nivel mundial, pero en Chile el Ministerio de Vivienda y Urbanismo se ha encargado en formar un reglamento térmico, en el cual se puedan emplear soluciones eficientes para aumentar la resistencia térmica y poder evitar que se pierda energía calórica, en los puntos más comunes de pérdida energética tales como muros, ventanas y techo.

El presente estudio busca calificar y cuantificar la envolvente térmica de la Facultad de Ingeniería de la UCSC. Para esto se realizó un estudio del estado actual, con el propósito de identificar problemas, para entregar posibles soluciones y posteriormente realizar un análisis económico en el cual se pueda ver en detalle la mejor solución y la más conveniente para poder llevar a cabo en un futuro próximo.

Mediante estudios analíticos, ensayos de inercia térmica y termograficos, se logró identificar varios problemas existentes, tales como: un caudal de aire constante, que hace ingreso por la entrada principal a la facultad de ingeniería, en donde este renueva el aire y a la vez genera una pérdida calórica.

Otro problema fue arrojado por el ensayo termográfico, este mostró una gama de puentes térmicos, lugar por el cual la energía generada al interior se traspasa hacia el exterior. En este proyecto, se contemplaron varias soluciones, entregando como resultado que no existe una solución única, si no que se debe realizar una solución en conjunto, de esta forma se podrá controlar el caudal de infiltración y mejorar la envolvente térmica en los muros. Estas mejoras traerán consigo un ahorro eficiente de energía, ahorro monetario y un aumento de confort térmico al interior del edificio San Agustín, de la UCSC.

## Abstract

The building materials have evolved in order to optimize money and installation time, which has resulted in the creation of new materials, although they are economical and simple to install, but have forgotten about energy saving parameters For the property.

Today, energy efficiency is born due to the need for a better environmental, thermal and comfort quality, this issue is worldwide, but in Chile the Ministry of Housing and Urbanism has been in charge of forming a thermal regulation, in which Can use efficient solutions to increase heat resistance and to avoid losing energy in the most common points of energy loss such as walls, windows and roof.

The present study seeks to qualify and quantify the thermal envelope of the Faculty of Engineering of the UCSC. For this, a study of the current state was carried out, with the purpose of searching for possible solutions and then carrying out an economic analysis in which the best and most convenient solution can be seen in detail to be able to be carried out in the near future.

The present study seeks to qualify and quantify the thermal envelope of the Faculty of Engineering of the UCSC. For this, a study of the current state was carried out, with the purpose of searching for possible solutions and then carrying out an economic analysis in which the best and most convenient solution can be seen in detail to be able to be carried out in the near future.

By means of analytical studies, thermal inertia test and thermographic test, it was possible to identify several existing problems, such as a constant air flow rate, that makes the entrance by the main entrance to the faculty of engineering, this flow renews the air and at the same time it generates a loss of caloric energy, another problem was thrown by the thermographic test, This showed a range of thermal bridges, place by which the power generated to the interior is transferred to the outside. In this project, several solutions were contemplated, delivering as a result that there is no single solution, if not that a solution must be made as a whole, in this way it is possible to control the infiltration rate and improve the thermal envelope in the walls, these improvements will bring with it an efficient energy saving, monetary saving and an increase of thermal comfort inside the San Agustín building, of the UCSC.

## Índice de contenido

Índice de ilustraciones.....	VII
Índice de tablas .....	VIII
Capítulo 1: Introducción .....	1
<b>1.1) Objetivo general:</b> .....	1
<b>1.2) Objetivos específicos:</b> .....	1
<b>1.3) Justificación del problema:</b> .....	2
<b>1.4) Delimitación del problema:</b> .....	2
<b>1.5) Breve explicación de la metodología aplicada:</b> .....	2
Capítulo 2: Marco teórico. ....	3
2.1) Demanda térmica de calefacción .....	3
<b>2.1.1) Balance térmico</b> .....	5
a) El balance térmico de ganancias internas por cargas de ocupación ( $Q_i$ ).....	5
b) El balance térmico de los elementos de la envolvente ( $Q_c$ ). ....	5
c) El balance térmico de ventilación ( $Q_v$ ). ....	6
d) El balance térmico de ganancias solares ( $Q_s$ ).....	7
2.2) Cálculo de las cargas térmicas en los edificios. ....	13
<b>2.2.1) Cálculo de la carga térmica sensible (<math>Q_{\text{sensible}}</math>)</b> .....	15
a) Carga por radiación solar a través del cristal " $Q_s$ " .....	16
b) Carga por transmisión a través de paredes y techos exteriores " $Q_{\text{str}}$ " .....	17
c) Carga transmitida por infiltraciones de aire exterior " $Q_{\text{si}}$ " .....	22
d) Carga sensible por aportaciones internas " $Q_{\text{sai}}$ " .....	22
<b>2.2.2) Cálculo de la carga térmica latente</b> .....	26
a) Carga latente transmitida por infiltraciones de aire exterior " $Q_{\text{li}}$ ". ....	27
b) Carga latente por ocupación " $Q_{\text{lp}}$ " .....	28
2.3) Determinar la carga térmica inicial del edificio.....	29
<b>2.3.1) Carga térmica de la caldera (<math>Q_c</math>)</b> .....	30
2.4) Determinación de la inercia térmica .....	32
a) Admitancia térmica ( $Y$ ) .....	34
b) Difusividad (a) .....	35
c) Efusividad (b) .....	36
2.5) Método del análisis termografico .....	37

2.5.1) Hacer un análisis termografico resultará muy útil por estos motivos: .....	38
2.5.2) Para tomar una imagen térmica óptima se debe saber lo siguiente:.....	39
2.5.3) Como medir la temperatura con la cámara termográfica. ....	40
2.5.4) Diagnóstico de edificios mediante el ensayo de termografía infrarroja.....	41
a) Estudio térmico en edificios o Cerramientos.....	42
b) Pérdidas de conductividad .....	42
c) Filtración de aire .....	42
Capítulo 3: Desarrollo y cálculos.....	43
a) Balance térmico de ganancias internas por carga de ocupación ( $Q_i$ ).....	45
b) Balance térmico de los elementos de la envolvente ( $Q_c$ ).....	45
c) Balance térmico de ventilación ( $Q_v$ ).....	45
d) Balance térmico de ganancias solares ( $Q_s$ ).....	45
3.2) Desarrollo de Cálculo de carga térmica.....	46
3.2.1) Las cargas térmicas sensibles ( $Q_{\text{sensible}}$ ) son: .....	46
a) El balance térmico de ganancias solares ( $Q_s$ ). ....	47
c) Carga transmitida por infiltraciones de aire exterior " $Q_{si}$ " .....	66
d) Carga sensible por aportaciones internas " $Q_{sai}$ " .....	69
3.2.2) Las cargas térmicas latentes ( $Q_{\text{latente}}$ ) son: .....	75
a) Carga latente transmitida por infiltraciones de aire exterior " $Q_{li}$ " .....	76
b) Carga latente por ocupación " $Q_{lp}$ " .....	78
3.3) Desarrollo de la carga térmica inicial del edificio. ....	80
3.3.1) Carga térmica de la caldera. ....	81
3.4) Desarrollo de la inercia térmica del edificio. ....	83
3.5) Desarrollo del análisis termografico. ....	89
Capítulo 4: Análisis de resultados.....	97
Posibles soluciones .....	102
1) Solución control caudal ventilación puerta principal.....	102
2) Solución STO.....	103
3) Solución 1 y solución STO en conjunto.....	106
4) Solución FG1.....	107
5) Solución 1 y solución FG1 en conjunto. ....	110
Capítulo 5: Conclusiones. ....	112
Capítulo 6: Referencias bibliográficas.....	116

<b>6.1) Bibliografía .....</b>	<b>116</b>
<b>6.2) Linkografía.....</b>	<b>118</b>
<b>6.3) Anexos .....</b>	<b>119</b>

## Índice de ilustraciones

<i>Ilustración 1 Esquema del balance térmico de una edificación.</i> .....	3
<i>Ilustración 2:Gráfico Variación anual de la radiación</i> .....	8
<i>Ilustración 3, Confort térmico en función de la temperatura del aire y la humedad relativa.</i> .....	28
<i>Ilustración 4: Esquema de la potencia de una caldera.</i> .....	31
<i>Ilustración 5: Esquema del comportamiento de un material con inercia térmica versus un material sin inercia térmica.</i> .....	34
<i>Ilustración 6 Maquina Fluke ti-125 Fuente: Elaboración propia.</i> .....	38
<i>Ilustración 7: Orientación de la facultad de ingeniería.</i> .....	44
<i>Ilustración 8: Tabique con estructura metálica de metalcon.</i> .....	55
<i>Ilustración 9: Tipos de techos de la facultad de ingeniería.</i> .....	57
<i>Ilustración 10: Estado real del exterior del techo tipo 1.</i> .....	58
<i>Ilustración 11: Estructura de la cerca tipo1.</i> .....	58
<i>Ilustración 12: Estado real del exterior del techo tipo 2.</i> .....	59
<i>Ilustración 13: Estado real al interior del techo tipo 2.</i> .....	59
<i>Ilustración 14: Estructura del techo tipo 2.</i> .....	59
<i>Ilustración 15:Caldera marca SIME, modelo, 2R7 of.</i> .....	81
<i>Ilustración 16: Caldera marca SIME, modelo, AR4.</i> .....	82
<i>Ilustración 17:Gráfico resumen medición de temperaturas para el edificio de salas.</i> .....	84
<i>Ilustración 18: Gráfico detalle medición de temperaturas para el primer piso en el edificio de salas.</i> .....	85
<i>Ilustración 19: Gráfico detalle medición de temperaturas para el segundo piso en el edificio de salas.</i> .....	85
<i>Ilustración 20: Gráfico detalle medición de temperaturas para el tercer piso en el edificio de salas.</i> .....	86
<i>Ilustración 21: Gráfico resumen medición de temperaturas para el edificio de oficinas de profesores.</i> .....	86
<i>Ilustración 22: Gráfico detalle medición de temperaturas para el primer piso en el edificio oficinas de profesores.</i> .....	87
<i>Ilustración 23: Gráfico detalle medición de temperaturas para el segundo piso en el edificio oficinas de profesores.</i> .....	87
<i>Ilustración 24: Gráfico detalle medición de temperaturas para el tercer piso en el edificio oficinas de profesores.</i> .....	88
<i>Ilustración 25: Gráfico detalle medición de temperaturas para el cuarto piso en el edificio oficinas de profesores, recordando que este piso tiene un tramo con metalcon y otro con hormigón</i> .....	88
<i>Ilustración 26: Vista termografía 1.</i> .....	91
<i>Ilustración 27: Vista termografía 2.</i> .....	91
<i>Ilustración 28: Vista termografía 3.</i> .....	92
<i>Ilustración 29: Vista termografía 4.</i> .....	92
<i>Ilustración 30: Vista termografía 5.</i> .....	93
<i>Ilustración 31: Vista termografía 6.</i> .....	93
<i>Ilustración 32: Vista termografía 7.</i> .....	94
<i>Ilustración 33: Vista termografía 8.</i> .....	94

<i>Ilustración 34: Vista termografía 9.</i>	95
<i>Ilustración 35: Vista termografía 10.</i>	95
<i>Ilustración 36: Vista termografía 11.</i>	96
<i>Ilustración 37: Vista termografía 12.</i>	96
<i>Ilustración 38: Vista termografía 12.</i>	97
<i>Ilustración 39: Esquema de punto de rocío en relación a la ubicación del material aislante.</i>	98
<i>Ilustración 40: Esquema de dilatación térmica en relación a la ubicación del material aislante.</i>	99
<i>Ilustración 41: Esquema de capacidad térmica en relación a la ubicación del material aislante.</i>	99
<i>Ilustración 42: Escala de calificación energética.</i>	101
<i>Ilustración 43: Puerta eléctrica con corrediza de dos hojas.</i>	102
<i>Ilustración 44: Esquema de revestimiento exterior solución STO.</i>	103
<i>Ilustración 45: Grafico comparación solución STO versus estado actual de la facultad.</i>	105
<i>Ilustración 46: Grafico comparación solución FG1 versus estado actual de la facultad.</i>	109

## Índice de tablas

<i>Tabla 1 Radiación solar incidente para la Facultad de Ingeniería. (W/m<sup>2</sup>)</i>	9
<i>Tabla 2: Caracterización coeficiente de ganancia solar para distintos tipos de ventanas con vidrios.</i>	10
<i>Tabla 3 Absortancia solar y emisividad de algunas superficies constructivas.</i>	12
<i>Tabla 4: Tabla Resistencia térmica de superficies.</i>	19
<i>Tabla 5: Valores b y m, con sus respectivos autores, para la construcción de modelos de confort térmicos.</i>	20
<i>Tabla 6: Efectos de distintos comportamientos adaptativos sobre la temperatura de confort.</i>	21
<i>Tabla 7: Calor latente y sensible desprendido por persona.</i>	25
<i>Tabla 8: Difusividad en distintos materiales.</i>	36
<i>Tabla 9: Efusividad en algunos materiales.</i>	37
<i>Tabla 10: Resumen cargas térmicas.</i>	46
<i>Tabla 11: Áreas ventanas edificio salas.</i>	47
<i>Tabla 12: Áreas ventanas edificio oficinas de profesores.</i>	47
<i>Tabla 13: Radiación para la facultad de ingeniería de la UCSC.</i>	48
<i>Tabla 14: Caracterización coeficiente de ganancia solar para distintos tipos de ventanas con vidrios.</i>	49
<i>Tabla 15: Resumen de la ganancia solar directa en salas.</i>	50
<i>Tabla 16: Resumen de la ganancia solar directa en oficinas de profesores.</i>	50
<i>Tabla 17: Resumen áreas muro opaco edificio salas.</i>	51
<i>Tabla 18: Resumen áreas muro opaco edificio oficinas profesores.</i>	51
<i>Tabla 19: Resumen de la ganancia solar indirecta en salas.</i>	52
<i>Tabla 20: Resumen de la ganancia solar indirecta en of. Prof.</i>	52
<i>Tabla 21: Carga solar total total para el edificio salas.</i>	53
<i>Tabla 22: Carga solar total total para el edificio oficinas de profesores.</i>	53
<i>Tabla 23: Resumen de la carga por transmisión y radiación a través.</i>	64
<i>Tabla 24: Carga por transmisión y radiación a través de paredes en el edificio profesores.</i>	64
<i>Tabla 25: Carga por transmisión y radiación a través de paredes en las salas.</i>	65
<i>Tabla 26: Resumen de la carga transmitida por muros y techos para el edificio de salas.</i>	65
<i>Tabla 27: Resumen de la carga transmitida por muros y techos para el edificio de oficina de profesores.</i>	66
<i>Tabla 28: Área infiltración aire por puerta y ventana, para el edificio salas (m<sup>2</sup>).</i>	67
<i>Tabla 29: Área infiltración aire por puerta y ventana, para el edificio oficinas de profesores (m<sup>2</sup>).</i>	67

<i>Tabla 30: Caudal de infiltración aire por puerta y ventana, para el edificio salas.</i>	68
<i>Tabla 31: Caudal de infiltración aire por puerta y ventana, para el edificio oficinas profesores.</i>	68
<i>Tabla 32: Caudal de infiltración nuevo y carga de infiltración, para el edificio de salas.</i>	69
<i>Tabla 33: Caudal de infiltración nuevo y carga de infiltración, para el edificio de oficinas de profesores.</i>	69
<i>Tabla 34: Resumen de la carga generada por ampollitas, para el edificio de salas.</i>	70
<i>Tabla 35: Resumen de la carga generada por ampollitas, para el edificio de oficinas de profesores.</i>	70
<i>Tabla 36: Resumen de la carga generada por los tubos fluorescentes para el edificio de salas.</i>	71
<i>Tabla 37: Resumen de la carga generada por los tubos fluorescentes para el edificio de oficinas de profesores.</i>	71
<i>Tabla 38 :Ganancia interna de carga sensible debida a los ocupantes del local (Qsp), para el edificio de salas.</i>	72
<i>Tabla 39: Ganancia interna de carga sensible debida a los ocupantes del local (Qsp), para el edificio de oficinas de profesores</i>	72
<i>Tabla 40: Resumen aportes de ganancias sensibles internas por ocupante, para el edificio de salas.</i>	73
<i>Tabla 41: Resumen aportes de ganancias sensibles internas por ocupante, para el edificio de oficinas de profesores.</i>	73
<i>Tabla 42: Resumen aportes de ganancias sensibles internas por aparatos eléctricos, para el edificio de salas.</i>	74
<i>Tabla 43: Resumen aportes de ganancias sensibles internas por aparatos eléctricos, para el edificio oficinas de profesores.</i>	74
<i>Tabla 44: Resumen aportes internos de cargas sensibles, para edificio de salas.</i>	75
<i>Tabla 45: Resumen aportes internos de cargas sensibles, para edificio oficinas de profesores.</i>	75
<i>Tabla 46: Resumen caudal de aire infiltrado, para el edificio de salas.</i>	77
<i>Tabla 47: Resumen caudal de aire infiltrado, para el edificio de oficinas de profesores.</i>	77
<i>Tabla 48: Resumen carga térmica latente por ventilación de aire exterior, para edificio de salas.</i>	78
<i>Tabla 49: Resumen carga térmica latente por ventilación de aire exterior, para edificio oficinas de profesores.</i>	78
<i>Tabla 50: Resumen carga latente por persona, para el edificio de salas.</i>	79
<i>Tabla 51: Resumen carga latente por persona, para el edificio de oficinas de profesores</i>	79
<i>Tabla 52: Resumen de cargas latentes, para el edificio de salas.</i>	79
<i>Tabla 53: Resumen de cargas latentes, para el edificio de oficinas de profesores</i>	80
<i>Tabla 54: Resumen cargas sensibles de aportaciones internas.</i>	81
<i>Tabla 55: Resumen carga inicial de la Facultad de ingeniería.</i>	82
<i>Tabla 56: Resumen parámetros de inercia térmica, para el edificio de salas y edificio oficinas de profesor, solo para la edificación de hormigón armado</i>	83
<i>Tabla 57: Resumen parámetros de inercia térmica, para el cuarto piso del edificio de oficinas de profesores, solo para la edificación de metalcom.</i>	83
<i>Tabla 58: Resumen cargas térmicas que ingresan a los edificios.</i>	100
<i>Tabla 59: Resumen solución STO para muro.</i>	104
<i>Tabla 60: Resumen carga térmica solución STO.</i>	106
<i>Tabla 61: Resumen presupuesto solución STO.</i>	105
<i>Tabla 62: Resumen solución FGI para muro.</i>	108
<i>Tabla 63: Resumen carga térmica solución FGI.</i>	110
<i>Tabla 64: Resumen presupuesto solución FGI.</i>	109

## **Capítulo 1: Introducción.**

Durante el siglo XX, el paradigma energético dominante se centró en producir energía, en cantidad abundante y de buena calidad con el fin de brindar calefacción a viviendas y edificios. El efecto de su producción a gran escala no fue motivo de preocupación ambiental hasta fines de la década de los ochenta. Es claro que sin fuentes energéticas abundantes no hubiera sido posible sostener el ritmo de crecimiento económico mundial y alcanzar el grado de calidad de vida actual. Sin duda ese paradigma fue, en su momento, acertado.

Hoy en día se piensa en construcciones eficientes, cuya energía que necesite el inmueble sea la menor para llegar al punto de confort térmico, con esto se está satisfaciendo otra gran necesidad de la sociedad chilena que es mejorar la calidad ambiental y ahorrar dinero en calefacción.

En el presente proyecto se analizará el edificio San Agustín, correspondiente a la facultad de ingeniería de la UCSC, de esta forma se presenciará el estado actual de dicho inmueble, para luego poder proporcionar soluciones, con el fin de optimizar en calefacción.

### *1.1) Objetivo general:*

- Calcular y modelar el comportamiento térmico del edificio de la facultad de ingeniería de la Universidad Católica de la Santísima Concepción.

### *1.2) Objetivos específicos:*

- Determinar la demanda de calefacción.
- Determinar la carga de calefacción.
- Determinar la carga térmica inicial del edificio.
- Determinar el consumo total de energía primaria.
- Determinar la inercia térmica
- Modelar la facultad de ingeniería mediante el software Revit.
- Proporcionar soluciones para ahorro de energía.

### *1.3) Justificación del problema:*

La eficiencia energética nace como necesidad de la sociedad chilena de mejorar la calidad ambiental y la eficiencia y ahorro en el uso de la energía en los inmuebles. Problema económico y social, no menor, de impacto nacional que afecta la seguridad energética del país, el medio ambiente, la calidad de vida y la productividad de las personas y, en consecuencia, el presupuesto nacional. Estudios demuestran que si en el decenio 2006-2015 el país redujese sólo en un 1.5% su consumo energético en el sector edificio, el ahorro esperado sería de USD 3.450 millones [MINVU, 2006]. Sólo la deficiente aislación térmica del parque de edificios en Chile le irroga al Estado un mayor gasto, del orden de USD 1.000 millones anuales. Otras mermas, de difícil cuantificación, pero no menos importantes, resultan de los daños a la salud y a la productividad de las personas, como consecuencia de habitar en ambientes inconfortables por mala calidad termo ambiental de los edificios.

### *1.4) Delimitación del problema:*

La eficiencia energética es un parámetro muy difícil de cuantificar, ya que los materiales de construcción ocupados no tienen propiedades homogéneas, además no existe una cantidad estática de personas que ingresen a la facultad, una iluminación fija, la utilización de aparatos eléctricos fijos, además el clima también influye, por esto se supondrá en casos ideales que más se acerquen a la realidad.

### *1.5) Breve explicación de la metodología aplicada.*

Los cálculos de la envolvente térmica se desarrollarán de forma manual, mediante diversas ecuaciones propuestas por una gama de autores, para luego comparar los resultados obtenidos con los resultados proporcionado por el programa del Ministerio de vivienda y Urbanismo (CEV), su comparación es de gran importancia, ya que la demanda de energía es un parámetro muy complejo y de esta forma se podrá obtener una medida más cuantificable de la demanda de energía de la Facultad de Ingeniería de la UCSC.

## Capítulo 2: Marco teórico.

### 2.1) Demanda térmica de calefacción

La demanda de energía de calefacción en un edificio, se calcula con el fin de conocer cuanta energía térmica hay que proporcionarle al edificio para mantenerlo a una temperatura interior de confort.

Para esto se debe realizar un balance térmico en la edificación, a continuación, se presentan las diferentes componentes a determinar.

#### Balance térmico en la edificación

El balance térmico del recinto estará sujeto al diferencial de temperaturas entre el exterior del recinto y de la temperatura de confort mínima requerida al interior.

Para realizar un balance térmico, se deben determinar una serie de parámetros, los cuales aparece resumidos en la siguiente ilustración N°1 y en la siguiente expresión.

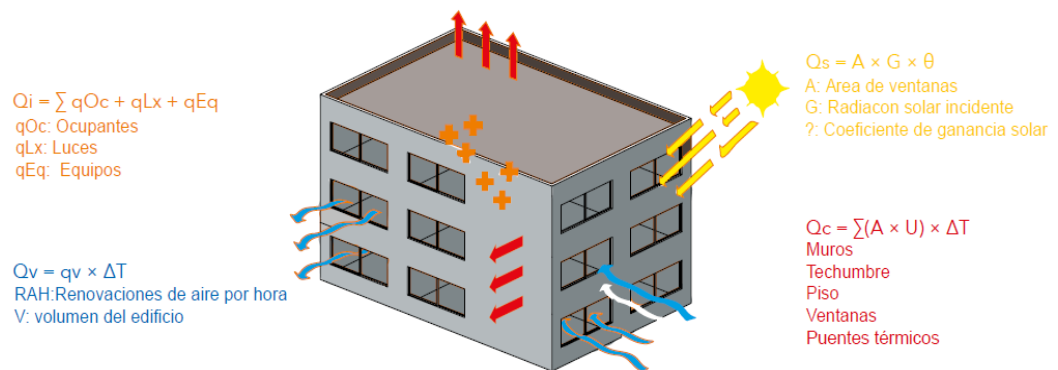


Ilustración 1 Esquema del balance térmico de una edificación.

Fuente: Szokolay (2004). *Introduction to Architectural Science*.

Balance energético de inmueble. <sup>1</sup>

$$Q \text{ Total} = Q_i (+/-) Q_c (+/-) Q_v (+) Q_s$$

Donde:

$Q_i$  = Balance térmico de ganancias internas por carga de ocupación.

$Q_c$  = Balance térmico de los elementos de la envolvente.

$Q_v$  = Balance térmico de ventilación.

$Q_s$  = Balance térmico de ganancias solares.

### **Flujo térmico total**

$$FT = FTE + FTV$$

Donde:

$FTE$  = Flujo térmico de la envolvente.

$FTV$  = Flujo térmico producto de la ventilación.

### **Flujo térmico de la envolvente (FTE)**

$$FTE = \sum U \times S \text{ (W/k)}$$

Donde:

$U$  = Transmitancia térmica de cada elemento que compone la envolvente térmica.

$S$  = Superficie de cada elemento.

---

<sup>1</sup> Fuente: Agencia Chilena de Eficiencia Energética AChEE, MANUAL DEL GESTOR ENERGETICO

## **Flujo térmico producto de la ventilación (FTV)<sup>2</sup>**

El flujo térmico producto de la ventilación del recinto estará compuesto sus requerimientos de ventilación, así como también producto de las infiltraciones de aire no controladas, a continuación, se presenta la siguiente fórmula para determinar el flujo térmico por ventilación.

$$FTV = V \times 0.35 \text{ RAH (W/K)}$$

Donde:

V = Volumen del recinto.

RAH = Renovaciones de aire por hora del volumen considerado.

### **2.1.1) Balance térmico**

#### **a) El balance térmico de ganancias internas por cargas de ocupación (Qi).**

Un componente importante en el clima interno de un edificio son las cargas internas de éste, las cuales están asociadas a los equipos con los que cuenta el edificio, la iluminación y la cantidad de personas que diariamente ocupa el mismo.

El cálculo de esta carga está expresado en el capítulo de cargas térmicas.

#### **b) El balance térmico de los elementos de la envolvente (Qc).**

Está dado por la siguiente expresión.

---

<sup>2</sup> Fuente: Lavigne, Pierre (2003). "Arquitectura Climática. Una contribución al desarrollo sustentable"

$$Q_c = U \times S \times dt \text{ (para envolvente)}$$

Donde:

- U = Transmitancia térmica de cada elemento que compone la envolvente térmica.
- S = Superficie de cada elemento.
- U×S = Flujo térmico de la envolvente, (FTE).
- dt = Diferencial de temperatura entre exterior e interior, la temperatura interior es la temperatura de confort mínima requerida, más adelante se detalla su cálculo.

**c) El balance térmico de ventilación (Q<sub>v</sub>).**

Está dado por la siguiente expresión.

$$Q_v = 0,35 \times RAH \times V \times dt \text{ (para ventilación)}$$

Donde:

- V = Volumen del recinto.
- RAH = Renovaciones de aire por hora del volumen considerado.
- dt = Diferencial de temperatura entre exterior e interior, la temperatura interior es la temperatura de confort mínima requerida, más adelante se detalla su cálculo.

- Renovaciones de aire por hora del volumen considerado (RAH).

La renovación de aire es el intercambio de aire “usado” en el interior de los locales por aire “nuevo” procedente del exterior. Es importante reducir al mínimo las pérdidas térmicas por ventilación, sin embargo, un mínimo de ventilación es necesaria para la higiene del edificio, especialmente en ciertos espacios, las renovaciones de aire por hora se definen como la cantidad de veces que se debe renovar completamente el aire en una hora.

La renovación de aire, entonces, depende básicamente del uso que se le dé al recinto. A continuación, se resume el valor para aulas y oficinas, estos valores son sacados del R.I.T.E. y del manual Aislación Térmica Exterior - Manual de diseño para soluciones en edificaciones.

- Para aulas R.A.H. =5 a 7
- Para oficinas R.A.H. = 4 a 8

**d) El balance térmico de ganancias solares (Qs).<sup>3</sup>**

La radiación solar que incide sobre el edificio puede generar importantes ganancias de calor, cuando éstas se dan a través de superficies opacas (muros y cubiertas) se denominan indirectas, y cuando ocurren a través de superficies transparentes, como el vidrio, se llaman directas. En el método del balance térmico se recomienda calcular las ganancias indirectas por medio del parámetro temperatura sol-aire, sin embargo, en ocasiones puede resultar útil conocer las ganancias solares indirectas independientemente de la temperatura del aire exterior.

**d.1) Ganancias solares directas.**

Las ganancias solares directas (a través de los elementos transparentes) se calculan con la siguiente expresión:

$$Q_s \text{ directas} = A_v \times G \times \theta$$

Donde:

$A_v$  = Área de ventanas.

$G$  = Radiación solar incidente.

$\theta$  = Coeficiente de ganancia solar.

---

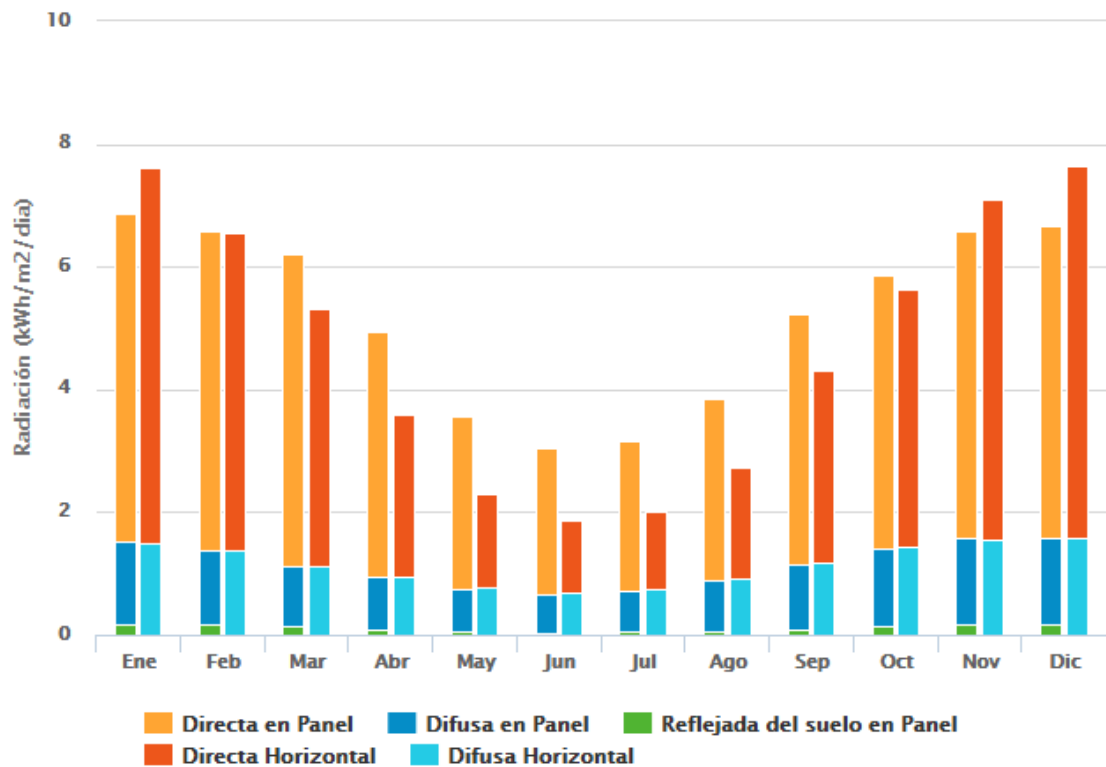
<sup>3</sup> Fuente: *Calefacción, ventilación y aire acondicionado; McQuiston, Faye (2003)*

### d.1.1) La radiación solar incidente (G)

La radiación solar incidente en cualquier punto del país será examinada mediante la página <http://walker.dgf.uchile.cl/Explorador/Solar3/>, donde nos proporcionará la radiación solar incidente de la facultad de ingeniería de la UCSC, esta página tiene una resolución espacial de 90 metros.

La ubicación de la facultad de ingeniería es: (-36.7974° S, -73.0557° O).

En la tabla 1 se muestra la radiación solar incidente en la ubicación exacta de la facultad de ingeniería.



Explorador Solar / MINENERGIA / DGF

Ilustración 2: Gráfico Variación anual de la radiación  
Fuente: <http://walker.dgf.uchile.cl/Explorador/Solar3/>

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
<b>23:00</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>22:00</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>21:00</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>20:00</b>	1,79	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,94
<b>19:00</b>	304,53	151,86	13,15	0	0	0	0	0	0	5,86	103,14	262,54
<b>18:00</b>	544,26	460,87	302,56	45,18	0	0	0	12,69	112,52	260,56	422,83	526,81
<b>17:00</b>	681,82	617,65	551,6	354,15	146,25	90,4	153,29	253,54	375,91	455,53	571,3	656,13
<b>16:00</b>	757,88	700,9	667,93	507,31	352,09	343,73	325,84	379,56	504,98	567,2	672,56	728,06
<b>15:00</b>	786,46	748,21	708,47	572,61	430,61	405,44	382,04	433,72	560,92	615,85	724,76	761,9
<b>14:00</b>	801,15	768,4	721,46	604,54	449,81	396,55	382,56	442,48	577,04	639,17	741,86	774,46
<b>13:00</b>	802,54	762,81	733,59	614,17	476,28	414,04	398,04	459,72	584,27	655,17	758,85	779,22
<b>12:00</b>	777,6	738,49	723,76	602,53	468,18	415,59	404,29	457,86	590,6	654,18	747,54	765,7
<b>11:00</b>	764,37	704,82	697,85	575,29	439,7	380,19	403,66	434,08	591,01	610,36	719,11	731,71
<b>10:00</b>	732,26	664,17	651,81	539,35	392,29	346,04	358,7	398,8	551,15	583,3	688,12	703,76
<b>9:00</b>	681,74	618,54	593,63	458,84	328,52	280,69	293,8	341,6	495,95	562,05	644,28	649,64
<b>8:00</b>	597,05	616,19	467,41	344,52	216,79	121,79	152,01	260,15	385,65	473,31	581,33	587,75
<b>7:00</b>	454,17	349,13	238,5	88,74	9,16	0	0	30,26	198,83	337,01	458,19	476,45
<b>6:00</b>	226,71	75,38	1,61	0	0	0	0	0	7,46	130,76	285,83	305,75
<b>5:00</b>	1,66	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26,43	37,53
<b>4:00</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>3:00</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>2:00</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>1:00</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>0:00</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 1 Radiación solar incidente para la Facultad de Ingeniería. ( $W/m^2$ )  
Fuente: <http://walker.dgf.uchile.cl/Explorador/Solar3/>.

#### d.1.2) Coeficiente de ganancias solares ( $\theta$ )<sup>4</sup>

“Coeficiente de ganancia Solar” (SHGC) se define como la fracción de la radiación solar incidente, como ganancia de calor, en un edificio a través de la ventana (entera incluido el perfil), gran parte de la radiación se transmite directamente a través del acristalamiento hacia el interior del edificio, algunos pueden ser absorbidos en el acristalamiento de manera directa e indirecta en el interior y otra es absorbida por el marco contribuyendo al factor de ganancia global ventana solar térmica.

A continuación, se presenta en la tabla 2 el respectivo coeficiente de ganancias solares para el tipo de ventana.

Ventana con vidrio	Características
	SHGC
Simple Claro	0,86
Simple bronce/gris	0,73
Doble claro	0,76
Doble bronce/gris	0,62
Doble alta tecnología Low E	0,48
Doble alta ganancia solar Low E	0,71
Doble moderada ganancia solar Low E	0,53
Doble baja ganancia solar Low E	0,39
Triple moderada ganancia solar Low E	0,5
Triple ganancia solar Low E	0,33

Tabla 2: Caracterización coeficiente de ganancia solar para distintos tipos de ventanas con vidrios.

---

<sup>4</sup> Fuente: 10 Datos de Coeficiente de Transmisión de Luz Natural VLTC (Visible Light Transmisión Coefficient) y Coeficiente de Ganancia de Calor Solar SHGC (Solar Heat Gain Coefficient) para diferentes tipos de vidrios de ventanas (fuente: Datos de SGHC y VLTC tomados de [www.efficientwindows.org/glazing\\_double.html](http://www.efficientwindows.org/glazing_double.html))

#### d.2) Ganancias solares indirectas.

Las ganancias solares indirectas implican un proceso en el que la radiación solar incidente primero aumenta la temperatura de la superficie exterior de los cerramientos, para después generar un flujo de calor por conducción a través de éstos. Para calcular las ganancias solares indirectas, independientemente de la temperatura del aire exterior, se puede recurrir a la siguiente fórmula:

$$Q_s \text{ Indirectas} = U \times A_o \times (G \times \alpha \times R_{so})$$

Dónde:

$Q_s$  = Ganancia solar directa total en Watts (W).

$U$  = Transmitancia térmica del elemento.

$G$  = Radiación solar total incidente ( $W/m^2$ ).

$A_o$  = Área del componente opaco en ( $m^2$ ).

$\alpha$  = Absortancia de la superficie (0-1).

$R_{so}$  = Resistencia de la película exterior de aire.

#### d.2.1) Absortancia ( $\alpha$ ).

La absortancia, representa en sí la fracción de radiación incidente que es absorbida por un material, con valores que van de 0.0 a 1.0 (aunque también se puede expresar en términos de porcentaje, de 0% a 100%). La absortancia, en ocasiones denominada absorción superficial, depende fundamentalmente del color y el acabado de los materiales, la absortancia puede ser establecida en relación con radiaciones de diferentes longitudes de onda. Debido a ello es común encontrar tres formas distintas de absortancia: **solar**, **visible** y **térmica**:

- a) **La absortancia solar**, la cual incluye el espectro visible, el infrarrojo y el ultravioleta. Este parámetro generalmente se usa para estimar la forma en que la radiación solar afecta el balance térmico de las superficies (exteriores e interiores) de los elementos constructivos. En la tabla 3 se indican los valores de absortancia solar de algunos materiales constructivos.

- b) **La absorptancia visible.** Esta representa la fracción de la radiación visible incidente que es absorbida por un material. En ese sentido el rango de longitudes de onda considerado es mucho más estrecho que en el caso de la de radiación solar, ya que no se incluye el espectro infrarrojo ni el ultravioleta. Este parámetro también afecta el balance térmico superficial, aunque generalmente se emplea en los cálculos de iluminación.
- c) **La absorptancia térmica<sup>5</sup>,** el cual se puede considerar un parámetro equivalente a la emitancia. La absorptancia térmica representa la fracción de la radiación incidente de onda larga (longitudes de onda infrarrojas) que es absorbida por un material. Este parámetro afecta el balance térmico superficial, pero suele usarse para calcular los intercambios de radiación de onda larga entre varias superficies. Al igual que en los casos anteriores, los valores de la absorptancia térmica van de 0.0 a 1.0, donde 1.0 representa las condiciones de un cuerpo negro ideal, el cual absorbería (y emitiría) toda la radiación de onda larga incidente.

<b>Materia (superficie)</b>	<b>Absortancia</b>	<b>Emisividad</b>
Hoja de aluminio brillante	0,05 - 0,10	0,05 - 0,10
Lámina de aluminio con pátina de oxidación	0,30 - 0,50	0,20 - 0,50
Pintura de aluminio	0,40 - 0,55	0,40 - 0,55
Hierro galvanizado con pátina normal	0,30 - 0,50	0,20 - 0,40
Encalado reciente	0,12	0,90
Madera	0,40	0,90
Ladrillo, teja, piedra	0,70	0,90
Concreto aparente	0,45 - 0,60	0,90
Pintura de aceite blanca	0,20	0,90
Pintura verde o gris, clara	0,40	0,90
Pintura verde o gris, oscura	0,70	0,90
Pintura negra, asfalto	0,85	0,90

*Tabla 3 Absortancia solar y emisividad de algunas superficies constructivas.*

<sup>5</sup> Fuentes: M. Evans (1980) y B. Givoni (1976).

### d.2.2) Resistencia de la película exterior de aire (Rso).

Resistencia de la película exterior del aire justo sobre las superficies de los cerramientos forma una delgada película de aire, la cual tiende a permanecer estática. Al reducir la transmisión de calor por convección, esta película genera el mismo efecto que si se incrementara la resistencia del material al flujo de calor. La resistencia de la película de aire varía si se encuentra en la parte exterior o interior del elemento, así como si pertenece a un elemento vertical (muro) o a un elemento horizontal (cubierta). Los siguientes valores que se suelen considerar son estándares y estos son:

- Rso = Resistencia de la película de aire exterior  $0,055 \left[ m^2 \times \frac{^{\circ}C}{W} \right]$ .
- Rsi = Resistencia de la película de aire interior  $0,123 \left[ m^2 \times \frac{^{\circ}C}{W} \right]$ .

### 2.2) Cálculo de las cargas térmicas en los edificios.

La carga térmica es la suma de las cargas térmicas ambientales y el calor generado en los procesos metabólicos, de las cuales se requieren para mantener determinadas condiciones de temperatura y humedad para un confort humano.

La carga térmica se trata de la cantidad de energía térmica por unidad de tiempo (potencial térmico), el cálculo de estas cargas térmicas permite disponer los sistemas adecuados de calefacción o refrigeración para compensarlas.

Existen 2 tipos de cargas térmicas:

1. **Cargas térmicas sensibles:** Son aquellas que van a originar una variación en la temperatura del aire.
2. **Cargas térmicas latentes:** Son las que van a originar una variación en la humedad absoluta del ambiente (contenido de agua en el aire).

El diseño de un sistema de aire acondicionado se dimensiona para la situación más desfavorable, en este caso la situación más desfavorable es en invierno, ya que el objetivo fundamental de este estudio es analizar cuanta energía se puede ahorrar con soluciones de aislación térmicas.

### **Componentes de la carga térmica**

Dependiendo de la procedencia de las cargas térmicas se pueden distinguir en dos grupos de cargas térmicas:

#### **1. Cargas térmicas procedentes del ambiente exterior del edificio:**

Las cargas térmicas externas pueden ser de diversos tipos:

- Cargas a través de cerramientos.
- Cargas a través de superficies acristaladas, ventanas y claraboyas.
- Cargas introducidas a través de la ventilación.
- Cargas debidas a infiltración.

#### **2. Cargas térmicas generadas en el interior del edificio:**

Las cargas térmicas internas pueden ser de diversos tipos:

- Cargas generadas por las personas;
- Cargas de iluminación;
- Cargas generadas por equipos eléctricos, informáticos...
- Otras cargas generadas en el interior.

## Cálculo de la carga térmica

El cálculo de la carga térmica ( $Q_r$ ) se ocupa para saber la capacidad de refrigeración de los aparatos de aire acondicionado o la capacidad de ampliar el calor mediante una caldera.

La carga térmica total ( $Q_r$ ) de un local se obtiene de la siguiente expresión:

$$Q_r = Q_s + Q_l$$

Donde:

$Q_s$  = Carga térmica sensible (W).

$Q_l$  = Carga térmica latente (W).

A continuación, se expone cómo calcular las cargas térmicas sensible y latente que se transmiten al edificio, con objeto de sumarlas y obtener de esta forma la carga térmica total.

### 2.2.1) Cálculo de la carga térmica sensible ( $Q_{sensible}$ )<sup>6</sup>

El cálculo de la carga térmica sensible se basa en calcular cada una de las diferentes cargas presentadas a continuación y sumarlas, obteniendo así el valor de la carga sensible total, en la siguiente expresión se resume lo expuesto anteriormente.

$$Q_{sensible} = Q_s + Q_{str} + Q_{si} + Q_{sai}$$

Donde:

$Q_s$  = El balance térmico de ganancias solares.

$Q_{str}$  = Carga sensible por transmisión y radiación a través de paredes y techos exteriores.

$Q_{si}$  = Carga sensible transmitida por infiltraciones de aire exterior.

$Q_{sai}$  = Carga sensible debida a aportaciones internas.

---

<sup>6</sup> Fuente: *Calefacción, ventilación y aire acondicionado; McQuiston, Faye (2003)*

**a) Carga por radiación solar a través del cristal " $Q_s$ "**

La radiación solar atraviesa las superficies translúcidas y transparentes e incide sobre las superficies interiores del local, calentándolas, lo que a su vez incrementa la temperatura del ambiente interior.

La carga térmica por radiación a través de cristales y superficies translúcidas ( $Q_s$ ), se calcula dependiendo si la ganancia solar es directa o indirecta, tal como se presenta a continuación:

**a.1) Ganancias solares directas<sup>7</sup>**

Las ganancias solares directas (a través de los elementos transparentes), se determina de la siguiente manera:

$$Q_s = A_v \times G \times \theta$$

Donde:

$A_v$  = Área de ventanas.

$G$  = Radiación solar incidente.

$\theta$  = Coeficiente de ganancia solar.

**a.2) Ganancias solares indirectas**

Las ganancias solares indirectas (a través de los elementos no transparentes), se determina de la siguiente manera:

$$Q_s \text{ Indirectas} = U \times A_o \times (G \times \alpha \times R_{so})^8$$

---

<sup>7</sup> Los coeficientes  $G$ ,  $\theta$ , están expresados en el capítulo de demanda de calefacción, expuestos anteriormente

<sup>8</sup> Los coeficientes  $G$ ,  $A_o$ ,  $R_{so}$ , están expresados en el capítulo de demanda de calefacción.

Dónde:

- Qs = Ganancia solar directa total en Watts (W).
- U = Transmitancia térmica del elemento.
- G = Radiación solar total incidente (W/m<sup>2</sup>).
- Ao = Área del componente opaco en (m<sup>2</sup>).
- $\alpha$  = Absortancia de la superficie (0-1).
- Rso = Resistencia de la película exterior de aire.

### b) Carga por transmisión a través de paredes y techos exteriores " $Q_{str}$ "<sup>9</sup>

La carga por transmisión y radiación que se transmite a través de las paredes y techos opacos que limitan con el exterior ( $Q_{str}$ ), se calcula de la siguiente forma:

$$Q_{str} = U \times S \times (T_{ec} - T_i)$$

Donde:

- $Q_{str}$  = Carga por transmisión a por paredes y techos exteriores (W).
- U = Transmitancia térmica, expresado (W/m<sup>2</sup>°C).
- S = Superficie expuesta a la diferencia de temperaturas (m<sup>2</sup>).
- T<sub>i</sub> = Temperatura interior de diseño (°C).
- T<sub>ec</sub> = Temperatura exterior de cálculo al otro lado (°C).

#### b.1) Transmitancia térmica (U).

El coeficiente de transmisión térmica del cerramiento o transmitancia térmica(U), es el flujo de calor que pasa por unidad de superficie del elemento y por grado de diferencia de temperaturas entre los dos ambientes separados por dicho elemento, se expresa en W/(m<sup>2</sup> × °C).

Se determina experimentalmente según NCh851 o bien por cálculo tal como lo indica la NCH853 of. 2007.

---

<sup>9</sup> Fuente: *Calefacción, ventilación y aire acondicionado; McQuiston, Faye (2003).*

$$U = \frac{1}{Rt}$$

Donde:

$Rt$  = Resistencia térmica.

El cálculo de la resistencia térmica se determina dependiendo del tipo de elemento, ya sea simple o compuesto.

### **b.1.1) Para elementos simples y homogéneos**

Para un elemento de caras planas y paralelas, de espesor  $e$ , conformado por un solo material de conductividad térmica  $\lambda$ , la resistencia térmica total queda dada por:

$$Rt = \frac{1}{U} = Rsi + \frac{e}{\lambda} + Rse^{10}$$

Donde:

$e/\lambda$  = Resistencia térmica del material.

$Rsi$  = Resistencia térmica de superficie al interior.

$Rse$  = Resistencia térmica de superficie al exterior.

---

<sup>10</sup> Para los valores de  $Rsi$  y  $Rse$ , ver tabla 4.

Resistencias térmicas de superficie en m <sup>2</sup> x K/W							
Posición del elemento y sentido del flujo de calor		Situación del elemento					
		De separación con espacio exterior o local abierto			De separación con otro local, desván o cámara de aire		
		$R_{si}$	$R_{se}$	$R_{si} + R_{se}$	$R_{si}$	$R_{se}$	$R_{si} + R_{se}$
Flujo horizontal en elementos verticales o con pendiente mayor que 60° respecto a la horizontal		0,12	0,05	0,17	0,12	0,12	0,24
Flujo ascendente en elementos horizontales o con pendiente menor o igual que 60° respecto a la horizontal		0,09	0,05	0,14	0,10	0,10	0,20
Flujo descendente en elementos horizontales o con pendiente menor o igual que 60° respecto a la horizontal		0,17	0,05	0,22	0,17	0,17	0,34

Tabla 4: Tabla Resistencia térmica de superficies.  
Fuente: NCh 853 of. 2007, tabla n°2.

### b.1.2) Para elementos compuestos por varias capas homogéneas.

Para un elemento formado por una serie de capas o placas planas y paralelas de materiales distintos en contacto entre sí, la resistencia térmica total, queda dada por:

$$R_t = \frac{1}{U} = R_{si} + \sum \frac{e}{\lambda} + R_{se}$$

Donde:

$\sum e/\lambda$  = Es la sumatoria de las resistencias térmicas de las capas que conforman el elemento.

$R_{si}$  = Resistencia térmica de superficie al interior.

$R_{se}$  = Resistencia térmica de superficie al exterior.

## b.2) Temperatura interior de diseño (Ti)<sup>11</sup>

Es la temperatura mínima de confort dentro del edificio, la temperatura óptima del aire interior (temperatura neutral) es aquella que permite que el cuerpo disipe adecuadamente el calor generado. Su valor se ubica dentro de un rango de temperatura en el cual el ser humano expresa satisfacción térmica con el ambiente (zona de confort). De acuerdo a los estudios realizados por *S. Szokolay* y *Auliciems*, la temperatura de confort térmico o temperatura neutral se puede determinar aplicando la siguiente fórmula:

$$T_n = b + m \times T_m$$

$$Z_c = T_n \pm 2,5^\circ\text{C}$$

Donde:

$T_n$  = Temperatura neutral.

$T_m$  = Temperatura media anual o mensual (interior).

$Z_c$  = Zona de confort.

Los valores de  $b$  y  $m$  varían de acuerdo a diferentes estudios realizados por varios autores, en la tabla 5 se exponen diferentes valores con sus respectivos autores.

<b>Autor</b>	<b>b</b>	<b>M</b>
Humphrey (1976)	11,9	0,534
Auliciems (1981)	17,6	0,31
Griffiths (1990)	12,1	0,534
Nicol et al. (1993)	17,0	0,38
Brager-De Dear (1998)	17,8	0,31
Humphreys - Nicol (200)	13,5	0,54

Tabla 5: Valores  $b$  y  $m$ , con sus respectivos autores, para la construcción de modelos de confort térmicos.

Fuente: Gomez – Azpeita, G., Bojorquez, G., Ruiz, R.P – *El confort térmico: dos enfoques teóricos enfrentados*.

---

<sup>11</sup> Fuente: *S. Szokolay* y *Auliciems*

Para el caso de estándares de confort térmico para edificios públicos en Chile, se utilizan los valores de Auliciems (1981), es decir, la ecuación utilizada es la siguiente:

$$T_n = 17,6 + 0,31 \times T_m$$

Para el caso de un recinto “confortable”, la temperatura neutral tendrá valores límite superiores (para refrigeración) e inferiores (para calefacción). Dichos valores determinarán una “banda de confort térmico” que habitualmente tendrá un rango entre los 20°C y los 25°C. Es el caso de los requerimientos de los Términos de Referencia Estandarizados para Obras de Arquitectura del MOP publicados en: <http://www.arquitecturamop.cl/eficienciaenergetica/Paginas/default.aspx>.

En la tabla 6 se presentan los distintos efectos de comportamiento adaptativos sobre la temperatura de confort que considera los efectos adaptativos del cuerpo humano con acciones típicas en la vida cotidiana.

<b>Acción</b>	<b>Efecto</b>	<b>Variación temperatura</b>
<b>Quitarse o ponerse una chaqueta</b>	Cambio de arropamiento $\pm 0,35$ Clo.	$\pm 2,2^\circ\text{C}$
<b>Usar ropa holgada o ajustada</b>	Cambio de arropamiento $\pm 0,26$ Clo.	$\pm 1,7^\circ\text{C}$
<b>Quitarse la corbata</b>	Cambio de arropamiento $\pm 0,13$ Clo.	$\pm 0,8^\circ\text{C}$
<b>Cambiar tipo de silla de oficina</b>	Cambio de arropamiento $\pm 0,05$ Clo.	$\pm 0,3^\circ\text{C}$
<b>Permanecer sentado o caminar alrededor</b>	Variación en met. $\pm 0,4$ Met.	$\pm 3,4^\circ\text{C}$
<b>Nivel de estrés</b>	Variación en met. $\pm 0,3$ Met.	$\pm 2,6^\circ\text{C}$
<b>Vigor en las actividades</b>	Variación en met. $\pm 0,1$ Met.	$\pm 0,9^\circ\text{C}$
<b>Diferentes posturas</b>	Variación en met. $\pm 10\%$ Met.	$\pm 0,9^\circ\text{C}$
<b>Consumir bebidas frías</b>	Variación en met. $- 0,12$ Met.	$+ 0,9^\circ\text{C}$
<b>Consumir bebidas o alimentos calientes</b>	Variación en met. $+ 0,12$ Met.	$- 0,9^\circ\text{C}$
<b>Encender un ventilador de mesa</b>	Variación en vel. del aire $+2,0$ m/s	$+ 2,8^\circ\text{C}$
<b>Encender un ventilador de techo</b>	Variación en vel. del aire $+1,0$ m/s	$+ 2,2^\circ\text{C}$
<b>Abrir una ventana</b>	Variación en vel. del aire $+0,5$ m/s	$+ 1,1^\circ\text{C}$

Tabla 6: Efectos de distintos comportamientos adaptativos sobre la temperatura de confort.

Fuente: Fuentes, V. (s.f.). *Arquitectura Bioclimática*.

Recuperado de <http://arq-bioclimatica.com/>

### b.3) Temperatura exterior de diseño (Te)

La temperatura exterior está dada por la norma NCH1079 c73, donde la temperatura exterior para la ciudad de Concepción es de 5°C.

### c) Carga transmitida por infiltraciones de aire exterior " $Q_{si}$ "<sup>12</sup>

Las pérdidas por entradas de aire exterior responden a la carga térmica que supone el calentamiento de este aire exterior hasta la temperatura ambiente del local y vienen dadas por la siguiente expresión:

$$Q_{si} = V \times \rho \times C_{e, \text{aire}} \times \Delta t$$

Donde:

$Q_{si}$	= Pérdidas de calor por infiltraciones. (KW).
$V$	= Caudal de aire de ventilación (m <sup>3</sup> /s).
$\rho$	= Densidad de aire, (valor 1.18 kg/m <sup>3</sup> ).
$C_{e, \text{aire}}$	= Calor específico de aire, (Valor 1012 J/kg C°).
$T_i$	= Temperatura interior de diseño del local (°C).
$T_e$	= Temperatura exterior de diseño (°C).

### d) Carga sensible por aportaciones internas " $Q_{sai}$ "<sup>13</sup>

La ganancia de carga sensible debida a los aportes internos del edificio ( $Q_{sai}$ ) se determina a su vez como suma de los siguientes tipos de cargas que se generan dentro del mismo:

$$Q_{sai} = Q_{sil} + Q_{sp} + Q_{se}$$

---

<sup>12</sup>, Fuente: *Calefacción, ventilación y aire acondicionado; McQuiston, Faye (2003).*

<sup>13</sup> Fuente: *Calefacción, ventilación y aire acondicionado; McQuiston, Faye (2003).*

Donde:

$Q_{sil}$  = Valor de la ganancia interna debida a la iluminación interior del local.

$Q_{sp}$  = Ganancia interna debida a los ocupantes del local.

$Q_{se}$  = Ganancia interna debida a los diversos aparatos existentes en el local, como aparatos eléctricos, ordenadores, etc.

*d.1) Carga sensible por iluminación ( $Q_{sil}$ ):*

Para determinar la carga térmica sensible aportada por la iluminación interior del edificio se considera que la potencia de las lámparas de iluminación se transformará en calor sensible.

En el caso de las lámparas de tipo fluorescente o de descarga se multiplicará la potencia total de todas las lámparas por 1,25 para considerar el consumo complementario de las reactancias.

*a) Lámparas incandescentes:*

$$Q_{sil,incandescente} = n \cdot Pot_{Lámp. incandescente}$$

Siendo  $n$  el número de lámparas de tipo incandescentes colocadas.

*b) Lámparas de descarga o fluorescentes:*

$$Q_{sil,descarga} = 1,25 \cdot n \cdot Pot_{Lámp. descarga}$$

Siendo  $n$  el número de lámparas fluorescentes colocadas. Se considera un 25% más de carga, para tener en cuenta el cebador y el balasto de la respectiva lámpara

La ganancia de carga sensible por iluminación se obtendrá como la suma de las anteriores:

$$Q_{sil} = Q_{sil,incandescente} + Q_{sil,descarga}$$

**d.2) Carga sensible por ocupantes ( $Q_{sp}$ ):**

Para calcular la carga sensible que aporta cada persona ( $Q_{sp}$ ), es necesario conocer previamente las distintas cargas térmicas que origina, tales como:

- **Radiación:** Esta es debido a que la temperatura media del cuerpo es superior a la de los objetos que le rodean.
- **Convección:** Es porque la superficie de la piel se encuentra a mayor temperatura que el aire que la rodea, creándose pequeñas corrientes de convección que aportan calor al aire.
- **Conducción:** Es originada a partir del contacto del cuerpo con otros elementos que le rodeen.
- **Respiración:** Es lo que origina un aporte de calor por el aire exhalado, que se encuentra a mayor temperatura. Aquí se produce también un aporte de vapor de agua que aumentará la humedad relativa del aire.
- **Evaporación cutánea:** Este aporte de calor es importante en verano.

La carga por ocupación tiene, por tanto, una componente sensible y otra latente, debido ésta última tanto a la respiración como a la transpiración. En ambos casos habrá que tener en cuenta el número de ocupantes de la estancia.

En la tabla N°7 se indican los valores de calor latente y sensible, en *kcal/h*, desprendido por una persona según la actividad y la temperatura existente en el local:

Para obtener el calor sensible de aporte por la ocupación del edificio estaría dada por la siguiente expresión:

$$Q_{sp} = n \times C_{sensible, persona}$$

Donde:

$n$  = Número de personas que se espera que circulen por el edificio.

$C_{\text{sensible, persona}}$  = Calor sensible por persona y actividad que realice, según la tabla 7.

<b>Grado de actividad</b>	<b>Aplicación típica</b>	<b>Calor sensible (Watt)</b>	<b>Calor latente (Watt)</b>
<b>Sentados en un teatro</b>	<i>Teatro (matiné)</i>	66	31
<b>Sentados en un teatro</b>	<i>Teatro (función nocturna)</i>	72	31
<b>Sentados haciendo un trabajo ligero</b>	<i>Oficinas, hoteles, departamentos</i>	72	45
<b>Realizando trabajo moderado de oficina</b>	<i>Oficinas, hoteles, departamentos</i>	73	59
<b>Parados, haciendo un trabajo ligero o caminando</b>	<i>Tienda de departamentos, tienda al menudeo</i>	73	59
<b>Caminando o de pie realizando un trabajo sedentario</b>	<i>Farmacia, banco</i>	73	73
<b>Realizando un trabajo sedentario</b>	<i>Restaurante</i>	81	81
<b>Haciendo un trabajo de banco ligero</b>	<i>Fábrica</i>	81	139
<b>Bailando a ritmo moderado</b>	<i>Salón de baile</i>	89	160
<b>Caminando a 3 mph, haciendo un trabajo a máquina ligero</b>	<i>Fábrica</i>	110	183
<b>Jugando a los bolos (boliche)</b>	<i>Boliche</i>	170	255
<b>Realizando trabajo pesado</b>	<i>Fábrica</i>	170	255
<b>Manejando maquinaria pesada, levantando objetos</b>	<i>Fábrica</i>	186	283
<b>Haciendo rutinas atléticas</b>	<i>Gimnasio</i>	208	320

Tabla 7: Calor latente y sensible desprendido por persona.

Fuente: Calefacción, ventilación y aire acondicionado; McQuiston, Faye C. (2003).

*d.3) Carga sensible por aparatos eléctricos ( $Q_{se}$ ):*

Se le llama carga sensible por aparatos eléctricos a la carga térmica aportada por las maquinarias, equipos y demás electrodomésticos presentes en el espacio climatizado, se considera que la potencia íntegra de funcionamiento de los aparatos eléctricos se transformarán en un aporte al calor sensible de los edificios.

Se considera que el 75% del total de aparatos eléctricos está funcionando de manera simultánea, por ende, la carga sensible por aparatos eléctricos será la suma de todas las potencias

**Carga sensible total " $Q_s$ "**

La carga sensible total ( $Q_s$ ) aportada al local es la suma de todas las anteriores:

$$Q_s = Q_{sr} + Q_{str} + Q_{st} + Q_{si} + Q_{sil} + Q_{sp} + Q_{se}$$

**2.2.2) Cálculo de la carga térmica latente<sup>14</sup>**

Las cargas térmicas latentes, son las que originan una variación en la humedad absoluta del ambiente (contenido de agua en el aire), la carga latente es debido al aire exterior de infiltraciones y la carga latente generada por las personas que ocupan el edificio. Para el cálculo de la carga térmica latente ( $Q_l$ ) se emplea la siguiente expresión:

$$Q_l = Q_{li} + Q_{lp}$$

Donde:

$Q_{li}$  = Carga latente transmitida por infiltraciones de aire exterior (W).

$Q_{lp}$  = Carga latente debida a la ocupación del local (W).

---

<sup>14</sup> Fuente: *Calefacción, ventilación y aire acondicionado; McQuiston, Faye C. (2003).*

**a) Carga latente transmitida por infiltraciones de aire exterior " $Q_{li}$ ".**

La carga latente transmitida por infiltraciones y ventilación de aire exterior ( $Q_{li}$ ) se determina mediante la siguiente expresión:

$$Q_{li} = Vr \times 0,84 \times \Delta w$$

Donde:

- $Q_{li}$  = Carga térmica latente por ventilación de aire exterior (W).  
 $Vr$  = Caudal de aire infiltrado y ventilación ( $m^3/s$ ).  
 $\Delta w$  = Diferencia de humedad absoluta entre el ambiente exterior e interior.

**a.1) Caudal de aire infiltrado y ventilación ( $Vr$ ).**

$$Vr = V \times R.A.H.$$

Donde:

- $V$  = Volumen del local. ( $m^3$ ).  
 $R.A.H.$  = Número de renovaciones por hora. (x) (1/h).

**a.2) Diferencia de humedades.**

**a.2.1) Humedad interior de confort**

La humedad interior de confort es aquella que es favorable para el bienestar humano, la humedad interior de confort del aire está entre 30% a 40% como mínimo y 70% como máximo, para efectos de cálculos se va a considerar 50% de humedad absoluta como ambiente interior, para satisfacer el confort térmico propuesto por Arq. María Blende.

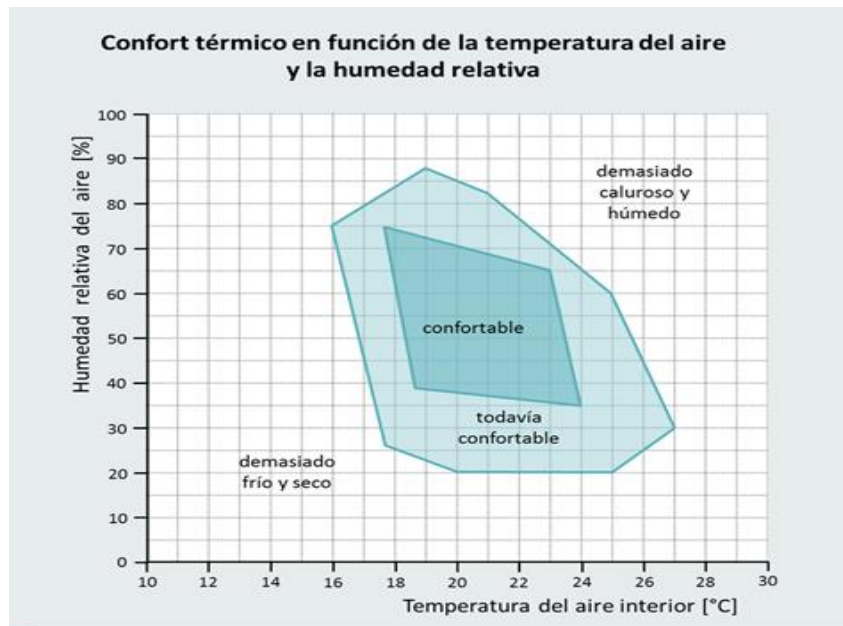


Ilustración 3, Confort térmico en función de la temperatura del aire y la humedad relativa.  
 Fuente: Arq. María Blender. <http://www.arquitecturayenergia.cl/home/el-confort-termico/>

### a.2.2) Humedad absoluta exterior

Para determinar el valor de humedad absoluta exterior, se debe localizar el clima por zona, expuesto en la norma Nch1079 of. 77, en este caso la ciudad de Concepción corresponde a la zona SL (Sur Litoral), esta corresponde desde el Biobío hasta Chiloé y Puerto Montt, variable en la anchura, este clima es marítimo, lluvioso, con inviernos largos, con suelos y ambiente salino-húmedo, con temperatura templada fría, con esto la respectiva norma indica para Concepción la humedad ambiente exterior de diseño es 75% en enero y 88% en julio, para este estudio se contempla el valor del mes de julio, ya que es la humedad más desfavorable y justo corresponde al mes intermedio entre los meses a estudiar.

### b) Carga latente por ocupación " $Q_p$ "

La carga latente por ocupación del edificio ( $Q_p$ ), se determina multiplicando la valoración del calor latente emitido por la persona-tipo y por el número de ocupantes previstos para el local, ver tabla 7 de calor latente y sensible desprendido por persona.

La expresión para obtener el calor latente de aporte por la ocupación del local sería la siguiente:

$$Q_{lp} = n \times C_{latente, persona}$$

Donde:

$n$  = Número de personas que estén en el edificio.

$C_{latente, persona}$  = calor latente por persona y actividad que realice.

### **Carga latente total " $Q_l$ "**

La carga latente total ( $Q_l$ ) aportada al local es la suma de todas las anteriores:

$$Q_l = Q_{li} + Q_{lp}$$

### **2.3) Determinar la carga térmica inicial del edificio.**

La carga inicial del edificio es la energía sensible que posee la edificación con el personal, las maquinarias o aparatos eléctricos y caldera. La carga térmica inicial del edificio es la suma de la carga sensible por aportaciones internas más la carga térmica producida por la caldera, la siguiente expresión resume lo anterior:

$$CT_{inicial} = Q_{sp} + Q_{sil} + Q_{se} + Q_c^{15}$$

Donde:

$Q_{sp}$  = Carga sensible por ocupantes.

$Q_{sil}$  = Carga sensible por iluminación.

$Q_{se}$  = Carga sensible por aparatos eléctricos.

$Q_c$  = Carga térmica de la caldera.

---

<sup>15</sup> Los valores de  $Q_{sp}$ ,  $Q_{sil}$ ,  $Q_{se}$ , están expresado en el capítulo de carga térmica.

### 2.3.1) Carga térmica de la caldera (Qc)<sup>16</sup>

El consumo energético del generador de calor dependerá:

- De la **potencia** y el **rendimiento** de la caldera.
- Del **combustible utilizado** y su poder calorífico inferior (PCI)
- De si funciona a **alta temperatura o a baja temperatura**. El rendimiento de la caldera es distinto.

a) El consumo energético se calcula con la siguiente **fórmula**:

$$C_e = Q / (PCI \times \eta)$$

Donde:

$C_e$  = consumo energético de combustible por hora (m<sup>3</sup>/h).

$PCI$  = poder calorífico inferior del combustible (kWh/h).

$\eta$  = rendimiento de la caldera (valores respecto del 1).

$Q$  = potencia de la caldera.

b) *Rendimiento útil ( $\eta_u$ )*

El calor producido al quemarse un combustible en una caldera no se transmite íntegramente al agua de calefacción, se producen unas pérdidas que serán de mayor o menor magnitud dependiendo del diseño de la caldera y de la regulación de la combustión

---

<sup>16</sup> Fuente: BALWANT, YUGESFTWAR ANDY. «Establecer expresiones de pérdidas por calor sensible y rendimiento térmico en calderas piro-tubulares aplicando métodos experimentales y técnicas de I. A.». Trabajo de Diploma, Universidad de Cienfuegos, 2009.

El rendimiento útil de una caldera será:

$$\eta_u = (P_u/P_c) \times 100 \text{ en } \%$$

Donde:

$P_u$  = Potencia útil de la caldera.

$P_c$  = Potencia calorífica obtenida al quemar un combustible.

*c) Potencia útil ( $P_u$ )*

La potencia útil de una caldera depende del caudal de agua ( $Q$ ) que circula a través de ella y del salto térmico del agua que existe a la entrada ( $T_e$ ) y salida ( $T_s$ ) de la caldera.

$$P_u = Q \times (T_s - T_e) \times C_e \times P_e$$

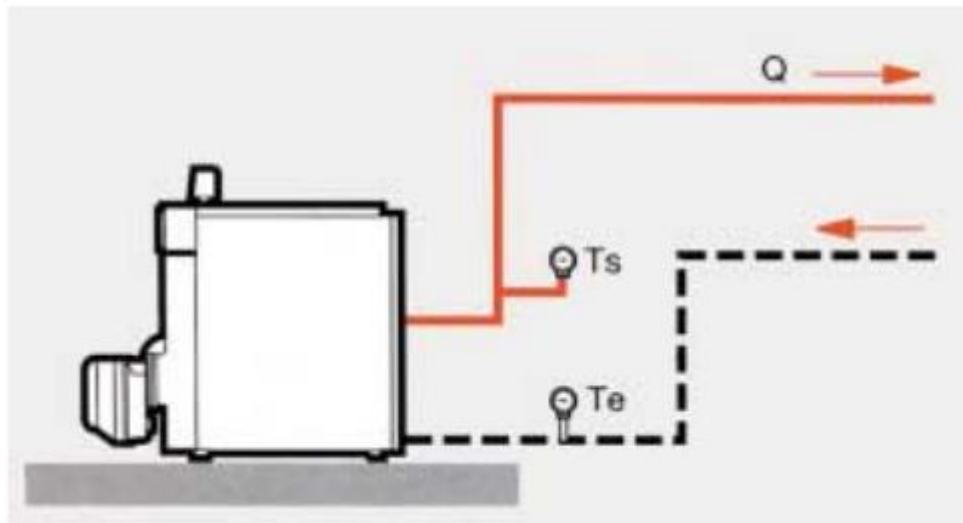


Ilustración 4: Esquema de la potencia de una caldera.

Fuente :<https://temariosformativosprofesionales.wordpress.com/2015/03/07/calculo-de-potencia-de-una-caldera-de-pellet/>

La mayoría de fabricantes de calderas, en sus informaciones técnicas, indican las potencias útiles.

*d) Potencia quemada (Pc)*

La potencia obtenida al quemar un combustible depende del poder calorífico inferior, siendo éste el calor que desprende al quemarse una unidad de peso o volumen y de la cantidad de combustible utilizado en una hora.

$$P_c = PCI \times C$$

Donde:

$P_c$  = Potencia quemada (Kcal/h).

$C$  = Consumo combustible (kg/h ó Nm<sup>3</sup>/h).

$PCI$  = Poder Calorífico Inferior del combustible (Gas Natural = 9.300 Kcal/Nm<sup>3</sup>).

#### **2.4) Determinación de la inercia térmica**

La inercia térmica es la capacidad de un material para acumular y almacenar energía calorífica para ser liberada durante un período de tiempo.

En la mayoría de los casos la inercia térmica permite la reducción en calefacción, el consumo para refrigeración y las necesidades de energía. También contribuye a lograr un mejor confort térmico al reducir las variaciones de temperatura interior en comparación con las temperaturas al aire libre. Cuanto mayor sea la inercia térmica, más suaves serán las temperaturas interiores.

Los edificios que potencian la inercia térmica tienen la capacidad de absorber y acumular calor en un período de tiempo durante el día. Este calor acumulado puede ser puesto en libertad en un momento posterior. El ciclo de carga y descarga de energía de la inercia térmica puede ser utilizado de una manera eficiente. Idealmente en un edificio se acumulará energía solar en un momento en que no se está utilizando o deseado y se liberará cuando se necesite. Se logra este efecto, si el edificio está diseñado y controlado en consecuencia. Mediante la utilización de este efecto, los edificios no sólo pueden ahorrar en calefacción y refrigeración de energía, sino que también se obtiene un mayor confort térmico dentro del edificio.

La inercia térmica genera un impacto sobre la temperatura interior, existen 2 indicadores:

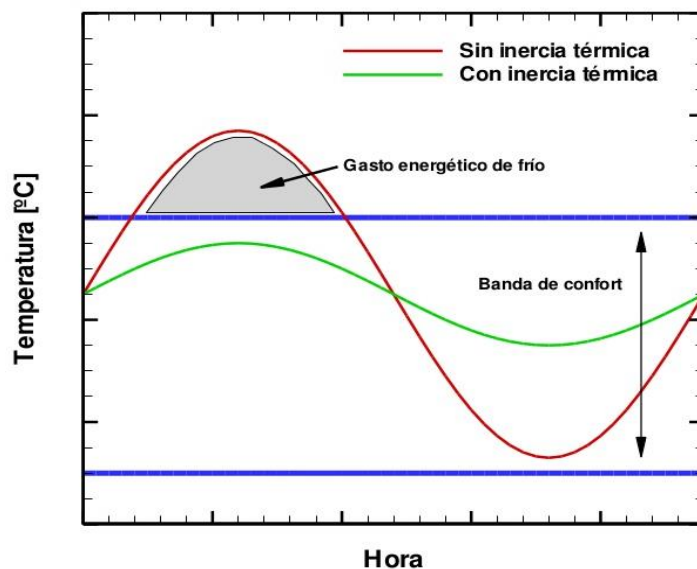
- Time Lag o tiempo de desfase: Este indicador representa el tiempo de retardo entre las temperaturas máximas exteriores e interiores.  
Se mide como la diferencia de tiempo entre la temperatura de pico en la superficie exterior de un elemento de construcción y la temperatura máxima en la superficie interior. Este retardo de tiempo puede comprender hasta ocho o nueve horas para construcciones con elevada masa térmica (doble ladrillo o paredes de tierra apisonada), mientras que en otros materiales su valor es significativamente menor, como es el caso del vidrio.
- Decrement factor: Este indicador representa la reducción de la variación de intensidad de la temperatura interior en comparación con las temperaturas al aire libre.

La inercia térmica recomendada para el diseño de la envolvente dependerá del contexto climático. Para climas de carácter continental en época de invierno se recomienda una inercia térmica elevada en las zonas soleadas del edificio y baja en aquellas donde no llega el sol, de manera que se calienten con mayor rapidez. Mientras que en verano se recomienda una inercia térmica elevada con el objeto de compensar las oscilaciones térmicas entre el día y la noche.

Para entender los efectos de inercia térmica en distintos materiales, se presentan a continuación algunos conceptos útiles.

En resumen, la inercia térmica es la cantidad de calor que puede conservar un cuerpo y velocidad con que la cede o absorbe. En otras palabras, es la dificultad con que un cuerpo cambia su temperatura ante variaciones en el entorno.

En el siguiente gráfico se puede ver de forma teórica cómo se comportan los diferentes inmuebles con o sin inercia térmica.



*Ilustración 5: Esquema del comportamiento de un material con inercia térmica versus un material sin inercia térmica. Fuente: Manual del gestor energético, AChEE.*

El método de cálculo de este concepto no hay un parámetro para poder calcular la inercia térmica, pero sí hay parámetro que se pueden utilizar como una alternativa de cálculo.

#### **a) Admitancia térmica (Y)<sup>17</sup>**

Este parámetro es definido como admitancia térmica (Y), este se define como la capacidad de absorción de calor periódico de los materiales o elementos constructivos. La admitancia se calcula con la siguiente formulación:

$$Y = 0,0085277\sqrt{\lambda \times \rho \times ce}$$

<sup>17</sup> Fuente: Cf. Szolnolay, Steven V. *Introduction mmmtectuml Science - me basis of Sustainable Design*. Architectural Press. Hsevier. London. UK, 2004

Donde:

$Y$  = Admitancia térmica del material (W/m<sup>2</sup> K).

$\lambda$  = Conductividad térmica (W/m<sup>2</sup> K).

$C_e$  = Calor específico (J/kg K).

$\rho$  = Densidad (kg/m<sup>3</sup>).

Existen otros métodos con el cual se puede determinar el tiempo de desfase con este se puede determinar el tiempo que se demora el material para transmitir la energía, para esto es necesario los siguientes conceptos:

#### **b) Difusividad (a) <sup>18</sup>**

Es la propiedad de los materiales, que expresa la capacidad de ellos para transmitir una variación de temperatura, depende de la conductividad térmica y de la capacidad térmica del material.

$$a = \frac{\lambda}{\rho \times C_e} \quad \left[ \frac{m^2}{s} \right]$$

Donde:

$\lambda$  = Conductividad térmica.

$\rho$  = Densidad.

$C_e$  = Calor específico.

---

<sup>18</sup> Fuente: Cf. Szolnolay, Steven V. *Introduction mmmtectuml Science - me basis of Sustainable Design*. Architectural Press. Hsevier. London. UK, 2004

En la tabla 8 se presentan los valores típicos de la difusividad en distintos materiales.

Material de construcción	Difusividad a [ $m^2/s$ ]
Hormigón Armado	$8 \times 10^{-7}$
Mortero	$4 \times 10^{-7}$
Hormigón celular	$4 \times 10^{-7}$
Ladrillo macizo	5 a $6 \times 10^{-8}$
Polietileno expandido	4 a $8 \times 10^{-8}$
Lana mineral	$20 \times 10^{-9}$
Madera	$2,5 \times 10^{-10}$
Acero	$140 \times 10^{-7}$
Aluminio	$970 \times 10^{-7}$
Fibra de madera	$1,9 \times 10^{-7}$

Tabla 8: Difusividad en distintos materiales.  
Fuente: Manual del gestor energético, AChEE.

### c) Efusividad (b) <sup>19</sup>

La efusividad es la capacidad de un material para absorber una potencia térmica. Un elemento absorberá mejor un flujo de energía mientras mayor sea su capacidad de transmisión de calor y mayor sea su capacidad térmica.

$$b = \sqrt{\lambda \times \rho \times Ce} \quad \left[ \frac{J}{m^2 \times Ks^{0,5}} \right]$$

Donde:

$\lambda$  = Conductividad térmica.

$\rho$  = Densidad.

Ce = Calor específico.

<sup>19</sup> Fuente: Op. cit. Szokolay, Steven V. (2004) Introduction to Architectural Scilencer

A continuación, se presenta una tabla 9 con los valores típicos de la efusividad en algunos materiales.

<b>Material de construcción</b>	<b>Efusividad b [J/(m<sup>2</sup>Ks<sup>1/2</sup>)]</b>
Acero	» 13.200 (muy altas)
Albañilerías	» 2.000 (altas)
Maderas	» 350 (bajas)
Polietileno, lanas de vidrio y roca	» 30 (muy bajas)

*Tabla 9: Efusividad en algunos materiales.  
Fuente: Manual del gestor energético, AChEE.*

Según las propiedades de los materiales construidos se pueden estimar y controlar dinámicamente los efectos de la masa térmica del edificio, a continuación, se presenta la siguiente ecuación donde se puede estimar el tiempo de desfase.

## 2.5) Método del análisis termografico <sup>20</sup>

El ser humano siempre ha tratado de medir las variables que influyen en su entorno, el tiempo y la temperatura son las dos variables que más se miden, hoy en día todo el mundo puede llevar un reloj en la muñeca con el cual puede medir el tiempo y el termómetro es un instrumento de fácil acceso, en definitiva, la temperatura es una variable fundamental, controlarla y conocerla dará infinitas ventajas.

---

<sup>20</sup> **Fuente:** - *Guía de la termografía infrarroja Aplicaciones en ahorro y eficiencia energética, fenercom, 2011.*

- <http://www.fluke.com/fluke/eses/soluciones/camaras-termograficas/Termografia-en-diagnostico-de-edificios.htm>

- *Manual de uso cámara termografica fluke ti 125*

Para conocer la temperatura al instante de varias zonas será necesario utilizar el ensayo termografico, este es un ensayo no destructivo, la termografía es una técnica que permite calcular y determinar temperaturas a distancia, con exactitud y sin necesidad de contacto físico con el objeto a estudiar. La termografía permite captar la radiación infrarroja del espectro electromagnético, utilizando cámaras termograficas o termovisión.

En la termografía, cada pixel corresponde con un valor de medición de la radiación con un valor de temperatura.



*Ilustración 6 Maquina Fluke ti-125  
Fuente: Elaboración propia.*

#### **2.5.1) Hacer un análisis termografico resultará muy útil por estos motivos:**

- Es una medida **actual**, en tiempo real, es decir, se puede medir mientras se visualiza el objeto en la pantalla de la cámara. Si el objeto cambia, la cámara muestra el cambio inmediatamente, sin inercias ni actualizaciones.
- **No es invasiva**, es decir, se mide sin contacto directo, así nos mantiene alejados del peligro, es un ensayo no destructivo, no hace daño al cuerpo, el termógrafo tan solo observa la radiación saliente del objeto mientras este está en marcha.

- Es **bidimensional**, es decir, se puede medir la temperatura en dos o más puntos de un mismo objeto en el mismo instante, ya se sabe que una imagen dice más que mil palabras y, se van a componer imágenes de temperatura.
  
- Es **multidisciplinar**, las imágenes no solo hablan de temperatura, hablan de patrones térmicos, comportamientos, anomalías, fugas térmicas, etc.

### 2.5.2) Para tomar una imagen térmica óptima se debe saber lo siguiente:

Existen **CUATRO grandes reglas** para capturar una imagen, no se deben olvidar pues nunca se podrá modificar una imagen si se ha cometido un error en alguno de estos puntos:

1. **Encuadre** de la imagen: El fondo se es casi fotógrafo, pero no creativo, es decir, si se quiere medir un objeto, lo presentaremos bien visible y en la posición que dé más información. Acercándose todo lo que se pueda manteniendo una distancia segura
  
2. **Enfoque**: Una imagen desenfocada dará medias erróneas y además, hablará muy mal del termógrafo. Por supuesto se debe tratar de mantener la pantalla en todo momento limpia.
  
3. **Ajuste del rango** de temperatura: se debe fijar el rango de medida que incluya lo que se pretende medir. Si se fija un rango muy ancho, se tendrá menos precisión en la medida. Es como si se quieren medir mili voltios fijando el rango en kilovoltios.
  
4. **Cuidado con las condiciones** meteorológicas: la temperatura exterior, cambiante, y la hora a la que se realiza la inspección termográfica pueden hacer que ésta y sus resultados varíen de un día a otro, por lo que elegir el momento adecuado para hacer el trabajo es un factor a tener en cuenta. Obviamente esto no tiene sentido si la inspección es interior y el ambiente no afecta. Si se olvida alguno de estos puntos, tocará volver al lugar de la inspección a realizar de nuevo el trabajo.

### **2.5.3) Como medir la temperatura con la cámara termográfica.**

Para medir se debe considerar varias variables tales como:

- **El entorno del objeto.**

Durante la inspección, el termógrafo se encontrará en un entorno cambiante que va a influir en la imagen que pueda obtener, incluso en cómo la va a obtener. Como poco, entre el cuerpo que se quiere medir y la cámara, existirán objetos que no estamos interesados en medir, pero de una u otra forma influyen emitiendo una radiación hacia el objeto que se desea analizar.

- **La atmosfera.**

La radiación que llega a la cámara procedente del objetivo, no es el 100% medido, ya que existe una pequeña parte que será absorbida por la atmósfera, además es una variable en función de la cantidad de aire que exista entre el cuerpo y la cámara (la distancia) y las condiciones de la atmósfera (partículas en suspensión).

Se puede y se debe considerar la atmósfera como un cuerpo más que transmitirá la radiación emitida por el cuerpo (la mayor parte) y absorberá una pequeña parte de esa radiación.

**Las componentes que se suelen inspeccionar en el diagnóstico de edificio son:**

- Muros
- Tejados
- Ventanas
- Puertas
- Refrigeración y calefacción
- Aislamiento
- Calefacción de suelo

### **Las razones comunes de las desviaciones de temperatura.**

- Verificación del aislamiento, como aislamiento incorrectamente instalado.
- Inspecciones del tejado; las grietas provocan que el agua entre en el aislamiento.
- Evaluación de la construcción.
- Localización de filtraciones de aire.
- Foco de humedad; daños en el aislamiento y los materiales de construcción.
- Detección de moho.
- Puentes térmicos en las juntas entre los muros.
- Pérdidas de calor debidas a juntas dañadas en ventanas de varios planos.
- Conductos de calor dañados o fugas en líneas de vapor enterradas.

#### **2.5.4) Diagnóstico de edificios mediante el ensayo de termografía infrarroja.**

El procedimiento principal de diagnóstico para determinar el rendimiento térmico de aplicaciones de cerramientos es la termografía por infrarrojos, la termografía por infrarrojos puede utilizarse para identificar las pérdidas de calor, de refrigeración por deficiencias en la construcción, por falta de aislamiento o aislamiento inadecuado y para los focos de humedad. La corrección de estas deficiencias es un requisito importante para aumentar la eficacia de la energía del edificio y la integridad estructural.

Para realizar un adecuado diagnóstico en edificios, se debe considerar los siguientes puntos:

- a) Estudio térmico en edificios o Cerramientos**
- b) Pérdidas de conductividad**
- c) Filtración de aire**

### **a) Estudio térmico en edificios o Cerramientos**

El procedimiento principal de diagnóstico para determinar el rendimiento térmico de aplicaciones de cerramientos es la termografía por infrarrojos, este método se puede utilizar para identificar las pérdidas de calor y de refrigeración por deficiencias en la construcción, por falta de aislamiento o aislamiento inadecuado y por los focos de humedad. La corrección de estas deficiencias es un requisito importante para aumentar la eficacia de la energía del edificio.

La termografía puede identificar variaciones en la temperatura superficial del cerramiento, relacionadas con problemas en la estructura, puentes térmicos, contenido de humedad y filtración de aire.

Dos fuentes principales de pérdidas de calor en los edificios son las conducciones en los muros y las filtraciones de aire. Ambas se pueden identificar desde la superficie del edificio mediante la termografía por infrarrojos. Esto permite realizar una corrección temprana de los fallos antes de que se produzcan daños graves.

### **b) Pérdidas de conductividad**

Entre los problemas identificados como pérdidas de conductividad se encuentran: falta de aislamiento, aislamiento incorrectamente instalado o comprimido, contracción o asentamiento de diferentes materiales de aislamiento, puente térmico excesivo entre los muros y las placas superior e inferior, daños por humedad en el aislamiento y los materiales de construcción, pérdidas de calor a través de las ventanas de varios paneles con una junta rota, fugas en tuberías de agua, conductos de calor dañados, localización o fugas en líneas de vapor enterradas, líneas de agua o sistemas o sistemas de rociadores subterráneos, etc.

### **c) Filtración de aire**

La filtración de aire es el paso de aire a través de un cerramiento, un muro, una ventana, una junta, etc. La filtración hacia el interior se conoce como infiltración y la filtración hacia el exterior como ex filtración.

El movimiento excesivo del aire reduce de manera significativa la integridad térmica y el rendimiento del cerramiento, por lo tanto, esto conlleva a una de las principales causas del consumo de energía de un edificio.

La pérdida de energía debida a la filtración excesiva de aire puede provocar la formación de condensación sobre los muros y dentro de ellos, esto puede dar lugar a diferentes problemas, tales como la reducción del valor de aislamiento, daños permanentes en el aislamiento y una importante degradación de los materiales, además puede pudrir la madera, oxidar los metales, manchar las superficies de ladrillo u hormigón y en casos extremos, puede provocar el desconchado del hormigón, la separación de los ladrillos, el desmenuzamiento del mortero y la caída de secciones del muro, poniendo en peligro la seguridad de los ocupantes. También puede oxidar el acero estructural, los refuerzos de acero para hormigón, y las perchas y pernos metálicos, lo que da lugar a problemas muy graves de seguridad y mantenimiento. La acumulación de humedad en los materiales de construcción puede provocar una formación de moho tal que precise una solución de gran alcance.

Prácticamente en cualquier lugar del cerramiento donde exista una junta, unión o apertura, puede producirse filtración de aire. Gracias a las cámaras termográficas por infrarrojos, se pueden identificar las irregularidades térmicas del cerramiento y el patrón térmico para determinar si éste indica un problema con el aislamiento, la filtración de aire o la estructura del edificio.

### **Capítulo 3: Desarrollo y cálculos.**

El inmueble a estudiar está ubicado en Alonso de Ribera 2850, Concepción, Región del Bío Bío, este inmueble corresponde a la facultad de ingeniería de la Universidad Católica de la Santísima Concepción, las medidas expuestas en este proyecto son reales, por último, la orientación de la Facultad de Ingeniería está descrita en la siguiente figura.

Para efectos de cálculos, se considerará la facultad como 2 edificios aledaños, uno correspondiente al edificio de salas y otro al edificio de oficinas de profesores.

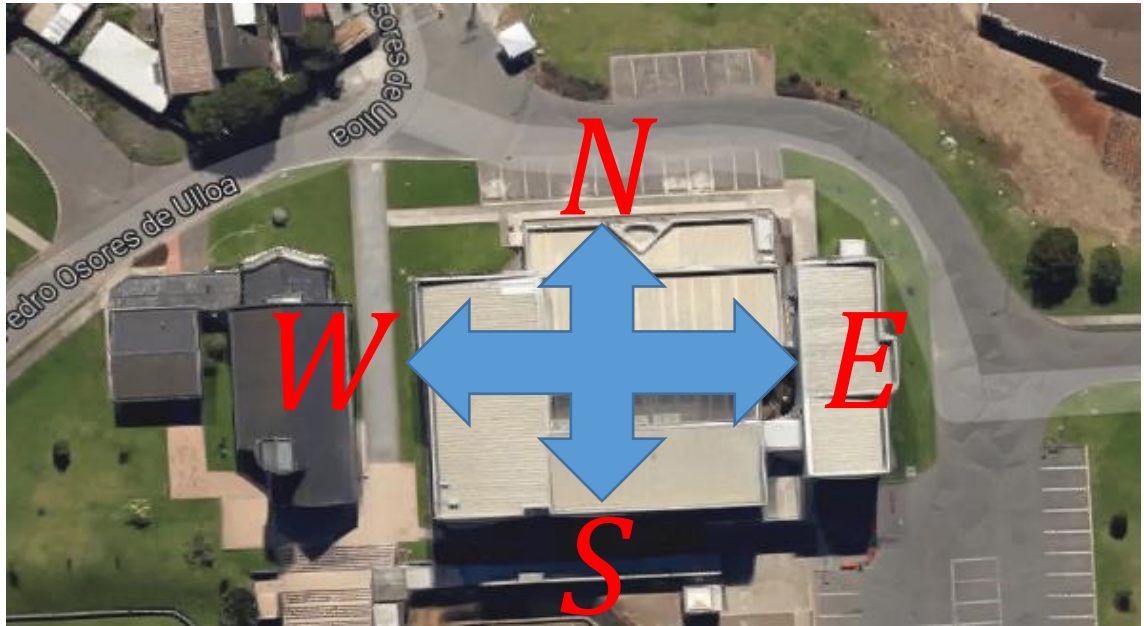


Ilustración 7: Orientación de la facultad de ingeniería.  
Fuente: Elaboración propia.

### **Demanda térmica de calefacción <sup>21</sup>**

$$Q_{\text{Total}} = Q_i (+/-) Q_c (+/-) Q_v (+) Q_s$$

Donde:

- $Q_i$  = Balance térmico de ganancias internas por carga de ocupación.
- $Q_c$  = Balance térmico de los elementos de la envolvente.
- $Q_v$  = Balance térmico de ventilación.
- $Q_s$  = Balance térmico de ganancias solares.

---

<sup>21</sup> Valores de  $Q_i$ ,  $Q_c$ ,  $Q_v$ ,  $Q_s$ , para mayor detalle de los valores entregados, ver capítulo de cargas térmicas, en este se muestran cálculos más desglosados.

**a) Balance térmico de ganancias internas por carga de ocupación (Qi).**

- La carga sensible para el edificio de salas es de 64,959 KWatt y la carga sensible para el edificio de oficinas de profesor es de 15,293 KWatt.
- La carga latente para el edificio de salas es de 29,568 KWatt y la carga latente para el edificio de oficinas de profesor es de 2,431 KWatt.

De esta forma la carga de ocupación interna del edificio salas es de 94,527 KWatt y del edificio oficinas profesor es de 17,724 KWatt.

**b) Balance térmico de los elementos de la envolvente (Qc).**

La carga para los elementos de la envolvente térmica transmitida a través de paredes y techo para el edificio de salas es de -41,209 KWatt y para el edificio oficinas de profesores es de -18,90 KWatt.

**c) Balance térmico de ventilación (Qv)**

La carga sensible transmitida por infiltraciones de aire exterior para el edificio de salas es de -483,463 KWatt y para el edificio de oficinas de profesores es de -59,208 KWatt.

**d) Balance térmico de ganancias solares (Qs).**

La carga solar directa más la carga solar indirecta para el edificio de salas es de 41,07 KWatt y para el edificio de oficinas de profesores es de 17,52 KWatt.

*Para mayor detalle de los valores entregados anteriormente, ver capítulo de cargas térmicas, en este se muestran cálculos más desglosados.*

En la siguiente tabla 10, se resume las cargas térmicas por sector.

<b>Cargas térmicas por edificio (KWatt)</b>			
<b>Tipo de cargas</b>	<b>Salas</b>	<b>Of. Prof.</b>	<b>Σ Cargas tipo</b>
<b>Qi (Carga interna)</b>	94,527	17,724	112,251
<b>Qc (Carga envolvente)</b>	-41,209	-18,9	-60,109
<b>Qv (Carga ventilación)</b>	-312,562	-43,076	-355,638
<b>Qs (Carga solar)</b>	41,07	17,52	58,59
<b>Σ Cargas edificio</b>	-218,174	-26,732	-244,906

*Tabla 10: Resumen cargas térmicas.*

### 3.2) Desarrollo de Cálculo de carga térmica

Las cargas térmicas se componen tanto de cargas térmicas sensibles como latentes.

**3.2.1)** Las cargas térmicas sensibles ( $Q_{sensible}$ ) son:

$$Q_{sensible} = Q_s + Q_{str} + Q_{st} + Q_{si} + Q_{sai}$$

Donde:

$Q_s$  = El balance térmico de ganancias solares.

$Q_{str}$  = Carga sensible por transmisión y radiación a través de paredes y techos exteriores.

$Q_{st}$  = Carga sensible por transmisión a través de paredes, techos, suelos y puertas interiores.

$Q_{si}$  = Carga sensible transmitida por infiltraciones de aire exterior.

$Q_{sai}$  = Carga sensible debida a aportaciones internas.

**a) El balance térmico de ganancias solares (Qs).**

*a.1) Ganancias solares directas.*

$$Q_s = A \times G \times \theta$$

Donde:

A = Área de ventanas.

G = Radiación solar incidente.

$\theta$  = Coeficiente de ganancia solar.

*a.1.1) Áreas de ventanas (A).*

<b>Áreas ventanas edificio salas (m2)</b>			
<b>Orientación</b>	<b>Piso 1</b>	<b>Piso 2</b>	<b>Piso 3</b>
<b>Oeste</b>	35,94	38,13	36,28
<b>Norte</b>	47,35	78,42	29,72
<b>Este</b>	0,00	0,00	0,00
<b>Sur</b>	72,81	37,55	37,55

*Tabla 11: Áreas ventanas edificio salas.*

<b>Áreas ventanas edificio of. Prof. (m2)</b>					
<b>Orientación</b>	<b>Piso 1</b>	<b>Piso 2</b>	<b>Piso 3</b>	<b>Piso 4 horm.</b>	<b>Piso 4 metalcon.</b>
<b>Oeste</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Norte</b>	7,79	7,79	6,22	6,22	0,00
<b>Este</b>	21,51	21,51	21,51	18,34	0,00
<b>Sur</b>	1,17	1,17	1,17	0,00	1,17

*Tabla 12: Áreas ventanas edificio oficinas de profesores.*

*a.1.2) La radiación solar incidente (G).*

De acuerdo a los valores de coordenadas correspondientes a la facultad de ingeniería, se procede ingresar dichos valores a la página <http://walker.dgf.uchile.cl/Explorador/Solar3/>, donde nos proporcionará la radiación solar incidente de la facultad de ingeniería de la UCSC, esta página tiene una resolución espacial de 90 metros.

<b>Mes</b>	<b>Promedio mensual de radiación solar. (Watt/m<sup>2</sup>)</b>
<b>Enero</b>	371,500
<b>Febrero</b>	320,053
<b>Marzo</b>	294,722
<b>Abril</b>	221,135
<b>Mayo</b>	154,570
<b>Junio</b>	133,103
<b>Julio</b>	135,593
<b>Agosto</b>	162,686
<b>Septiembre</b>	230,679
<b>Octubre</b>	272,930
<b>Noviembre</b>	339,422
<b>Diciembre</b>	364,515

*Tabla 13: Radiación para la facultad de ingeniería de la UCSC.*

Para el cálculo de la radiación solar incidente, se utiliza el promedio de los meses más bajos de la radiación global, además estos meses de menor radiación solar coincide con los meses donde se utiliza la calefacción (promedio entre los meses desde abril hasta septiembre).

De esta forma el promedio de la radiación solar incidente es 173 (**Watt/m<sup>2</sup>**).

*a.1.3) Coeficiente de ganancias solares ( $\theta$ ).*

La siguiente tabla muestra los coeficientes unidimensionales de distintos tipos de vidrio, según la S.H.G.C. (Solar Heat Gain Coefficient).

Ventana con vidrio	Características
	SHGC
Simple Claro	0,86
Simple bronce/gris	0,73
Doble claro	0,76
Doble bronce/gris	0,62
Doble alta tecnología Low E	0,48
Doble alta ganancia solar Low E	0,71
Doble moderada ganancia solar Low E	0,53
Doble baja ganancia solar Low E	0,39
Triple moderada ganancia solar Low E	0,5
Triple ganancia solar Low E	0,33

*Tabla 14: Caracterización coeficiente de ganancia solar para distintos tipos de ventanas con vidrios.*

Fuente: [www.efficientwindows.org/glazing\\_double.html](http://www.efficientwindows.org/glazing_double.html)

De la tabla 14, se obtiene el coeficiente de ganancias solares, en este caso los vidrios de la facultad de ingeniería están compuesto por un vidrio monolítico simple bronce/gris, cuyo valor corresponde a 0,73.

De esta forma el balance térmico para cargas solares por método independiente queda de la siguiente forma:

<b>Ganancia solar directa en salas (KW)</b>			
<b>Orientación</b>	<b>Piso 1</b>	<b>Piso 2</b>	<b>Piso 3</b>
<b>Oeste</b>	4,54	4,81	4,58
<b>Norte</b>	5,98	9,90	3,75
<b>Este</b>	0,00	0,00	0,00
<b>Sur</b>	9,19	4,74	4,74

*Tabla 15: Resumen de la ganancia solar directa en salas.*

<b>Ganancia solar directa para el edificio of. Prof. (KW)</b>					
<b>Orientación</b>	<b>Piso 1</b>	<b>Piso 2</b>	<b>Piso 3</b>	<b>Piso 4 horm.</b>	<b>Piso 4 metalcom.</b>
<b>Oeste</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Norte</b>	0,98	0,98	0,79	0,79	0,00
<b>Este</b>	2,72	2,72	2,72	2,32	0,00
<b>Sur</b>	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15

*Tabla 16: Resumen de la ganancia solar directa en oficinas de profesores.*

*a.1.2) Ganancias solares indirectas.*

$$Q_s \text{ Indirectas} = U \times A_o \times (G \times \alpha \times R_{so})$$

Dónde:

$Q_s$  = Ganancia solar directa total en Watts (W).

$U$  = Transmitancia térmica del elemento.

$G$  = Radiación solar total incidente (W/m<sup>2</sup>).

$A_o$  = Área del componente opaco en (m<sup>2</sup>).

$\alpha$  = Absortancia de la superficie (0-1).

$R_{so}$  = Resistencia de la película exterior de aire.

**a.2.1) Transmitancia térmica del elemento (U).**<sup>22</sup>

- Para muros de hormigón armado la transmitancia térmica del elemento es  $3,22 \left[ \frac{W}{m^2K} \right]$
- Para muros de metalcon la transmitancia térmica del elemento es  $0,56 \left[ \frac{W}{m^2K} \right]$

**a.2.2) La radiación solar incidente (G).**<sup>23</sup>

- La radiación solar incidente es 173 (Watt/m<sup>2</sup>).

**a.2.3) Área del componente opaco (A<sub>o</sub>).**

Áreas muro opaco edificio salas (m <sup>2</sup> )			
Orientación	Piso 1	Piso 2	Piso 3
Oeste	94,50	62,61	64,46
Norte	173,26	58,02	37,12
Este	0,00	0,00	0,00
Sur	69,30	90,27	90,27

Tabla 17: Resumen áreas muro opaco edificio salas.

Áreas muro opaco edificio of. Prof. (m <sup>2</sup> )					
Orientación	Piso 1	Piso 2	Piso 3	Piso 4 horm.	Piso 4 metalcon
Oeste	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Norte	23,32	10,45	24,89	43,89	0,00
Este	44,09	44,09	44,09	66,66	39,02
Sur	19,06	19,06	19,06	0,00	19,06

Tabla 18: Resumen áreas muro opaco edificio oficinas profesores.

<sup>22</sup> El cálculo de estos valores se detalla en el punto de cargas sensibles por transmisión y radiación a través de paredes y techos exteriores ( $Q_{str}$ ).

<sup>23</sup> El cálculo de estos valores se detalla en el capítulo de balance térmico de ganancias solares directas.

**a.2.4) Absortancia de la superficie ( $\alpha$ ).**

De la tabla 3, el valor de absortancia es 0,5.

**a.2.5) Resistencia de la película exterior de aire (RSO).**

La resistencia de la película exterior de aire fresco es de  $0,055 \left[ m^2 \times \frac{K}{W} \right]$

De esta forma el balance térmico para cargas solares indirecta por método independiente queda de la siguiente forma:

<b>Ganancia solar indirecta en salas (KW)</b>			
<b>Orientación</b>	<b>Piso 1</b>	<b>Piso 2</b>	<b>Piso 3</b>
<b>Oeste</b>	1,45	0,96	0,99
<b>Norte</b>	2,65	0,89	0,57
<b>Este</b>	0,00	0,00	0,00
<b>Sur</b>	1,06	1,38	1,38

*Tabla 19: Resumen de la ganancia solar indirecta en salas.*

<b>Ganancia solar indirecta para el edificio of. Prof. (KW)</b>					
<b>Orientación</b>	<b>Piso 1</b>	<b>Piso 2</b>	<b>Piso 3</b>	<b>Piso 4 horm.</b>	<b>Piso 4 metalcon</b>
<b>Oeste</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Norte</b>	0,36	0,16	0,38	0,67	0,00
<b>Este</b>	0,68	0,68	0,68	1,02	0,60
<b>Sur</b>	0,29	0,29	0,29	0,00	0,29

*Tabla 20: Resumen de la ganancia solar indirecta en of. Prof.*

En las siguientes tablas, se muestra en detalle la ganancia solar tanto directa como indirecta de forma mensual, para el edificio de salas y edificio oficinas de profesores.

Mes	Promedio mensual de radiación (watt/m2)	Qs directa (Kwatt)	Qs indirecta (Kwatt)	Qs total (Kwatt)
<b>Enero</b>	0,371	72,09	16,12	88,21
<b>Febrero</b>	0,320	62,11	13,89	76,00
<b>Marzo</b>	0,295	57,19	12,79	69,98
<b>Abril</b>	0,221	42,91	9,59	52,51
<b>Mayo</b>	0,155	30,00	6,71	36,70
<b>Junio</b>	0,133	25,83	5,77	31,60
<b>Julio</b>	0,136	26,31	5,88	32,20
<b>Agosto</b>	0,163	31,57	7,06	38,63
<b>Septiembre</b>	0,231	44,77	10,01	54,77
<b>Octubre</b>	0,273	52,96	11,84	64,81
<b>Noviembre</b>	0,339	65,87	14,73	80,59
<b>Diciembre</b>	0,365	70,74	15,82	86,55

Tabla 21: Carga solar total total para el edificio salas.

Mes	Promedio mensual de radiación (watt/m2)	Qs directa (Kwatt)	Qs indirecta (Kwatt)	Qs total (Kwatt)
<b>Enero</b>	0,371	31,330	12,13	43,46
<b>Febrero</b>	0,320	26,992	10,45	37,44
<b>Marzo</b>	0,295	24,855	9,62	34,48
<b>Abril</b>	0,221	18,649	7,22	25,87
<b>Mayo</b>	0,155	13,036	5,05	18,08
<b>Junio</b>	0,133	11,225	4,35	15,57
<b>Julio</b>	0,136	11,435	4,43	15,86
<b>Agosto</b>	0,163	13,720	5,31	19,03
<b>Septiembre</b>	0,231	19,454	7,53	26,99
<b>Octubre</b>	0,273	23,017	8,91	31,93
<b>Noviembre</b>	0,339	28,625	11,08	39,71
<b>Diciembre</b>	0,365	30,741	11,90	42,64

Tabla 22: Carga solar total total para el edificio oficinas de profesores.

De esta forma, la carga solar total, será el promedio entre los meses de abril y septiembre, ya que estos meses son los meses de estudio, por ende, la carga solar directa más la carga solar indirecta para el edificio de salas es de 41,07 KWatt y para el edificio de oficinas de profesores es de 17,52 KWatt.

**b) Carga sensible por transmisión de paredes y techos exteriores ( $Q_{str}$ ).**

$$Q_{str} = U \times S \times (T_{ec} - T_i)$$

Donde:

$Q_{str}$  = Carga por transmisión a por paredes y techos exteriores (W).

U = Transmitancia térmica, expresado (W/m<sup>2</sup>×K).

S = Superficie del muro expuesta a la diferencia de temperaturas (m<sup>2</sup>).

T<sub>i</sub> = Temperatura interior de diseño (K).

T<sub>ec</sub> = Temperatura exterior de cálculo al otro lado (K).

**b.1) Transmitancia térmica de los elementos muro (U).**

**b.1.1) Muro de hormigón armado con estuco.**

Se necesita saber valores tales como conductividad térmica del hormigón y del estuco corriente, con un supuesto de 0,025 metros de espaciamiento para el estuco, estos valores se obtienen de la tabla A.1 de la NCh 853 of. 2007.

$$Rt = \frac{1}{U} = R_{si} + \sum e/\lambda + R_{se}$$

Los valores de R<sub>si</sub>, R<sub>se</sub>, son obtenidos de la tabla N°2 de NCH 853 Of. 2007 (Ver tabla 4), de acuerdo a la posición vertical del muro, este presenta un flujo horizontal, cuya separación con espacio exterior o local abierto le entregan la siguiente caracterización: R<sub>si</sub>=0,12 y R<sub>se</sub>=0,05.

$$R_T = \frac{1}{U_T} = R_{si} + \frac{e_{hormigon\ armado}}{\lambda_{hormigon\ armado}} + \frac{e_{estuco}}{\lambda_{estuco}} + R_{se}$$

$$R_T = \frac{1}{U_T} = 0,12 + \frac{0,2}{1,63} + \frac{0,025}{1,4} + 0,05$$

$$R_T = 0,31 \left[ m^2 \times \frac{K}{W} \right]$$

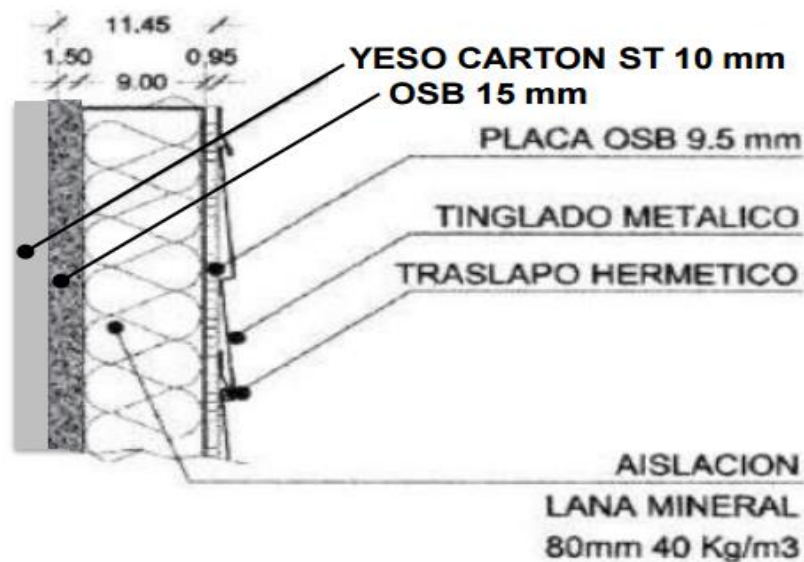
$$U_T = \frac{1}{R_T} = 3,225 \left[ \frac{W}{m^2 K} \right]$$

### b.1.2) Transmitancia muro metalcon.

Una parte del cuarto piso de oficinas de profesores está construida con este material, tal como se muestra en la siguiente ilustración.

Por falta de información, se va a suponer las especificaciones técnicas (ver ilustración 8):

- Estructura metálica liviana, cuyo ancho es de 90mm.
- Revestimiento interior: Barrera de vapor + 15 mm OSB + 10 mm yeso- cartón ST.
- Revestimiento exterior: OSB 9,5 mm + membrana hidrófuga + tinglado metálico.
- Aislación térmica: 80 mm de lana mineral, densidad  $40 \frac{Kg}{m^3}$ .



*Ilustración 8: Tabique con estructura metálica de metalcon.  
Fuente: Apuntes Jornada de Acreditación, Sistema de calificación energética de viviendas, MINVU.*

Puesto que es un muro de tabiquería metálica con heterogeneidades complejas, este se debe considerar un 10% como materiales metálicos.

Otra opción también válida, es un cálculo simplificado, este usa el valor de la resistencia térmica de una solución constructiva del listado oficial que es muy similar a la solución especificada, para luego sumar y restar las capas correspondientes.

El listado oficial de soluciones constructivas para acondicionamiento térmico del Ministerio de vivienda y urbanismo, es un manual en el cual aparecen soluciones ya estudiadas, en este caso la transmitancia térmica del tabique especificado anteriormente, utiliza como base la resistencia térmica de la solución constructiva código 1.2.M.C11.2 (Tabique montantes metálicos con yeso cartón, aislante, fibrocemento y Siding Metálico Villalba 11,45 cm) y restando el yeso cartón de 15mm, sumando el yeso cartón de 10 mm y el OSB de 15mm, se tiene el tabique con especificaciones técnicas del cuarto nivel de oficinas de profesores.

De acuerdo al listado oficial de soluciones constructivas para acondicionamiento térmico del MINVU, <sup>24</sup> la resistencia térmica es de  $1,75 \left[ m^2 \times \frac{K}{W} \right]$ .

$$R_{\text{tabique esp.}} = R_{si} + R_{\text{yeso } 10} + R_{OSB \ 15} + R_{\text{tabique met.}} + R_{OSB \ 9,5} + R_{\text{tinglado}} + R_{se}$$

$$R_{\text{Cod. 1.2.M.C11.2}} = R_{si} + R_{\text{yeso } 15} + R_{\text{tabique met.}} + R_{OSB \ 9,5} + R_{\text{tinglado}} + R_{se}$$

$$R_{\text{tabique esp.}} = R_{\text{Cod. 1.2.M.C11.2}} - R_{\text{yeso } 15} + R_{\text{yeso } 10} + R_{OSB \ 15}$$

$$R_{\text{tabique esp.}} = R_{\text{Cod.1.2.M.c11.2}} - \frac{e_{\text{yeso}15}}{\lambda_{\text{yeso}15}} + \frac{e_{\text{yeso}10}}{\lambda_{\text{yeso}10}} + \frac{e_{OSB15}}{\lambda_{OSB15}}$$

$$R_{\text{tabique esp.}} = \left( 1,75 - \frac{0,015}{0,31} + \frac{0,01}{0,31} + \frac{0,015}{0,28} \right) \left[ m^2 \times \frac{K}{W} \right]$$

$$R_{\text{tabique esp.}} = 1,788 \left[ m^2 \times \frac{K}{W} \right].$$

---

<sup>24</sup> FUENTE: El listado oficial de soluciones constructivas para acondicionamiento térmico del Ministerio de vivienda y urbanismo, Edición N°11, marzo 2014

Los valores de conductividad térmica de los materiales tanto de yeso como de OSB son obtenidos desde la NCh 853 of. 2007. Por lo tanto, el cálculo de la transmitancia térmica del tabique especificado es:

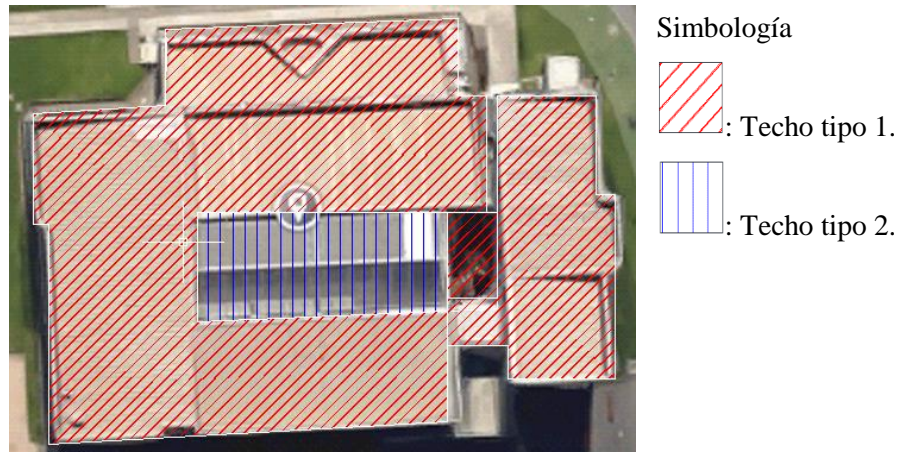
$$U_{\text{tabique esp.}} = \frac{1}{R_{\text{tabique esp.}}} = \frac{1}{1,788} \left[ \frac{W}{m^2K} \right]$$

$$U_{\text{tabique esp.}} = 0,56 \left[ \frac{W}{m^2K} \right]$$

*b.2) Transmitancia térmica de los elementos techo (U).*

Para el techo del edificio San Agustín o facultad de ingeniería, este contempla 2 tipos de techos (Ver ilustración 9):

- Techo tipo 1: Este contempla las salas y oficinas de profesores.
- Techo tipo 2: Este solo contempla el hall de la facultad de ingeniería.



*Ilustración 9: Tipos de techos de la facultad de ingeniería.  
Fuente: Elaboración propia.*

Puesto que no se tienen detalles del techo, por inspección visual se analizará que tipo de techo es y como suposición se analizará la transmitancia de dicho techo.

Para el techo tipo 1, se logró tomar una imagen de su estado real por fuera (ver ilustración 10), este tipo de techo posee un conjunto de cerchas y aislación de tipo lana de vidrio, tal como se resume en la ilustración 11.



*Ilustración 10: Estado real del exterior del techo tipo 1.  
Fuente : Elaboracion propia*



*Ilustración 11: Estructura de la cercha tipo 1.  
Fuente: Apuntes Jornada de Acreditación, Sistema de calificación energética de viviendas, MINVU.*

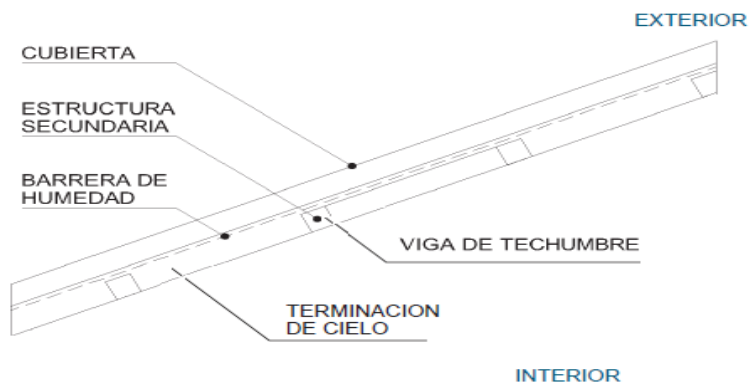
Para el techo tipo 2, se logró tomar imágenes de su estado real tanto por fuera como por dentro (ver ilustraciones 12 y 13), este tipo de techo posee un conjunto de vigas a la vista, con una plancha de terminación del cielo, tal como se resume en la ilustración 14.



*Ilustración 12: Estado real del exterior del techo tipo 2.  
Fuente : Elaboracion propia*



*Ilustración 13: Estado real al interior del techo tipo 2.  
Fuente : Elaboracion propia.*



*Ilustración 14: Estructura del techo tipo 2.  
Fuente : Elaboracion propia*

a) El techo tipo 1, está compuesto por:

- Lana mineral de 50 Kg/m<sup>3</sup> con 150mm.
- Tabla inferior de la cercha 1'' x 5'', a distancia 90 cm.
- Listón de cielorraso 2'' x 2''.
- Terciado ranurado de 7 mm.

Para el cálculo de transmitancia del techo 1, se debe determinar la transmitancia por la madera y la transmitancia del aislante.

Calculo de la transmitancia de la madera:

$$R_T = \frac{1}{U} = R_{si} + \sum \frac{e}{\lambda} + R_{se}$$

$$R_{Madera} = \frac{1}{U} = R_{si} + \frac{e_{madera}}{\lambda_{madera}} + \frac{e_{terciado}}{\lambda_{terciado}} + R_{se}$$

$R_{si}$  y  $R_{se}$ , estos valores corresponden a la tabla 2 de la NCH853 of 2007 (Ver tabla 4), en este caso corresponde a un elemento de flujo ascendente en elementos horizontales o con pendiente menor o igual que 60° respecto a la horizontal, además cuya situación del elemento es de separación con otro local, desván o cámara de aire.

Para este caso  $R_{si}$  y  $R_{se}$ , ambos tienen valor de 0,10.

Para la madera de pino insigne, el espaciamiento es de 0,125 m y su conductividad térmica es de 0,104 W/ (m×K).

Para la madera de tablero aglomerado de partículas o madera terciado, el espaciamiento es de 0,007 m y su conductividad térmica es de 0,28 W/ (m×K).

Los valores de la conductividad térmica fueron obtenidos de la tabla A.1 de la NCH853 of. 2007.

De esta forma, el cálculo de transmitancia térmica para la madera queda expresado de la siguiente forma:

$$R_{Madera} = \frac{1}{U} = \left(0,1 + \frac{0,125}{0,104} + \frac{0,007}{0,28} + 0,1\right) \left[m^2 \times \frac{K}{W}\right]$$

$$R_{Madera} = 1,427 \left[m^2 \times \frac{K}{W}\right]$$

$$U_{Madera} = \frac{1}{R_{Madera}} = \frac{1}{1,427 \left[m^2 \times \frac{K}{W}\right]} = 0,701 \left[\frac{W}{m^2 K}\right]$$

Calculo de la transmitancia del aislante:

$$R_T = \frac{1}{U} = R_{si} + \sum \frac{e}{\lambda} + R_{se}$$

$$R_{aislante} = \frac{1}{U} = R_{si} + \frac{e_{aislante}}{\lambda_{aislante}} + \frac{e_{terciado}}{\lambda_{terciado}} + R_{se}$$

$R_{si}$  y  $R_{se}$ , estos valores corresponden a la tabla 2 de la NCH853 of 2007 (Ver tabla 4), en este caso corresponde a un elemento de flujo ascendente en elementos horizontales o con pendiente menor o igual que  $60^\circ$  respecto a la horizontal, además cuya situación del elemento es de separación con otro local, desván o cámara de aire. Para este caso  $R_{si}$  y  $R_{se}$ , ambos tienen valor de 0,10.

Para la lana mineral de vidrio o aislante, el espaciamiento es de 0,15 m y su conductividad térmica es de 0,041 W/(m × K).

Para la madera de tablero aglomerado de partículas o madera terciado, el espaciamiento es de 0,007 m y su conductividad térmica es de 0,28 W/(m × K).

Los valores de la conductividad térmica fueron obtenidos de la tabla A.1 de la NCH853 of. 2007.

De esta forma, el cálculo de transmitancia térmica del aislante queda expresado de la siguiente forma:

$$R_{aislante} = \frac{1}{U} = \left(0,1 + \frac{0,125}{0,041} + \frac{0,007}{0,28} + 0,1\right) \left[m^2 \times \frac{K}{W}\right]$$

$$R_{aislante} = 3,884 \left[m^2 \times \frac{K}{W}\right]$$

$$U_{aislante} = \frac{1}{R_{aislante}} = \frac{1}{3,884 \left[ \frac{m^2 \times K}{W} \right]} = 0,26 \left[ \frac{W}{m^2 K} \right]$$

Una vez obtenidos los valores de la transmitancia térmica de la madera y del aislante, se debe determinar la transmitancia térmica total ponderada, para esto, se debe calcular mediante la siguiente expresión:

Transmitancia térmica total ponderada:

$$\bar{U} = \frac{1}{R_T} = \frac{\sum U_i \times A_i}{\sum A_i}$$

Porcentaje de la superficie cubierta con cercha

$$\begin{aligned} &= \frac{\text{Ancho de la cercha}}{\text{Distancia de las cerchas al eje}} \times 100\% \\ &= \frac{25 \text{ mm}}{900 \text{ mm}} \times 100\% = 2,77\% \end{aligned}$$

Porcentaje de la superficie cubierta con aislante.

$$\begin{aligned} &= 100\% - \% \text{ de la superficie cubierta con cercha.} \\ &= 100\% - 2,77\% = 97,23\% \end{aligned}$$

De esta forma el calculo de la transmitancia termica total ponderada queda de la siguiente manera:

$$\bar{U} = \frac{1}{R_T} = \frac{U_{Madera} \times 2,77\% + U_{Aislante} \times 97,23\%}{100\%}$$

$$\bar{U} = \frac{1}{R_T} = \frac{0,701 \times 2,77\% + 0,26 \times 97,23\%}{100\%}$$

$$\bar{U} = 0,272 \left[ \frac{W}{m^2 K} \right]$$

b) El techo tipo 2, está compuesto por:

- Vigas de maderas de 1'' x 5''.
- Terminación del cielo, placa aglomerada.

Para el cálculo de transmitancia del techo 2, se debe determinar la transmitancia por la madera.

Calculo de la transmitancia de la madera:

$$R_T = \frac{1}{U} = R_{si} + \sum \frac{e}{\lambda} + R_{se}$$

$$R_{Madera} = \frac{1}{U} = R_{si} + \frac{e_{madera}}{\lambda_{madera}} + \frac{e_{Placa\ aglomerada}}{\lambda_{Placa\ aglomerada}} + R_{se}$$

$R_{si}$  y  $R_{se}$ , estos valores corresponden a la tabla 2 de la NCH853 of 2007 (Ver tabla 4), en este caso corresponde a un elemento de flujo ascendente en elementos horizontales o con pendiente menor o igual que 60° respecto a la horizontal, además cuya situación del elemento es de separación con otro local, desván o cámara de aire. Para este caso  $R_{si}$  y  $R_{se}$ , ambos tienen valor de 0,10.

Para la madera de pino insigne, el espaciamiento es de 0,125 m y su conductividad térmica es de 0,104 W/ (m × K).

Para la madera de tablero aglomerado de partículas, el espaciamiento es de 0,018 m y su conductividad térmica es de 0,103 W/ (m × K).

Los valores de la conductividad térmica fueron obtenidos de la tabla A.1 de la NCH853 of. 2007.

De esta forma, el cálculo de transmitancia térmica para la madera queda expresada de la siguiente forma:

$$R_{Madera} = \frac{1}{U} = \left( 0,1 + \frac{0,125}{0,104} + \frac{0,018}{0,103} + 0,1 \right) \left[ m^2 \times \frac{K}{W} \right]$$

$$R_{Madera} = 1,576 \left[ m^2 \times \frac{K}{W} \right]$$

$$U_{Madera} = \frac{1}{R_{Madera}} = \frac{1}{1,576 \left[ m^2 \times \frac{K}{W} \right]} = 0,634 \left[ \frac{W}{m^2 K} \right]$$

De esta forma la carga por transmisión a través del techo queda resumida en la siguiente tabla.

<b>Carga por transmisión a través del techo (KW)</b>			
<b>Orientación</b>	<b>Edificio salas (m<sup>2</sup>)</b>		<b>Edif. Of. Prof. (m<sup>2</sup>)</b>
	<b>Techo tipo 1</b>	<b>Techo tipo 2</b>	<b>Techo tipo 1</b>
<b>Área</b>	900,211	189,656	266,367
<b>Qsrt</b>	-3,673	-1,804	-1,087

Tabla 23: Resumen de la carga por transmisión y radiación a través

La carga por transmisión a través de paredes de la facultad de ingeniería queda resumida en las siguientes tablas.

<b>Carga por transmisión a través de paredes, edificio of. Profesores. (KW)</b>					
<b>Orientación</b>	<b>Piso 1</b>	<b>Piso 2</b>	<b>Piso 3</b>	<b>Piso 4 horm</b>	<b>Piso 4 metalcon</b>
<b>Oeste</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Norte</b>	-1,13	-0,50	-1,20	-2,12	0,00
<b>Este</b>	-2,13	-2,13	-2,13	-3,22	-0,33
<b>Sur</b>	-0,92	-0,92	-0,92	0,00	-0,16
<b>∑ orientación</b>	<b>-4,18</b>	<b>-3,55</b>	<b>-4,25</b>	<b>-5,34</b>	<b>-0,49</b>

Tabla 24: Carga por transmisión y radiación a través de paredes en el edificio profesores.

<b>Carga por transmisión a través de paredes edificio salas (KW).</b>			
<b>Orientación</b>	<b>Piso 1</b>	<b>Piso 2</b>	<b>Piso 3</b>
<b>Oeste</b>	-4,56	-3,02	-3,11
<b>Norte</b>	-8,37	-2,80	-1,79
<b>Este</b>	0,00	0,00	0,00
<b>Sur</b>	-3,35	-4,36	-4,36
<b>∑ orientación</b>	<b>-16,28</b>	<b>-10,19</b>	<b>-9,27</b>

*Tabla 25: Carga por transmisión y radiación a través de paredes en las salas.*

En resumen, la carga transmitida a través de paredes y techo queda expresada en las siguientes tablas.

<b>Piso edificio salas</b>	<b>Carga transmisión (Kwatt)</b>
<b>Piso 1</b>	-16,280
<b>Piso 2</b>	-10,187
<b>Piso 3</b>	-9,267
<b>Techo tipo 1</b>	-3,673
<b>Techo tipo 2</b>	-1,804
<b>∑ Carga total</b>	<b>-41,209</b>

*Tabla 26: Resumen de la carga transmitida por muros y techos para el edificio de salas.*

<b>Piso edificio oficinas de profesores</b>	<b>Carga transmisión (Kwatt)</b>
<b>Piso 1</b>	-5,18
<b>Piso 2</b>	-5,55
<b>Piso 3</b>	-5,25
<b>Piso 4 hormigón</b>	-5,34
<b>Piso 4 metalcom</b>	-0,49
<b>Techo tipo 1</b>	-1,087
<b>∑ Carga total</b>	<b>-18,90</b>

*Tabla 27: Resumen de la carga transmitida por muros y techos para el edificio de oficina de profesores.*

**c) Carga transmitida por infiltraciones de aire exterior " $Q_{si}$ "**

Esta dada por la siguiente expresión:

$$Q_{si} = V \times \rho \times C_{e, \text{aire}} \times \Delta t \quad ^{25}$$

Donde:

- $Q_{si}$  = Pérdidas de calor por infiltraciones. (KWatt).
- $V$  = Caudal de aire de ventilación ( $m^3/s$ ).
- $\rho$  = Densidad de aire, valor 1.18 ( $kg/m^3$ ).
- $C_{e, \text{aire}}$  = Calor específico de aire, valor 1012 ( $J/kg \text{ } ^\circ C$ ).
- $T_i$  = Temperatura interior de confort ( $^\circ C$ ).
- $T_e$  = Temperatura exterior de diseño ( $^\circ C$ ).

---

<sup>25</sup> Coeficientes  $\rho$ ,  $C_{e, \text{aire}}$ , obtenidos de "Calefacción, ventilación y aire acondicionado"; McQuiston, Faye C. (2003).

**c.1) Caudal de aire de ventilación (V).**

El caudal de ventilación es el área por el cual entra aire exterior y este está multiplicado por la velocidad del viento, la velocidad del viento según el manual de hermeticidad del MINVU, es de 6,7 m/s, pero para este proyecto, el viento actúa justo en el vértice de Sur Oeste, de esta forma la velocidad del viento queda expresada en componentes de 45°.

De esta forma el área de infiltración queda resumida en la siguiente tabla.

Salas	Área de infiltración (m <sup>2</sup> )			
	Sur	Oeste	Norte	Este
<b>Piso 1</b>	4,501	0,101	0,108	0
<b>Piso 2</b>	0,058	0,103	0,191	0
<b>Piso 3</b>	0,094	0,069	0,036	0

*Tabla 28: Área infiltración aire por puerta y ventana, para el edificio salas (m<sup>2</sup>).*

Of. Prof.	Área de infiltración (m <sup>2</sup> )			
	Sur	Oeste	Norte	Este
<b>Piso 1</b>	0	0	0,036	0,119
<b>Piso 2</b>	0	0	0,072	0,119
<b>Piso 3</b>	0	0	0,036	0,119
<b>Piso 4</b>	0	0	0,036	0,119

*Tabla 29: Área infiltración aire por puerta y ventana, para el edificio oficinas de profesores (m<sup>2</sup>).*

Caudal aire exterior (m <sup>3</sup> /s)					
Salas	Sur	Oeste	Norte	Este	Total
Piso 1	21,322	0,479	0,512	0	22,31
Piso 2	0,274	0,490	0,907	0	1,67
Piso 3	0,445	0,328	0,171	0	0,94

Tabla 30: Caudal de infiltración aire por puerta y ventana, para el edificio salas.

Caudal aire exterior (m <sup>3</sup> /s)					
Of. Prof.	Sur	Oeste	Norte	Este	Total
Piso 1	0	0	0,172	0,565	0,74
Piso 2	0	0	0,343	0,565	0,91
Piso 3	0	0	0,172	0,565	0,74
Piso 4	0	0	0,172	0,565	0,74

Tabla 31: Caudal de infiltración aire por puerta y ventana, para el edificio oficinas profesores.

De esta forma el caudal de infiltración de aire exterior para el edificio de salas es de 24,93 m<sup>3</sup>/s y para el edificio de oficinas profesor es de 3,12 m<sup>3</sup>/s.

Para efectos de cálculos se consideró que el caudal será 75% de al menos una ventana abierta por salas u oficinas.

*c.2) Temperatura interior de diseño (Ti).*

La temperatura interior de diseño se va a considerar de 19°C.

*c.3) Temperatura exterior de cálculo al otro lado (T<sub>ec</sub>).*

La temperatura exterior está dada por la norma NCH1079 c73, donde la temperatura exterior para la ciudad de Concepción es de 5°C.

De esta forma, en la siguiente tabla se expone la carga de ventilación determinados con el nuevo caudal.

Salas	Caudal nuevo (m <sup>3</sup> /s)	Qsi (Carga de infiltración, KW)
<b>Piso 1</b>	16,74	-279,785
<b>Piso 2</b>	1,25	-20,946
<b>Piso 3</b>	0,71	-11,830

*Tabla 32: Caudal de infiltración nuevo y carga de infiltración, para el edificio de salas.*

Salas	Caudal nuevo (m <sup>3</sup> /s)	Qsi (Carga de infiltración, KW)
<b>Piso 1</b>	0,55	-10,231
<b>Piso 2</b>	0,68	-12,382
<b>Piso 3</b>	0,55	-10,231
<b>Piso 4</b>	0,55	-10,231

*Tabla 33: Caudal de infiltración nuevo y carga de infiltración, para el edificio de oficinas de profesores.*

En resumen, la carga de infiltración por aire exterior para el edificio de salas es de -312,562 KWatt y para el edificio de oficinas de profesores es de -43,076 KWatt.

**d) Carga sensible por aportaciones internas " $Q_{sai}$ "**

$$Q_{sai} = Q_{sil} + Q_{sp} + Q_{se}$$

Donde:

$Q_{sil}$  = Valor de la ganancia interna de carga sensible debida a la iluminación interior del local.

$Q_{sp}$  = Ganancia interna de carga sensible debida a los ocupantes del local.

$Q_{se}$  = Ganancia interna de carga sensible debida a los diversos aparatos existentes en el local, como aparatos eléctricos, ordenadores, etc.

*d.1) Ganancia interna de carga sensible debida a la iluminación interior del local ( $Q_{sil}$ ).*

La ganancia de carga sensible por iluminación se obtendrá como la suma de las anteriores:

$$Q_{sil} = Q_{sil,incandescente} + Q_{sil,descarga}$$

*d.1.1) Lámparas incandescentes:*

$$Q_{sil,incandescente} = n \times Pot_{Lámp. Incandescente}$$

Siendo  $n$  el número de lámparas de tipo incandescentes colocadas.

La potencia de las ampollitas es de 0,4 KWatt.

En la tabla 34 y 35, se resume la cantidad de ampollitas y la carga que esta genera a cada piso.

	<b>N° de ampollitas</b>	<b>Qsi, ampollita (KWatt)</b>
<b>1er piso salas</b>	8	0,32
<b>2do piso salas</b>	-	
<b>3er piso salas</b>	2	0,08

*Tabla 34: Resumen de la carga generada por ampollitas, para el edificio de salas.*

	<b>N° de ampollitas</b>	<b>Qsi, ampollita (KWatt)</b>
<b>1er piso of. prof.</b>	-	
<b>2do piso of. prof.</b>	-	
<b>3er piso of. prof.</b>	-	
<b>4to piso of. prof.</b>	-	

*Tabla 35: Resumen de la carga generada por ampollitas, para el edificio de oficinas de profesores.*

**d.1.2) Lámparas de descarga o fluorescentes:**

$$Q_{sil,descarga} = 1,25 \times n \times Pot_{Lámp. descarga}$$

Siendo  $n$  el número de lámparas fluorescentes colocadas. El tubo fluorescente chico de 60cm. Modelo TL-D18w-33-640, tiene como especificaciones técnicas un consumo de 0,018 KWatt.

El tubo fluorescente largo de 120cm. Modelo TLD36W-3-640, tiene como especificaciones técnicas un consumo de 0,036 KWatt.

Ambas especificaciones fueron obtenidas de las fichas técnicas de la página:

<http://www.lighting.philips.com.mx/soporte/soporte/descargas/fichas-tecnicas.html>

En la tabla 36 se resume la cantidad de tubos fluorescentes y la carga que esta genera a cada piso.

	N° de tubos fluorescentes		Qsi, fluorescente (KWatt)
	Largos	Chicos	
<b>1er piso salas</b>	114		4,104
<b>2do piso salas</b>	138		4,968
<b>3er piso salas</b>	90	24	3,672

*Tabla 36: Resumen de la carga generada por los tubos fluorescentes para el edificio de salas.*

	N° de tubos fluorescentes		Qsi, fluorescente (KWatt)
	Largos	Chicos	
<b>1er piso oficinas Prof.</b>	52		1,872
<b>2do piso oficinas Prof.</b>	34		1,224
<b>3er piso oficinas Prof.</b>	34		1,224
<b>4to piso oficinas Prof.</b>	32		1,152

*Tabla 37: Resumen de la carga generada por los tubos fluorescentes para el edificio de oficinas de profesores.*

Así, la carga de ganancia interna generada por el aporte de ampollitas y tubos fluorescentes queda expresada como la suma de ambas, la tabla 38 muestra la carga total de aporte energético interno debida a la iluminación interior de la facultad de ingeniería.

	<b>Qsi, ampolleta (KWatt)</b>	<b>Qsi, fluorescente (KWatt)</b>	<b>Qsi total (KWatt)</b>
<b>1er piso salas</b>	0,32	4,104	4,424
<b>2do piso salas</b>		4,968	4,968
<b>3er piso salas</b>	0,08	3,672	3,752

*Tabla 38 :Ganancia interna de carga sensible debida a los ocupantes del local (Qsp), para el edificio de salas.*

	<b>Qsi, ampolleta (KWatt)</b>	<b>Qsi, fluorescente (KWatt)</b>	<b>Qsi total (KWatt)</b>
<b>1er piso of. Prof.</b>		1,872	1,872
<b>2do piso of. Prof.</b>		1,224	1,224
<b>3er piso of. Prof.</b>		1,224	1,224
<b>4to piso of. Prof.</b>		1,152	1,152

*Tabla 39: Ganancia interna de carga sensible debida a los ocupantes del local (Qsp), para el edificio de oficinas de profesores*

**d.2) Ganancia interna de carga sensible debida a los ocupantes del local, (Q<sub>sp</sub>).**

Para obtener el calor sensible de aporte por la ocupación del edificio estaría dada por la siguiente expresión:

$$Q_{sp} = n \times C_{sensible, persona}$$

Donde:

n = Número de personas que se espera que circulen por el edificio.

C<sub>sensible, persona</sub> = Calor sensible por persona y actividad que realice, según la tabla 7.

De acuerdo a la tabla 7, el calor sensible por persona, para una actividad de trabajo moderado de oficina, este tiene un valor de 73 Watt, este valor fue obtenido del libro Calefacción, ventilación y aire acondicionado; McQuiston, Faye C. (2003).

Puesto que las salas y oficinas, durante el día no siempre están ocupadas, se va a considerar el 70% de su capacidad continua total y a este valor se va a agregar un 75% del número de personas que hacen ingreso a una oficina o a una sala, en la tabla 40 resume la carga sensible de aportación por persona.

	<b>Nº personas, (70% capacidad continua)</b>	<b>%75 de su capacidad, al interior de la sala</b>	<b>Qsp (KWatt)</b>
<b>1er piso salas</b>	210	225	11,4975
<b>2do piso salas</b>	168	180	9,198
<b>3er piso salas</b>	98	105	5,3655

*Tabla 40: Resumen aportes de ganancias sensibles internas por ocupante, para el edificio de salas.*

	<b>Nº personas, (70% capacidad continua)</b>	<b>%75 de su capacidad, al interior de la sala</b>	<b>Qsp (KWatt)</b>
<b>1er piso of. Prof.</b>	17	12,75	0,93075
<b>2do piso of. Prof.</b>	12	9	0,657
<b>3er piso of. Prof.</b>	15	11,25	0,82125
<b>4to piso of. Prof.</b>	14	10,5	0,7665

*Tabla 41: Resumen aportes de ganancias sensibles internas por ocupante, para el edificio de oficinas de profesores.*

### *d.3) Carga sensible por aparatos eléctricos ( $Q_{se}$ ):*

Se considera que el 75% del total de aparatos eléctricos está funcionando de manera simultánea, por ende, la carga sensible por aparatos eléctricos será la suma de todas las potencias de los computadores y proyectores, se desprecia el uso de otros aparatos eléctricos ya que su uso es espontaneo y no es continuo.

- Según especificaciones técnicas, para un proyector marca EPSON, Modelo POWERLITE Pro G6050W, tiene 477 Watt.<sup>26</sup>
- Según especificaciones técnicas para un computador tradicional de escritorio marca HP, tiene una carga térmica de 290 Watt.<sup>27</sup>

Cabe recordar que el aporte del proyector solo se aplica al edificio de salas, ya que en el edificio de oficinas su uso es muy ocasional. En la tabla 42 se resume los cálculos de la carga sensible por electrodomésticos.

	<b>Cantidad de pc</b>	<b>Cantidad de proyectores</b>	<b>Total, carga</b>	<b>75% del total, Qse (Kwatt)</b>
<b>1er piso salas</b>	9	5	5,00	3,75
<b>2do piso salas</b>	9	9	6,91	5,18
<b>3er piso salas</b>	21	3	7,54	5,65

*Tabla 42: Resumen aportes de ganancias sensibles internas por aparatos eléctricos, para el edificio de salas.*

	<b>Cantidad de pc</b>	<b>Cantidad de proyectores</b>	<b>Total, carga</b>	<b>75% del total, Qse (Kwatt)</b>
<b>1er piso of. Prof.</b>	17	0	3,94	2,71
<b>2do piso of. Prof.</b>	12	0	3,49	1,62
<b>3er piso of. Prof.</b>	15	0	4,36	2,27
<b>4to piso of. Prof.</b>	14	0	4,07	2,05

*Tabla 43: Resumen aportes de ganancias sensibles internas por aparatos eléctricos, para el edificio oficinas de profesores.*

<sup>26</sup> Fuente: Manual usuario proyector EPSON, Modelo POWERLITE Pro G6050W

<sup>27</sup> Fuente: Manual usuario computadora de escritorio HP Pavilion PC A6400LA.

La tabla 44 muestra un resumen de todas las aportaciones de cargas internas sensibles, tales como los aportes a la carga sensible por iluminación, por persona y electrodomésticos.

	<b>Qsi (Kwatt)</b>	<b>Qsp (Kwatt)</b>	<b>Qse (Kwatt)</b>	<b>Total, cargas internas (Kwatt)</b>
<b>1er piso salas</b>	4,424	11,4975	3,75	19,6715
<b>2do piso salas</b>	4,968	9,198	5,18	19,346
<b>3er piso salas</b>	3,752	5,3655	5,65	14,7675

Tabla 44: Resumen aportes internos de cargas sensibles, para edificio de salas.

	<b>Qsi (Kwatt)</b>	<b>Qsp (Kwatt)</b>	<b>Qse (Kwatt)</b>	<b>Total, cargas internas (Kwatt)</b>
<b>1er piso of. Prof.</b>	1,872	0,93075	2,71	4,51
<b>2do piso of. Prof.</b>	1,224	0,657	1,62	4,50
<b>3er piso of. Prof.</b>	1,224	0,82125	2,27	3,32
<b>4to piso of. Prof.</b>	1,152	0,7665	2,05	3,97

Tabla 45: Resumen aportes internos de cargas sensibles, para edificio oficinas de profesores.

La carga sensible para el edificio de salas es de 64,959 KWatt y la carga sensible para el edificio de oficinas de profesor es de 12,293 KWatt.

### 3.2.2) Las cargas térmicas latentes ( $Q_{latente}$ )<sup>28</sup> son:

$$Q_l = Q_{li} + Q_{lp}$$

<sup>28</sup> Fuente: Calefacción, ventilación y aire acondicionado; McQuiston, Faye (2003)

Donde:

$Q_{li}$  = Carga latente transmitida por infiltraciones de aire exterior (W).

$Q_{lp}$  = Carga latente debida a la ocupación del local (W).

**a) Carga latente transmitida por infiltraciones de aire exterior " $Q_{li}$ "**

La carga latente transmitida por infiltraciones y ventilación de aire exterior ( $Q_{li}$ ) se determina mediante la siguiente expresión:

$$Q_{li} = Vr \times 0,84 \times \Delta w$$

Donde:

$Q_{li}$  = Carga térmica latente por ventilación de aire exterior (W).

$Vr$  = Caudal de aire infiltrado y ventilación ( $m^3/s$ ).

$\Delta w$  = Diferencia de humedad absoluta entre el ambiente exterior e interior.

**a.1) Caudal de aire infiltrado y ventilación ( $Vr$ ).**

$$Vr = V \times R.A.H.$$

Donde:

$V$  = Volumen del local. ( $m^3$ )

R.A.H. = Número de renovaciones por hora. (x) (1/h).

Según lo expresado por la RITE, el número de renovaciones de aire por hora para un edificio, se debe al grado de contaminación, para la facultad de ingeniería, el coeficiente de renovación por hora será:

- Para aulas R.A.H. =5 a 7
- Para oficinas R.A.H. = 4 a 8

Para efectos de cálculos se considerará un valor de 6, tanto para aulas como para oficinas.  
De esta forma la tabla 46 y 47, resume el caudal de aire infiltrado y ventilación.

<b>Pisos</b>	<b>Volumen a calefaccionar (m3)</b>	<b>Caudal de aire infiltrado y ventilación (m3 /s)</b>
<b>1er piso salas</b>	4164,36	694,059
<b>2do piso salas</b>	3709,42	618,236
<b>3er piso salas</b>	1934,86	322,477

*Tabla 46: Resumen caudal de aire infiltrado, para el edificio de salas*

<b>Pisos</b>	<b>Volumen a calefaccionar (m3)</b>	<b>Caudal de aire infiltrado y ventilación (m3 /s)</b>
<b>1er piso of. Prof.</b>	810,48	135,080
<b>2do piso of. Prof.</b>	567,47	94,578
<b>3er piso of. Prof.</b>	603,23	100,539
<b>4to piso of. Prof.</b>	560,03	93,339

*Tabla 47: Resumen caudal de aire infiltrado, para el edificio de oficinas de profesores.*

*a.2) Diferencia de humedad absoluta entre el ambiente exterior e interior ( $\Delta w$ ).*

- Humedad interior de confort: Según lo expuesto en la metodología para satisfacer del confort térmico es de 50%.
- Humedad Exterior: Según lo expuesto por la norma Nch1079 of. 77, para la ciudad de Concepción corresponde 88%.

De esta forma la carga latente transmitida por infiltraciones de aire exterior queda expresada en la siguiente tabla.

<b>Pisos</b>	<b>Carga térmica latente por ventilación de aire exterior (KW)</b>
<b>1er piso salas</b>	-0,222
<b>2do piso salas</b>	-0,197
<b>3er piso salas</b>	-0,103

*Tabla 48: Resumen carga térmica latente por ventilación de aire exterior, para edificio de salas.*

<b>Pisos</b>	<b>Carga térmica latente por ventilación de aire exterior (KWatt)</b>
<b>1er piso of. Prof.</b>	-0,043
<b>2do piso of. Prof.</b>	-0,030
<b>3er piso of. Prof.</b>	-0,032
<b>4to piso of. Prof.</b>	-0,030

*Tabla 49: Resumen carga térmica latente por ventilación de aire exterior, para edificio oficinas de profesores.*

#### **b) Carga latente por ocupación "Q<sub>lp</sub>"**

$$Q_{lp} = n \times C_{\text{latente, persona}}$$

Donde:

n = Número de personas que estén en el edificio.

C<sub>latente, persona</sub> = calor latente por persona y actividad que realice.

De acuerdo a la tabla 7, el calor latente por persona, para una actividad de trabajo moderado de oficina, este tiene un valor de 59 Watt, este valor fue obtenido del libro Calefacción, ventilación y aire acondicionado; McQuiston, Faye C. (2003).

Así la carga latente por ocupación queda expresada en la siguiente tabla.

<b>Pisos</b>	<b>Nº personas, (70% capacidad continua)</b>	<b>%75 de su capacidad, al interior de la sala</b>	<b>Q<sub>lp</sub> (KWatt)</b>
<b>1er piso salas</b>	210	157,5	9,2925
<b>2do piso salas</b>	168	126	7,434
<b>3er piso salas</b>	98	73,5	4,3365

Tabla 50: Resumen carga latente por persona, para el edificio de salas.

<b>Pisos</b>	<b>Nº personas, (70% capacidad continua)</b>	<b>%75 de su capacidad, al interior de la sala</b>	<b>Q<sub>lp</sub> (KWatt)</b>
<b>1er piso of. Prof.</b>	17	12,75	0,752
<b>2do piso of. Prof.</b>	12	9	0,531
<b>3er piso of. Prof.</b>	15	11,25	0,664
<b>4to piso of. Prof.</b>	14	10,5	0,620

Tabla 51: Resumen carga latente por persona, para el edificio de oficinas de profesores

La carga latente total se determina de la siguiente forma:

$$Q_t = Q_{li} + Q_{lp}$$

Donde:

$Q_{li}$  = Carga latente transmitida por infiltraciones de aire exterior (W).

$Q_{lp}$  = Carga latente debida a la ocupación del local (W).

<b>Pisos</b>	<b>Q<sub>li</sub> (KWatt)</b>	<b>Q<sub>lp</sub> (KWatt)</b>	<b>Q<sub>l</sub> total (KWatt)</b>
<b>1er piso salas</b>	-0,222	9,2925	9,0705
<b>2do piso salas</b>	-0,197	7,434	7,237
<b>3er piso salas</b>	-0,103	4,3365	4,2335

Tabla 52: Resumen de cargas latentes, para el edificio de salas.

<b>Pisos</b>	<b>Qli (KWatt)</b>	<b>Qlp (KWatt)</b>	<b>Ql total (KWatt)</b>
<b>1er piso of. Prof.</b>	-0,043	0,75225	0,709
<b>2do piso of. Prof.</b>	-0,030	0,531	0,501
<b>3er piso of. Prof.</b>	-0,032	0,66375	0,632
<b>4to piso of. Prof.</b>	-0,030	0,6195	0,590

*Tabla 53: Resumen de cargas latentes, para el edificio de oficinas de profesores*

La carga latente para el edificio de salas es de 21,063 KWatt y la carga latente para el edificio de oficinas de profesor es de 2,431 KWatt.

### **3.3) Desarrollo de la carga térmica inicial del edificio.**

La carga inicial del edificio es la energía sensible que posee la edificación con el personal, las maquinarias o aparatos eléctricos y caldera.

La siguiente expresión resume lo anterior:

$$CT_{\text{inicial}} = Q_{sp} + Q_{si} + Q_{se} + Q_c$$

Donde:

- Qsp = Carga sensible por ocupantes.
- Qsi = Carga sensible por iluminación.
- Qse = Carga sensible por aparatos eléctricos.
- Qc = Carga térmica de la caldera.

*Los valores de Qsp, Qsi, Qse, están expresado en el capítulo de carga térmica.*

Edificio	Qsi (Kwatt)	Qsp (Kwatt)	Qse (Kwatt)	Total, cargas internas (Kwatt)
Salas	13,144	26,061	14,585	53,959
Of. Prof.	5,472	3,1755	12,645	21,293

Tabla 54: Resumen cargas sensibles de aportaciones internas.

### 3.3.1) Carga térmica de la caldera.

Para la facultad de ingeniería existen 2 tipos de calderas:

1. La caldera para el edificio de salas corresponde a una caldera marca SIME, modelo 2R7 OF. Según las especificaciones técnicas, posee un rendimiento del 89%, con una potencia térmica de 139,1 KWatt, por lo tanto, la potencia térmica es de 123,8 KWatt. (Ver ilustración 15).<sup>29</sup>



Ilustración 15: Caldera marca SIME, modelo, 2R7 of.  
Fuente: Elaboración propia.

<sup>29</sup> Fuente: Catalogo de calderas marca SIME, 2r7 of.

[http://portale.sime.it/jportal/pcontroller/ExtensionHandler/1R-2R%20-ES.pdf?azioneprossima=16&role=2&id\\_extension=114313](http://portale.sime.it/jportal/pcontroller/ExtensionHandler/1R-2R%20-ES.pdf?azioneprossima=16&role=2&id_extension=114313)

2. Para el edificio de oficinas de profesores, corresponde a una caldera marca SIME, modelo AR4, según las especificaciones técnicas, posee un rendimiento de 80%, con una potencia térmica de 33,4 KWatt, por lo tanto, la potencia térmica es de 29,4 KWatt (Ver ilustración 16).<sup>30</sup>



*Ilustración 16: Caldera marca SIME, modelo, AR4.  
Fuente: Elaboración propia.*

Por lo tanto, la carga inicial está dada resumida en la tabla 55.

<b>Edificio</b>	<b>Total, cargas internas (Kwatt)</b>	<b>Carga de caldera por tipo (Kwatt)</b>	<b>Carga inicial (Kwatt)</b>
<b>Salas</b>	53,959	123,4	177,359
<b>Of. Prof.</b>	21,293	29,4	50,693

*Tabla 55: Resumen carga inicial de la Facultad de ingeniería.*

<sup>30</sup> Fuente: Catalogo de calderas marca SIME, AR4.

[www.simehellas.gr/attachments/article/176/TEXNIKO%20EFXEIPIΔIO%20AR.pdf](http://www.simehellas.gr/attachments/article/176/TEXNIKO%20EFXEIPIΔIO%20AR.pdf)

### 3.4) Desarrollo de la inercia térmica del edificio.

Como ya fue explicado anteriormente, la admitancia térmica, la efusividad y la difusividad son parámetros con el cual se puede cuantificar la inercia térmica.

Para el caso de la edificación de material hormigón armado, se consideró los elementos constructivos de formas individual para luego sumarlas.

$\lambda$ (Conductividad térmica, W/m×K)	Ce (Calor especifico, J/kg×K)	$\rho$ (Densidad, kg/m <sup>3</sup> )	Y (Admitancia térmica, W/m <sup>2</sup> ×K)	a (Difusividad, m <sup>2</sup> /s) × 10 <sup>-6</sup>	b (Efusividad, J/(m <sup>2</sup> ×K×s <sup>1/2</sup> ))
<b>Muro de hormigón armado.</b>					
0,67	750	2500	9,559	0,357	1120,83
<b>Cubierta.</b>					
0,038	30	1200	0,315	1,056	36,986
<b>Total</b>			9,8734	1,4133	1157,811

Tabla 56: Resumen parámetros de inercia térmica, para el edificio de salas y edificio oficinas de profesor, solo para la edificación de hormigón armado

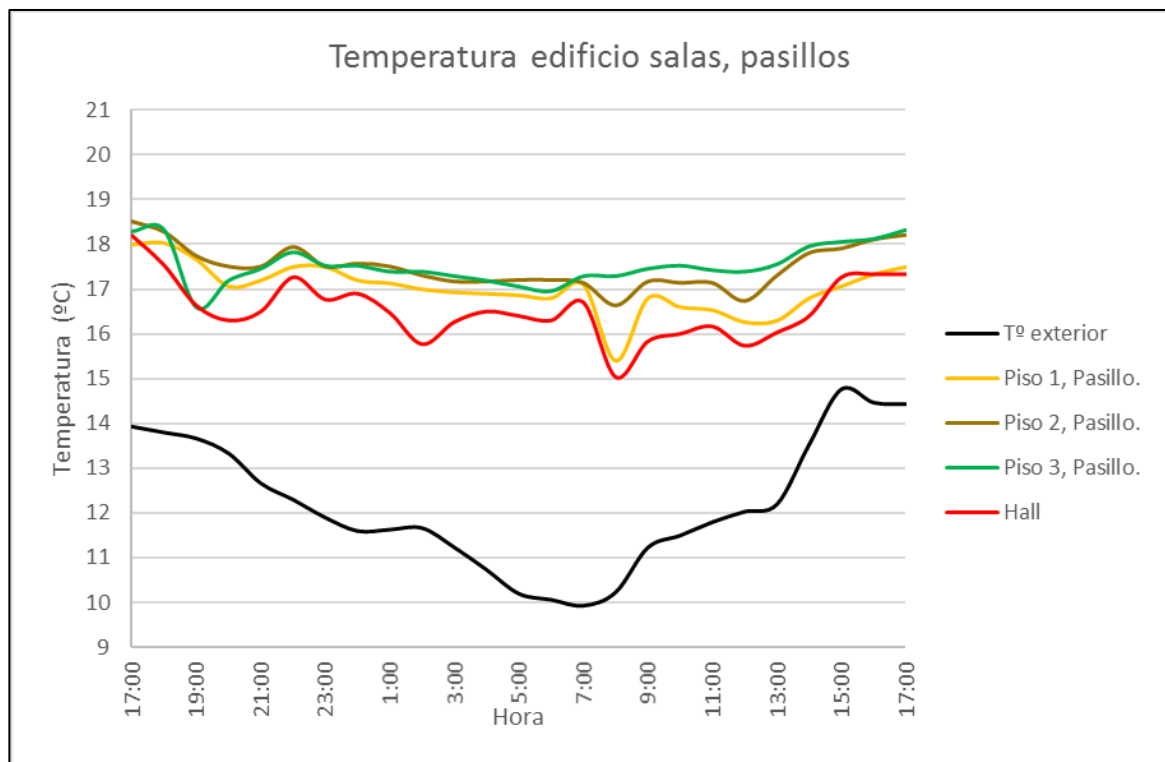
El metalcon es un muro compuesto de varios materiales, en la siguiente tabla se exponen los tipos de materiales con sus respectivos parámetros de admitancia térmica, efusividad y difusividad térmica.

$\lambda$ (Conductivida d térmica, W/m×K)	Ce (Calor especifico, J/kg×K)	$\rho$ (Densidad, kg/m <sup>3</sup> )	Y (Admitanci a térmica, W/m <sup>2</sup> ×K)	a (Difusividad, m <sup>2</sup> /s) × 10 <sup>-6</sup>	b (Efusividad, J/(m <sup>2</sup> ×K×s <sup>1/2</sup> ))
<b>Acero galvanizado</b>					
52,5	460	7850	117,420	14,539	13768,7145
<b>Yeso</b>					
0,435	418,5	900	3,452	1,155	404,775
<b>Lana de vidrio</b>					
0,038	670	150	0,527	0,378	61,798
<b>Total</b>			121,399	16,072	14235,288

Tabla 57: Resumen parámetros de inercia térmica, para el cuarto piso del edificio de oficinas de profesores, solo para la edificación de metalcom

Para analizar de manera experimental la inercia térmica, se procedió a medir la temperatura durante 24 horas, esta corresponde desde el día 12 de octubre a las 17:00 horas, hasta el día 13 de octubre a las 17:00 horas, se midió la temperatura exterior, interior por pisos, salas y hall, a continuación, se presentan los siguientes gráficos que resumen esta medición.

Cabe mencionar que la temperatura al interior y exterior de la facultad no debería ser cíclica, puesto que el flujo de personas que hacen ingreso a la facultad no es continuo ni fija, lo mismo ocurre con las cargas internas por aparatos eléctricos e iluminación, además la carga por radiación solar es variable y depende de la fecha que se requiera realizar la medición.



*Ilustración 17: Gráfico resumen medición de temperaturas para el edificio de salas.*

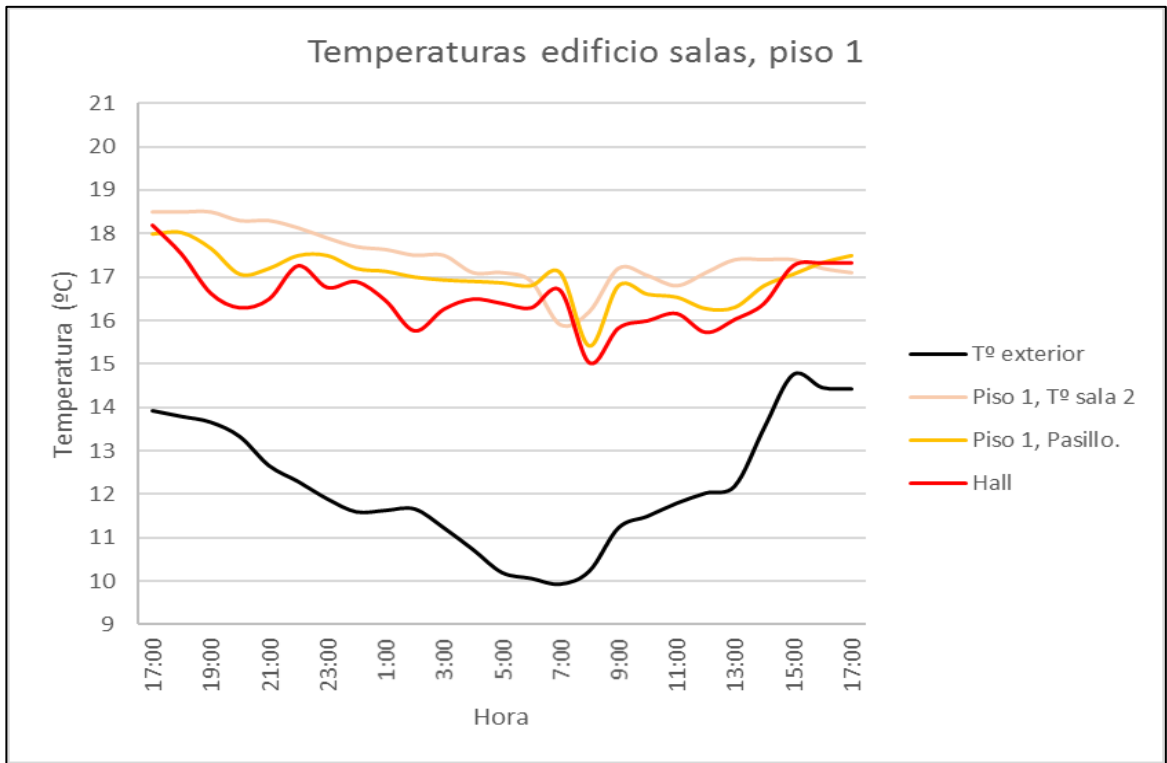


Ilustración 18: Gráfico detalle medición de temperaturas para el primer piso en el edificio de salas.

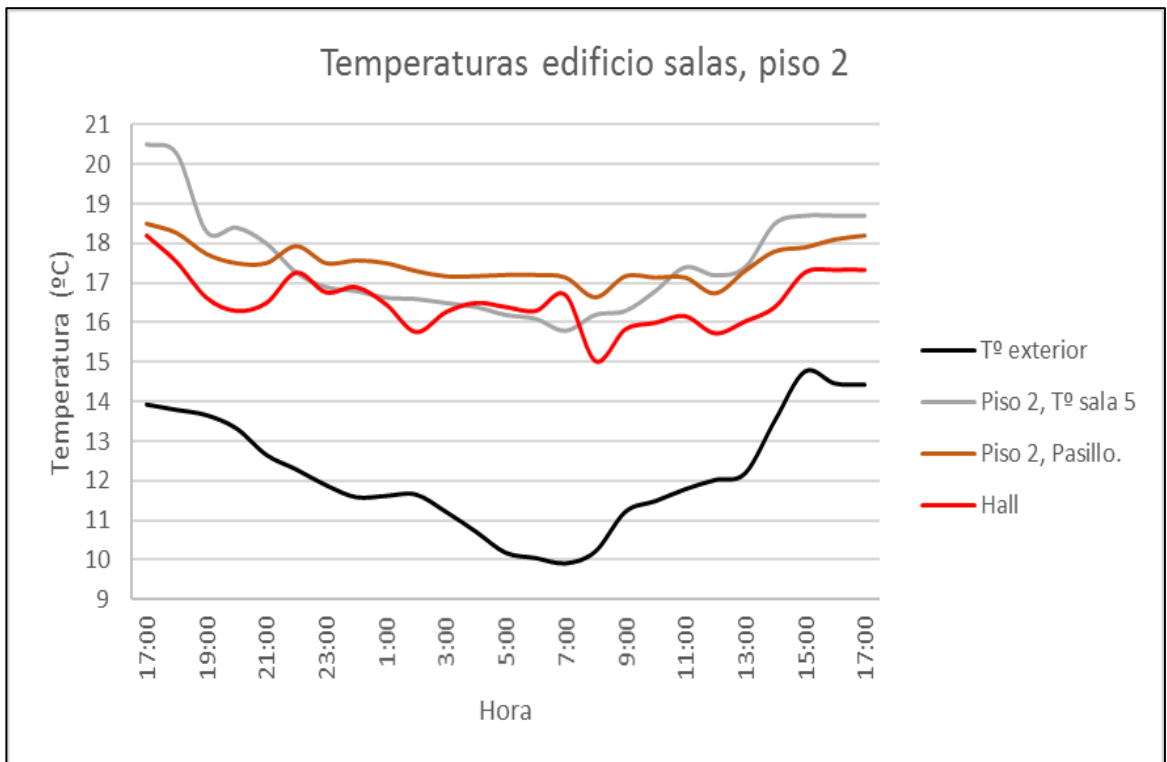


Ilustración 19: Gráfico detalle medición de temperaturas para el segundo piso en el edificio de salas.

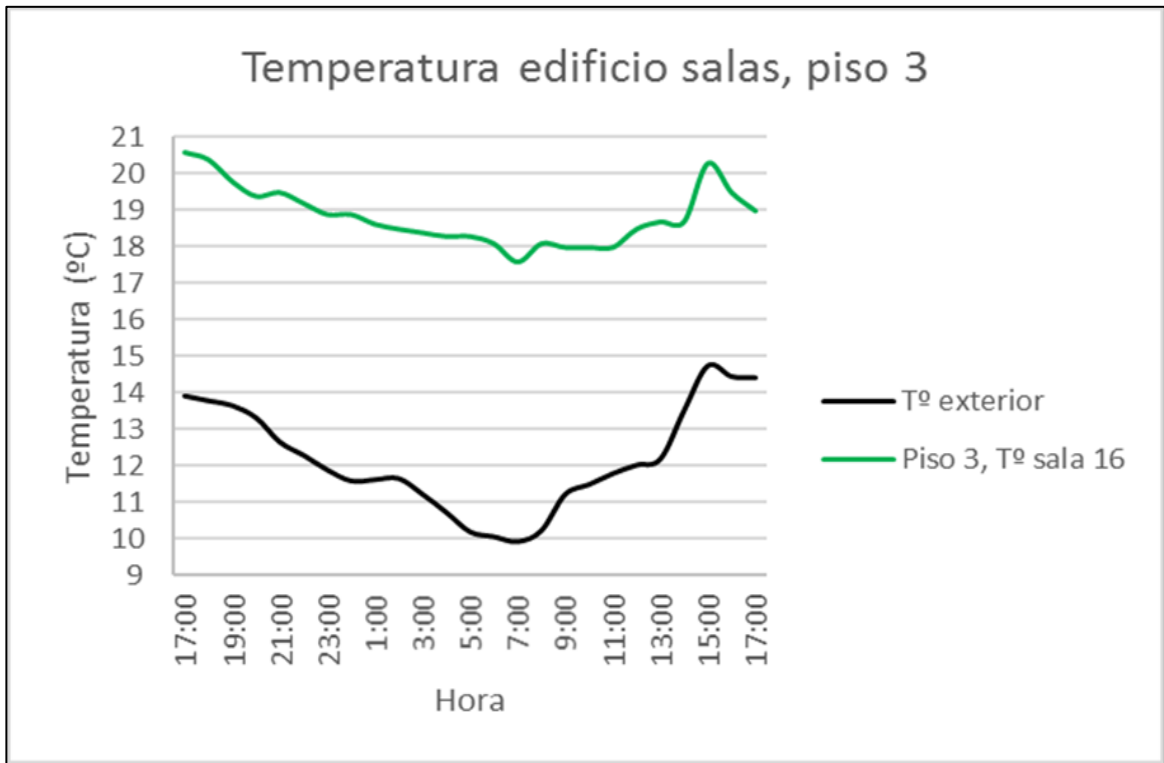


Ilustración 20: Gráfico detalle medición de temperaturas para el tercer piso en el edificio de salas.

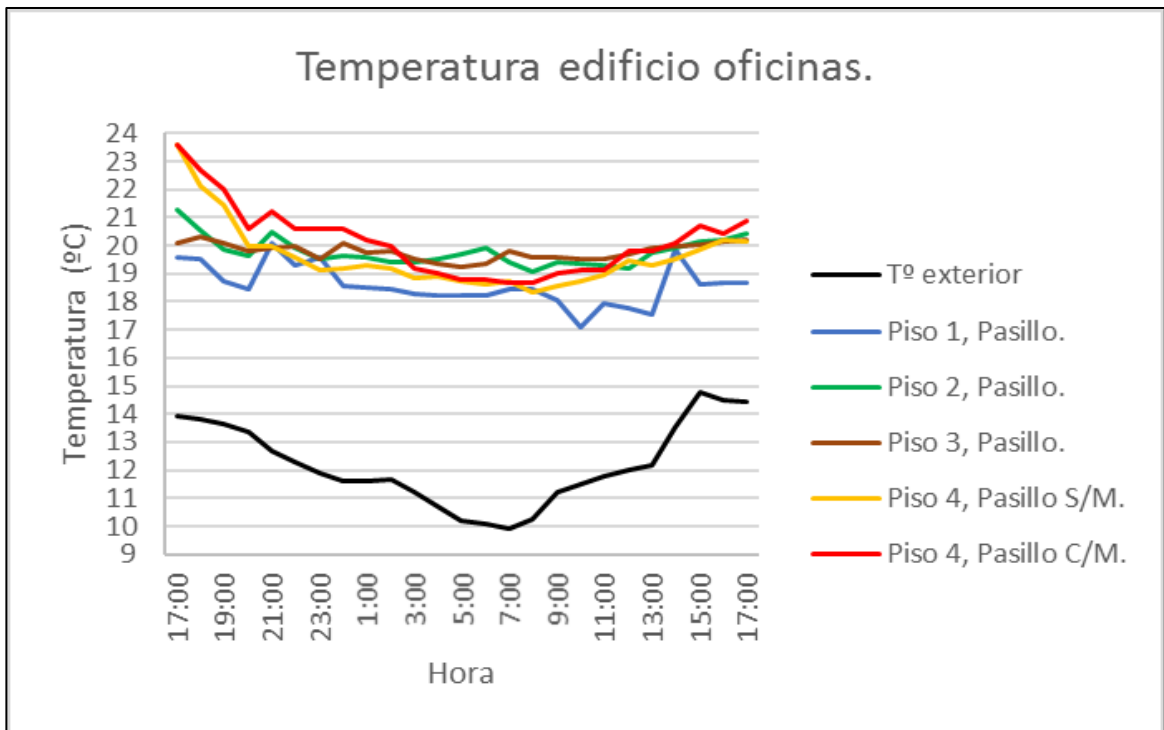


Ilustración 21: Gráfico resumen medición de temperaturas para el edificio de oficinas de profesores.

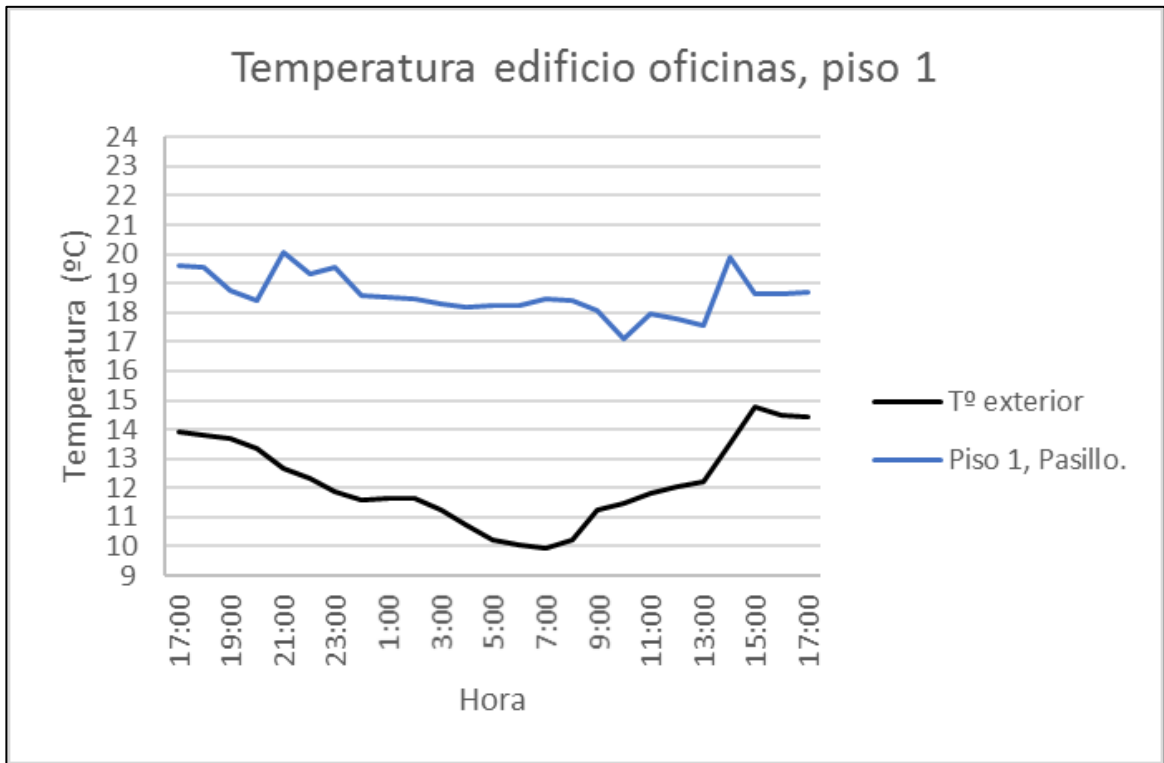


Ilustración 22: Gráfico detalle medición de temperaturas para el primer piso en el edificio oficinas de profesores.

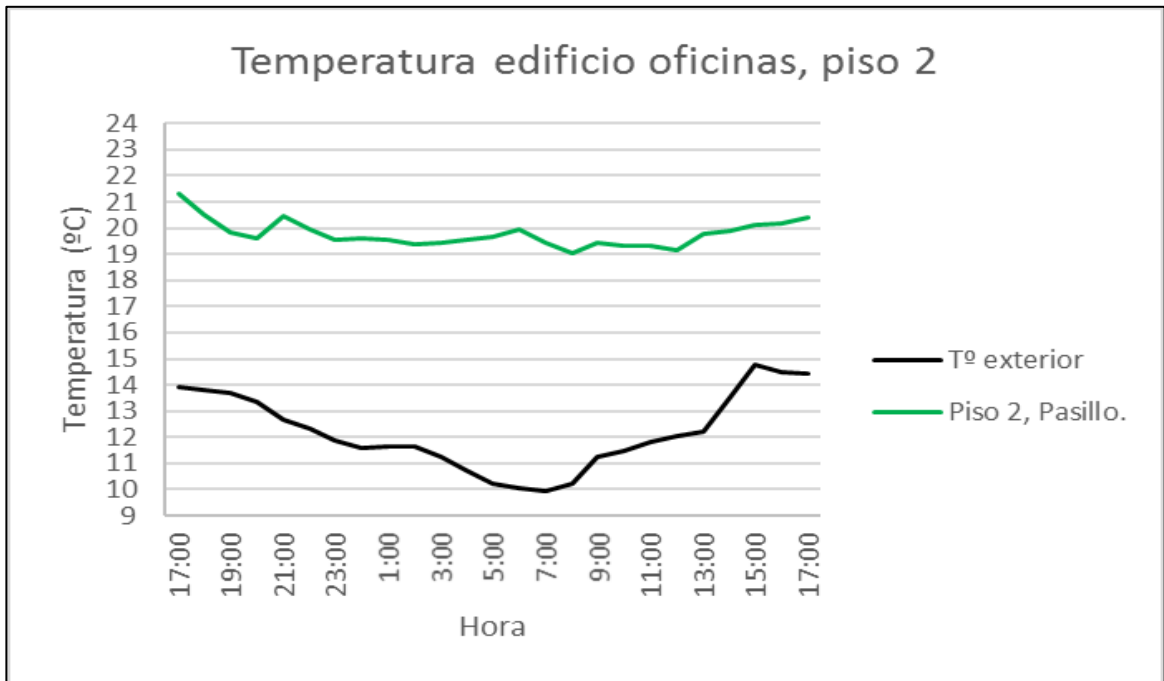


Ilustración 23: Gráfico detalle medición de temperaturas para el segundo piso en el edificio oficinas de profesores.

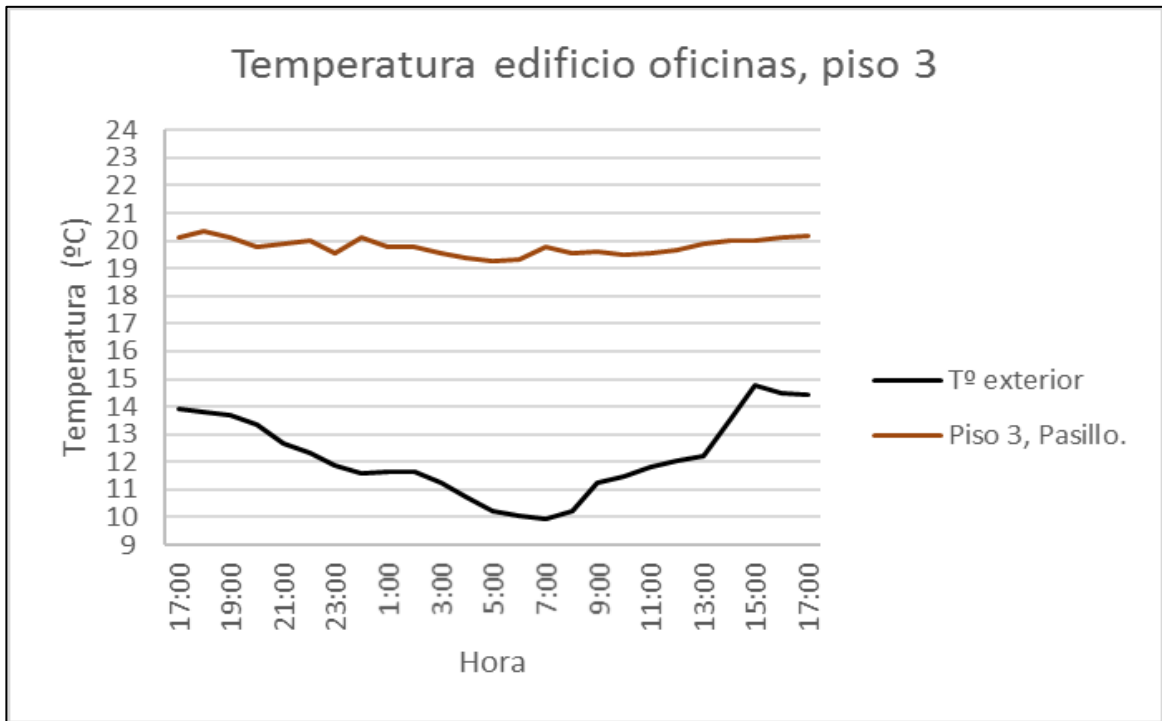


Ilustración 24: Gráfico detalle medición de temperaturas para el tercer piso en el edificio oficinas de profesores.

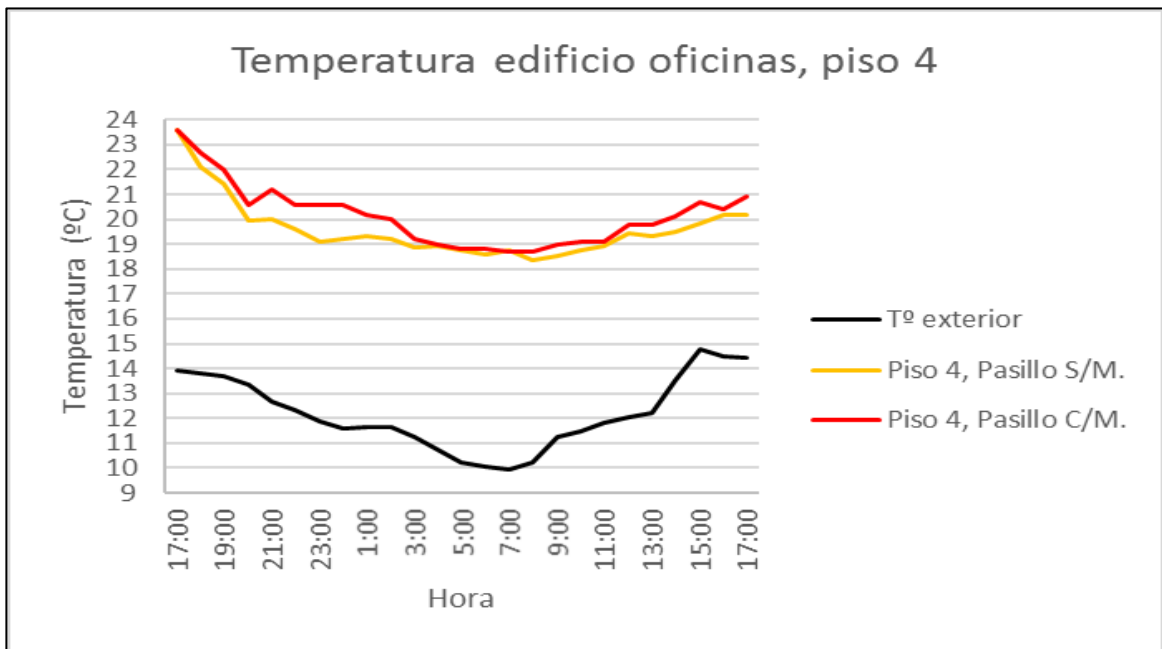


Ilustración 25: Gráfico detalle medición de temperaturas para el cuarto piso en el edificio oficinas de profesores, recordando que este piso tiene un tramo con metalcon y otro con hormigón.

En este gráfico, la diferencia de temperatura en un día es de 3°C, a las 17:00 horas, este valor es afectado por revisión de evaluaciones, ya que se registró una gran cantidad de personas, generando un cierto grado de carga calórica dentro del piso.

### **3.5) Desarrollo del análisis termografico.**

#### **Defectos de aislamiento y fugas de aire**

La termografía es una herramienta excepcional para localizar defectos en la construcción, como falta de aislamiento, de laminación de cubiertas y problemas de condensación, la termografía puede mostrar detalles que el ojo humano no puede ver.

La facultad de ingeniería de la UCSC, se sometió a un análisis termografico, este contempla 2 mediciones, con el fin de mostrar las zonas con mayor transferencia de energía, los horarios medidos son:

- 1) 26/08/2016 a las 05:00 A.M. horas.
- 2) 26/08/2016 a las 12:00 P.M. horas.

#### ***Medición 1***

La primera medición corresponde a las 05:00 horas del día 26/08/2016, para esta medición las cargas térmicas internas están ausentes, ya que a esa hora la facultad de ingeniería está cerrada y por ende no hay personas dentro de la facultad, además se eligió el horario de las 05:00 horas, puesto que es el horario de temperatura punta baja, con esto se podrá descartar cualquier tipo de carga térmica interna que tuvo el edificio durante el día, además a las 05:00 horas, la radiación solar tiene un valor despreciable, con esto la carga de ganancia solar del edificio es nula.

## ***Medición 2***

La segunda medición corresponde a las 12:00 horas del día 26/08/2016, para esta medición las cargas térmicas internas están en su máxima capacidad, se eligió el horario de las 12:00 horas, puesto que según un estudio previo, es el instante donde existe mayor cantidad de personas al interior del edificio, además en ese horario, existe la mayor cantidad de personas ocupando aparatos eléctricos, la caldera está encendida, la radiación solar está en su máximo valor de medición durante el día, con esto existe una carga de ganancia solar no despreciable.

## **Análisis fotografías termográficas.**

Mediante las fotografías termográficas, se debe identificar si existe un aislamiento insuficiente en los muros y bajo las ventanas, además las ventanas son el principal medio de pérdida de energía, a continuación se presentan las imágenes obtenidas de las dos mediciones mencionadas, en las cuales se aprecian en detalle los lugares que falta aislamiento o se deben mejorar, cabe destacar que por razones de fuerza mayor no se pudo obtener imágenes termográficas del tejado de la facultad de ingeniería, con estas imágenes se hubiese analizado lugares donde se filtra el aire, este parámetro es muy importante puesto que las fugas de aire conllevan a un mayor consumo de energía y normalmente provocan problemas con el sistema de ventilación.

Las fugas de aire también pueden provocar condensación en la estructura, lo que a su vez puede perjudicar el clima en el interior.

Otras aplicaciones de las imágenes termográficas incluyen la localización de puentes térmicos, que identifican puntos en los edificios donde se este desperdiciando energía.

Un puente térmico es una zona en que la envolvente del edificio tiene una resistencia térmica menor, esta es provocada por limitaciones en la construcción. El calor seguirá la ruta más fácil desde el espacio calentado hacia el exterior (la ruta con la menor resistencia).

Para la siguiente ilustración, a simple vista se aprecia que el edificio de oficinas de la facultad de ingeniería, fue hecho con un material homogéneo, pero termográficamente el 4to piso corresponde a un material distinto de los primeros 3 pisos, además tiene una deficiente aislamiento en los muros y bajo las ventanas, provocando varios puentes térmicos.

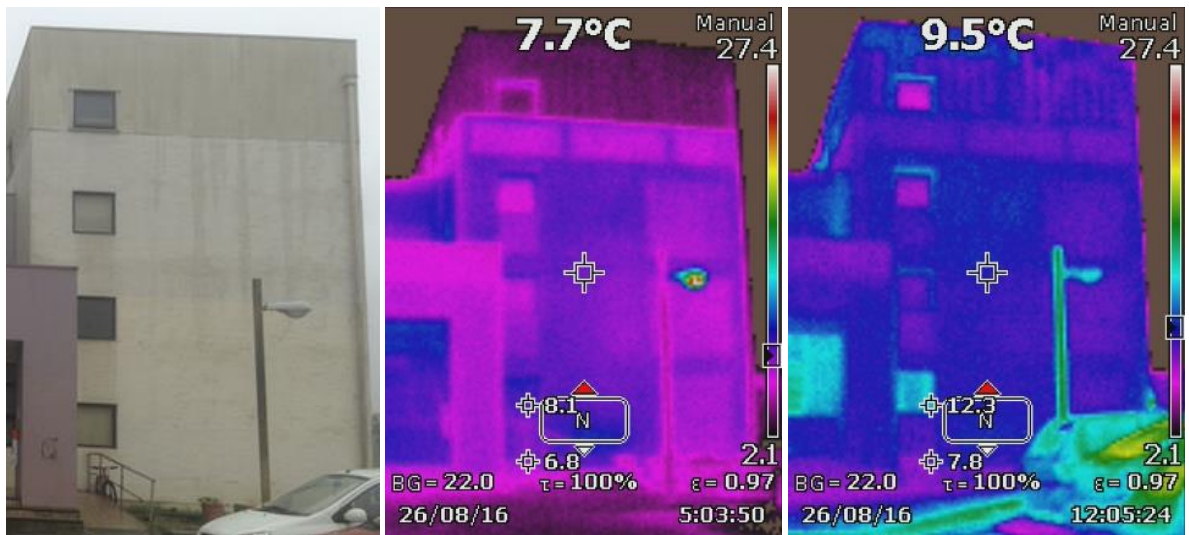


Ilustración 26: Vista termografía 1.

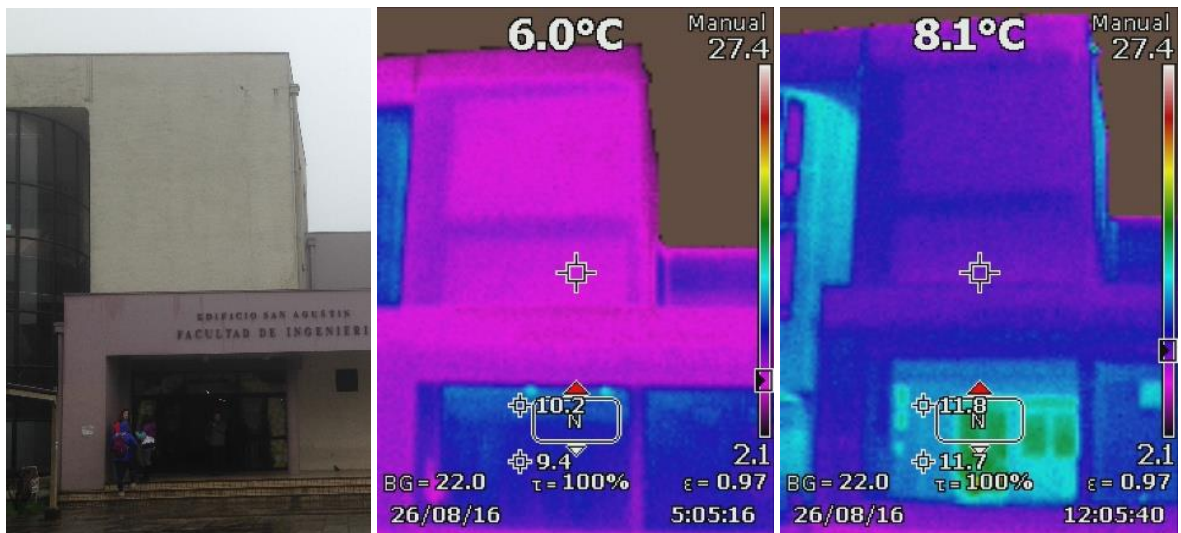


Ilustración 27: Vista termografía 2.

Se aprecian puentes termicos que está a nivel de la loza del tercer piso de la facultad de ingeniería, sector aulas.

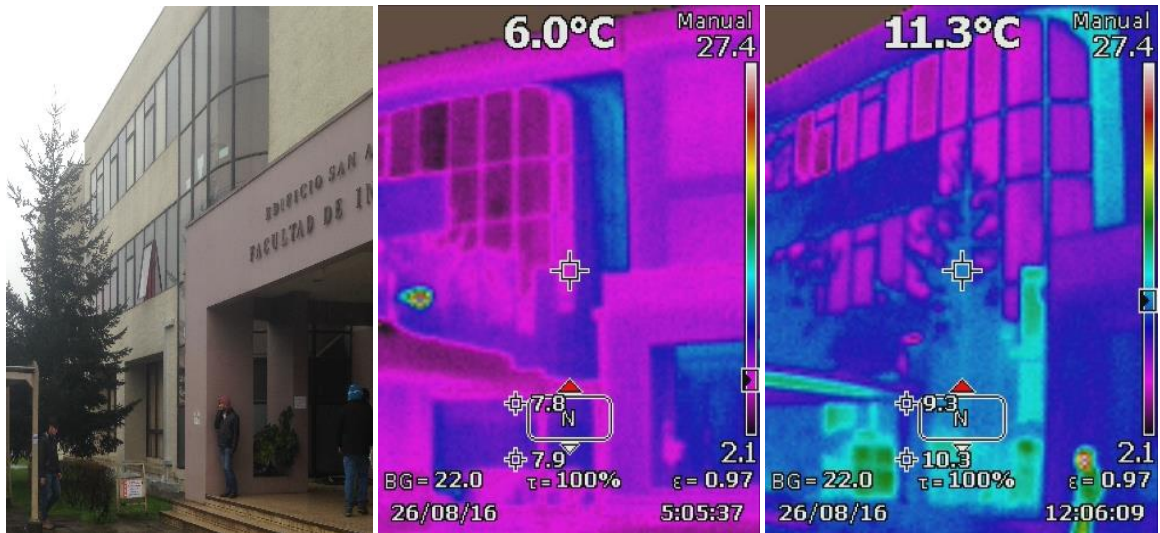


Ilustración 28: Vista termografía 3.

Gran parte de la energía térmica se pierde mediante las ventanas y marcos metálicos.

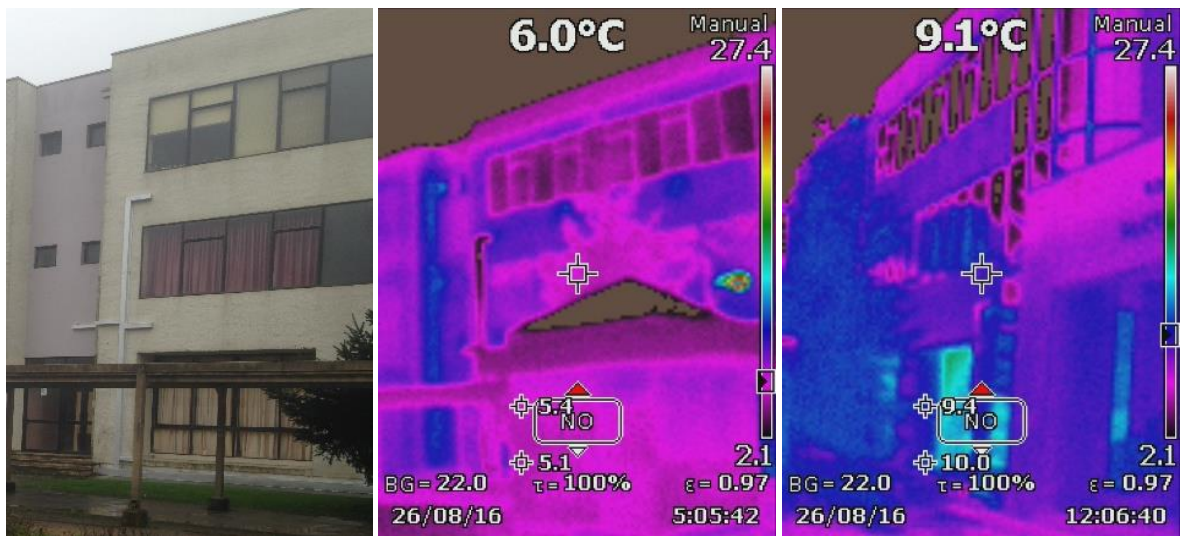


Ilustración 29: Vista termografía 4.

La aislación térmica de bajo de las ventanas es deficiente, además gran parte de la energía térmica se pierde mediante las ventanas y marcos metálicos.

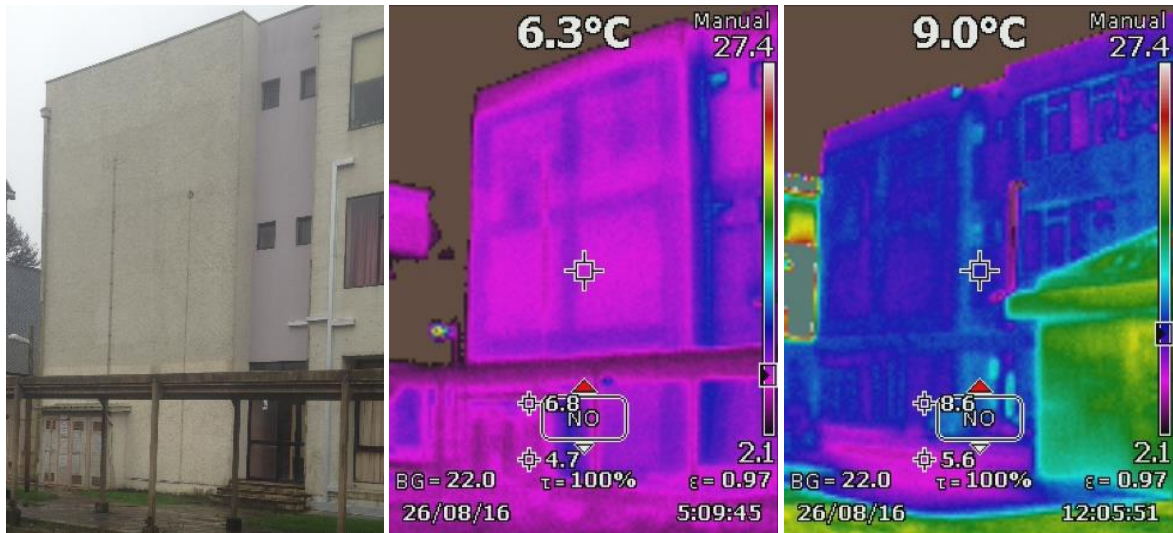


Ilustración 30: Vista termografía 5.

Se aprecian los puentes térmicos, sectores por donde se transmite la energía calórica de las aulas hacia el exterior, además existe una deficiente aislación térmica de los muros.

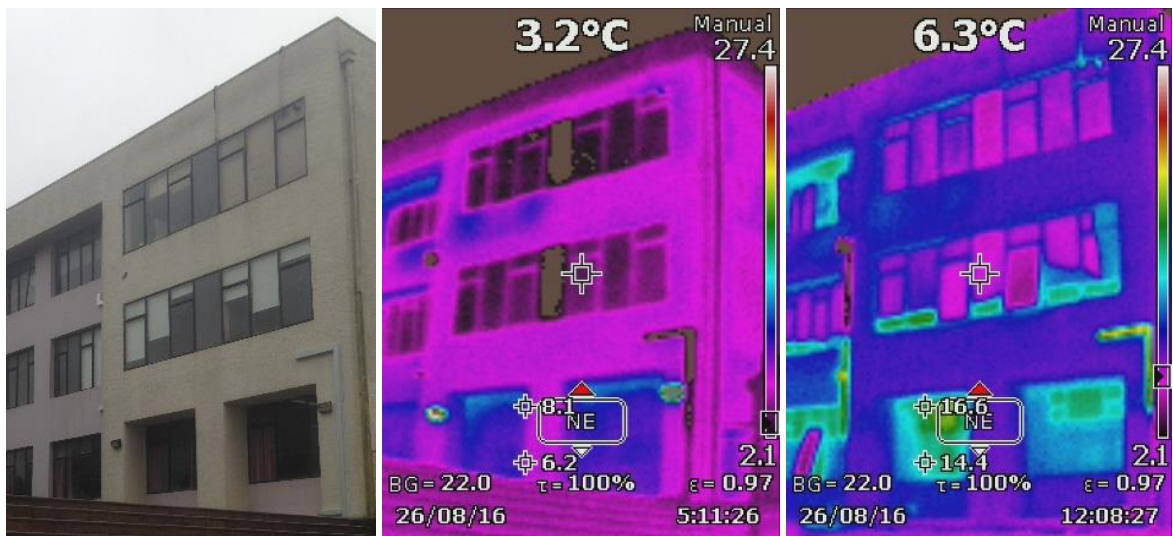


Ilustración 31: Vista termografía 6.

La imagen de las 12 horas, muestra infiltraciones de aire, esto ocurre puesto que las ventanas están abiertas.

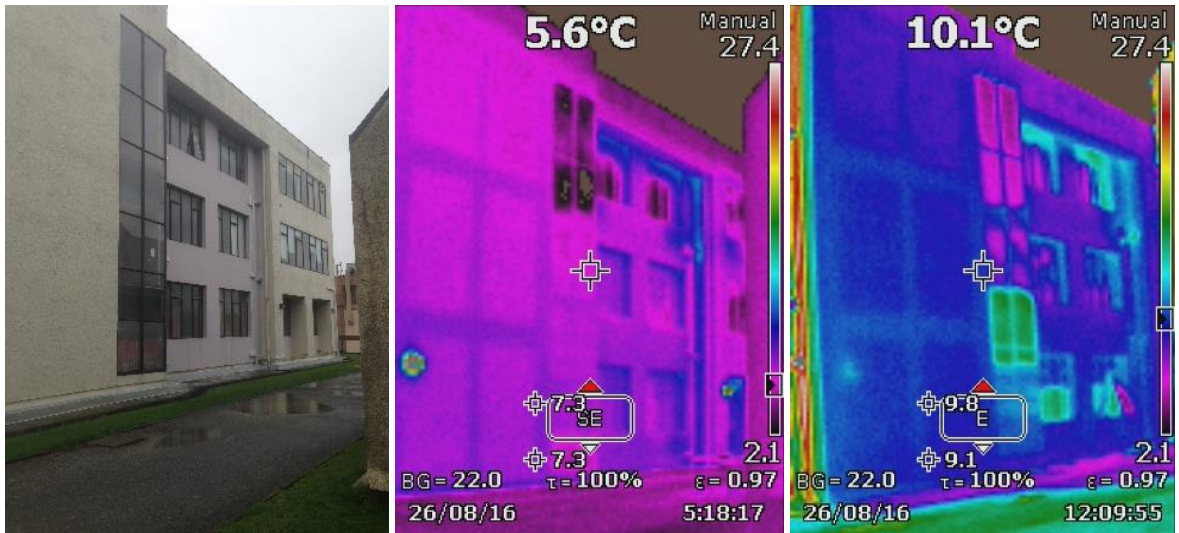


Ilustración 32: Vista termografía 7.

Se aprecian los puentes térmicos, sectores por donde se transmite la energía hacia el exterior.

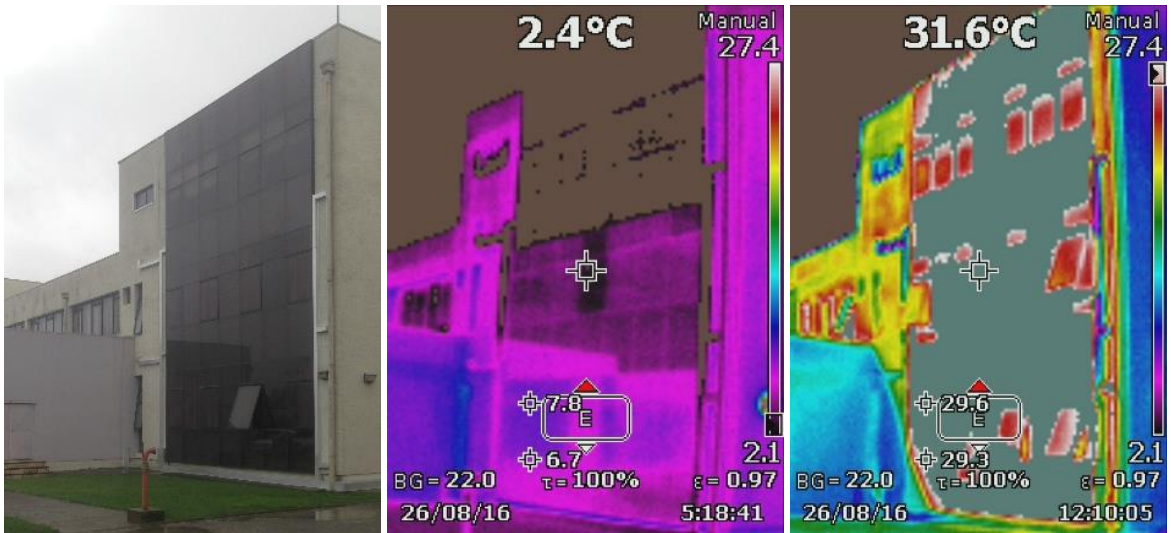


Ilustración 33: Vista termografía 8.

Las ventanas son la principal componente de transferencia térmica desde el interior hacia el exterior.

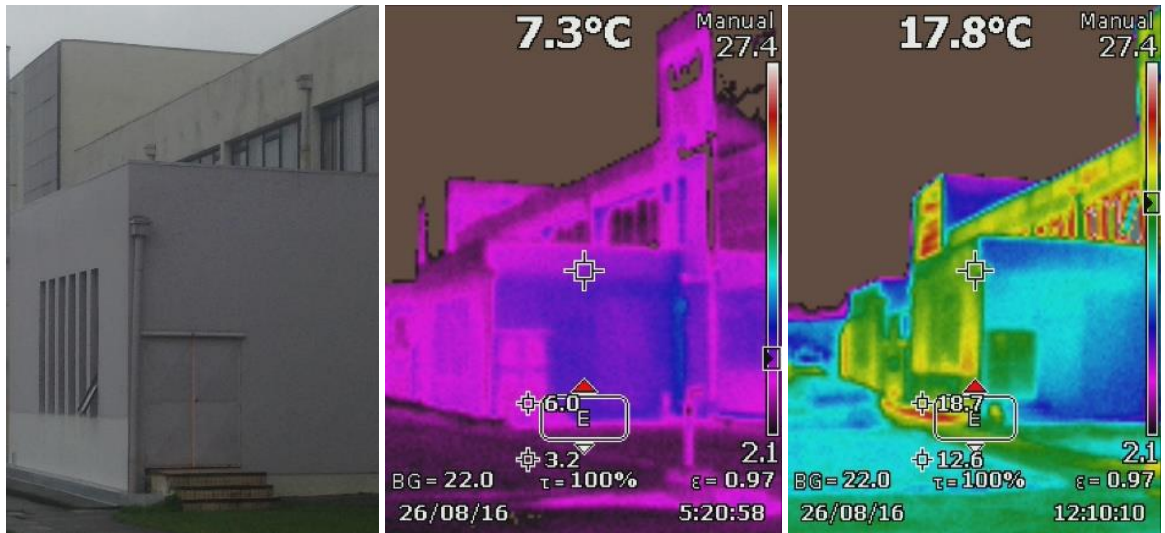


Ilustración 34: Vista termografía 9.

La puerta metálica transfiere gran cantidad de energía desde el auditorio hacia el exterior, este es un puente térmico importante, para evitar pérdidas la puerta es un elemento clave que se debe aislar térmicamente.

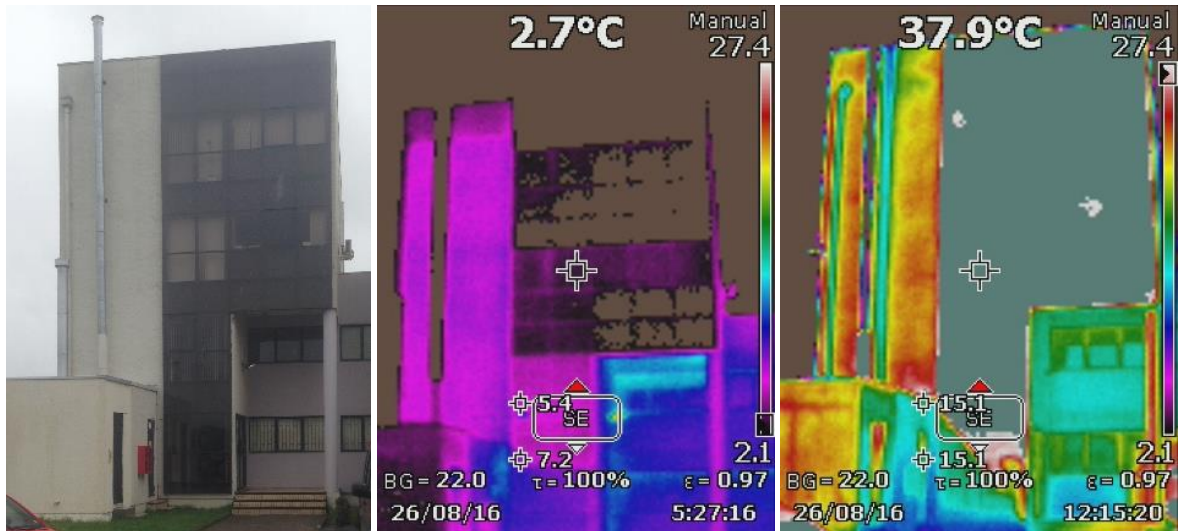


Ilustración 35: Vista termografía 10.

Las ventanas son la principal componente de transferencia térmica desde el interior hacia el exterior.

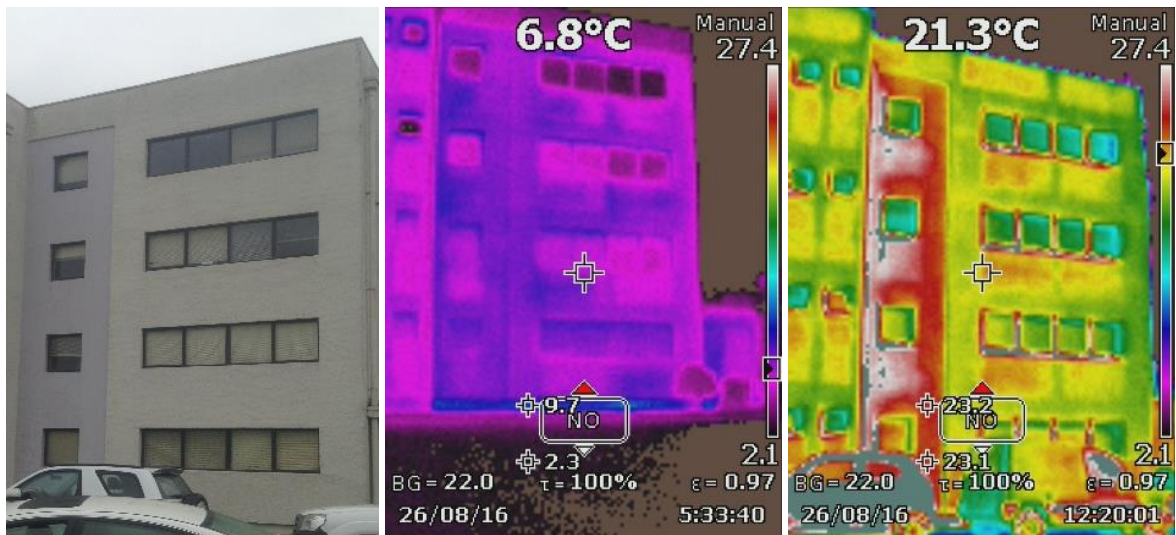


Ilustración 36: Vista termografía 11.

Existe una deficiente aislación térmica de los muros y muros bajo la ventana, además las ventanas tienen una pérdida importante de energía.

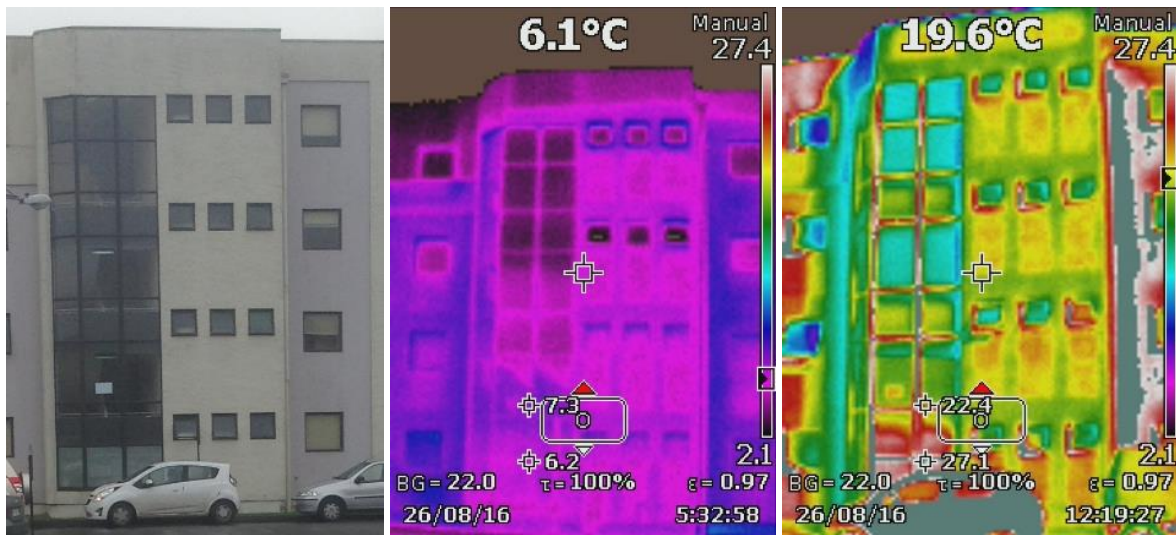
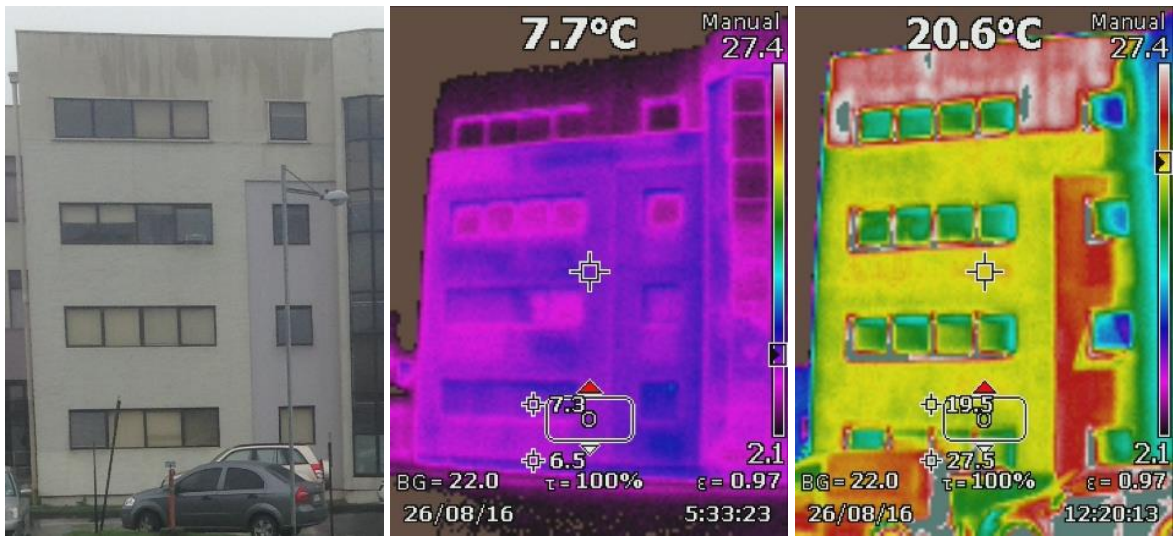


Ilustración 37: Vista termografía 12.

Gran parte de la energía se pierde por el marco y su vidrio, en la imagen de las 05:32 horas, se aprecia una pérdida de infiltración de caudal de aire en las ventanas superiores, este efecto es producto que se quedaron abiertas las ventanas durante la noche.



*Ilustración 38: Vista termografía 12.*

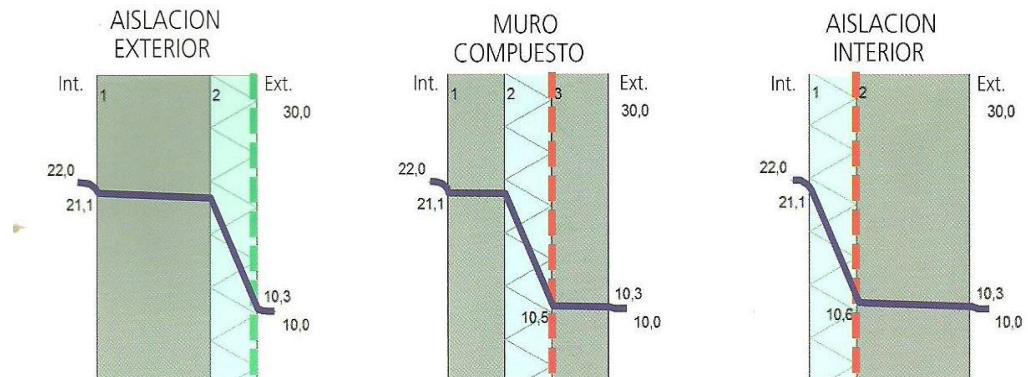
Al igual que la ilustración 26, se aprecia que el edificio de oficinas de la facultad de ingeniería, fue hecho con un material homogéneo, pero termográficamente el 4to piso corresponde a un material distinto de los primeros 3 pisos, además tiene una deficiente aislación térmica en los muros y bajo las ventanas, provocando varios lugares que pierdan energía.

#### **Capítulo 4: Análisis de resultados.**

El motivo para usar una solución térmica exterior es porque esta presenta un mejor comportamiento a estos 3 fenómenos:

- a) Puntos de rocío.
- b) Dilatación térmica.
- c) Capacidad térmica.

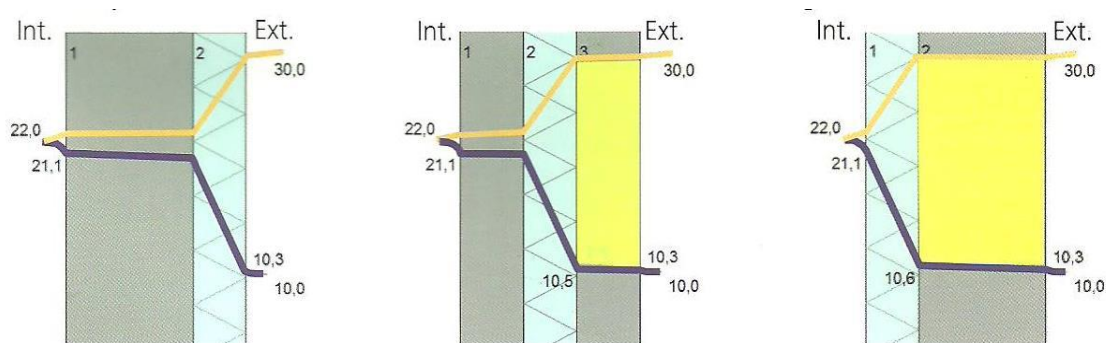
- a) Puntos de rocío: Este fenómeno ocurre cuando el vapor de agua empieza a condensarse a cierta temperatura. Este efecto es un enemigo número uno para los elementos constructivos. Si hay presencia de agua dentro de un muro aumenta la probabilidad de formación de hongo y degradación en los materiales. (Ver ilustración 39).



*Ilustración 39: Esquema de punto de rocío en relación a la ubicación del material aislante. Fuente: StoTherm, sistema de aislación exterior de fachadas. Opciones, beneficios, aplicaciones a la reglamentación térmica y uso en certificado energético de viviendas.*

En la ilustración anterior, se puede ver los gradientes de temperatura en las distintas ubicaciones del material aislante, en la aislación exterior el punto de rocío se genera en la zona exterior del muro a una temperatura de 10,3 °C, generando agua en la zona exterior y aislando todo material constructivo. En el muro compuesto y de aislación exterior los puntos de rocío se generan más o menos a la misma temperatura, pero debido a la ubicación del aislante térmico la formación de agua se produce entre la capa de aislación y el muro afectando la vida útil de esta construcción.

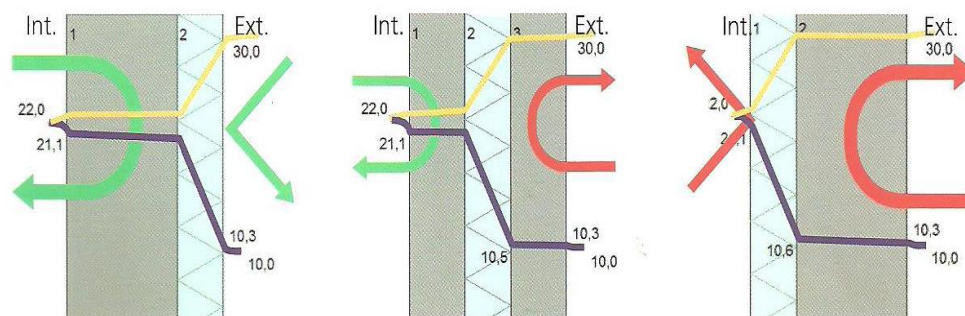
- b) Dilatación térmica: Este fenómeno ocurre cuando la dilatación térmica es la deformación de los elementos debido a los cambios de temperatura. Estos cambios de volumen pueden dañar el muro haciendo que se generen grietas permitiendo intrusión de agua en la construcción. (Ver ilustración 40).



*Ilustración 40: Esquema de dilatación térmica en relación a la ubicación del material aislante. Fuente: StoTherm, sistema de aislación exterior de fachadas. Opciones, beneficios, aplicaciones a la reglamentación térmica y uso en certificado energético de viviendas.*

En la ilustración 40, se muestran dos líneas que corresponden a los cambios de temperatura de en condición de verano (amarillo) y condición de invierno (Azul) y las zonas amarillas corresponden a los cambios de volumen que se pueden generar. En la solución de aislante térmico exterior no hay alteración de volumen ya que el gradiente de temperatura cambia en las zonas de aislación impidiendo este fenómeno, en cambio a las otras soluciones se producen cambios de volumen que pueden generar alteraciones y afectar la durabilidad de la construcción.

c) Capacidad térmica: Se refiere a la cantidad de energía que hace falta para elevar la temperatura de un material, esto depende del tipo de material que se use. (Ver ilustración 41).



*Ilustración 41: Esquema de capacidad térmica en relación a la ubicación del material aislante.*

*Fuente: StoTherm, sistema de aislación exterior de fachadas. Opciones, beneficios, aplicaciones a la reglamentación térmica y uso en certificado energético de viviendas.*

En la ilustración anterior, se puede ver el comportamiento de la energía a través del muro, en la solución de aislación exterior, el flujo de energía interior se mantiene debido al aislante exterior impidiendo la pérdida de energía. En el muro compuesto ocurre el mismo fenómeno de la solución exterior, pero en una menor cantidad, como se puede apreciar en el esquema, como último usando la solución de aislación interior la energía se refleja impidiendo el flujo de energía.

Usando la solución exterior se puede minimizar o anular los puntos de rocío y la dilatación térmica aumentando la durabilidad de la construcción y mejorando el flujo de energía.

La facultad de ingeniería, se divide en 2 edificios aledaños, uno es el edificio de salas de ingeniería y el otro es el edificio de oficinas de profesores.

A continuación, se presenta un resumen de las cargas aplicadas para ambos edificios.

<b>Tipo de cargas</b>	<b>Carga térmica de edificio</b>	
	<b>Salas (KWatt)</b>	<b>Of. Prof. (KWatt)</b>
<b>Qi (Cargas internas)</b>	74,527	17,293
<b>Qc (Cargas de la envolvente)</b>	-41,209	-21,9
<b>Qv (Cargas por ventilación)</b>	-322,562	-43,076
<b>Qs (Cargas solares)</b>	41,07	17,52
<b>Σ Cargas edificio</b>	-248,174	-30,163
<b>Q caldera</b>	123,8	29,4
<b>Balance térmico total</b>	-124,374	-0,763

*Tabla 58: Resumen cargas térmicas que ingresan a los edificios.*

Estos resultados están calculados en detalle en el capítulo de cargas térmicas, estas cargas presentan el estado actual de la facultad de ingeniería, se aprecia que se necesita energía para poder calefaccionar hasta llegar a la temperatura de confort.

En Chile existe una planilla como herramienta de cálculo del sistema de Calificaciones Energéticas de viviendas en Chile, esta es una herramienta propuesta por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU), junto con el Ministerio de Energía, ambos implementaron un sistema de calificación energética de viviendas que busca mejorar la calidad de vida, ahorrar en calefacción, iluminación con posibles soluciones.

La calificación energética, Tiene una duración de 10 años, o hasta que se realice alguna modificación que altere los parámetros con los que fue evaluada la vivienda, esta se identifica mediante una etiqueta, tal como se muestra en la ilustración 42.

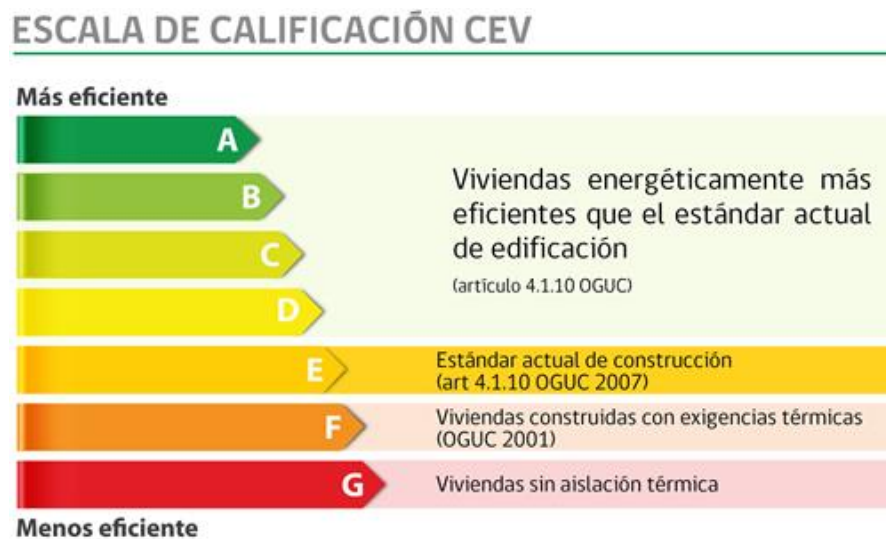


Ilustración 42: Escala de calificación energética.

Fuente: <http://calificacionenergetica.minvu.cl>

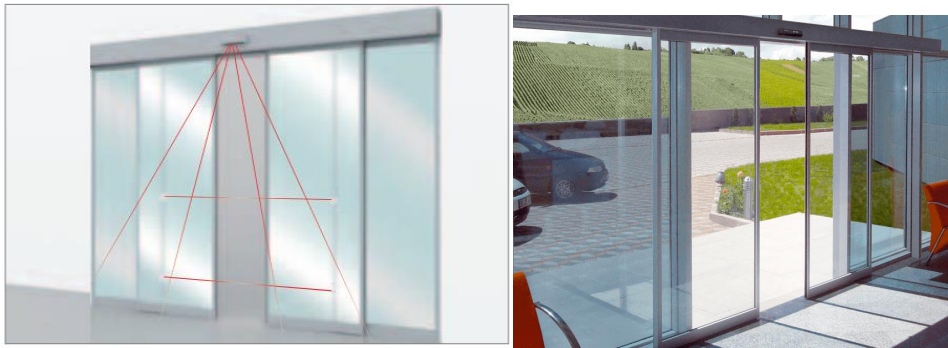
Una vez ingresado los datos a la planilla CEV, la calificación energética para el edificio de oficinas tiene una categoría E y para el edificio de salas tiene una categoría E.

La letra E representa el estándar actual de construcción establecido en el artículo 4.1.10 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC), para aislación en muros, pisos ventilados y techos.

## Posibles soluciones

### 1) Solución control caudal ventilación puerta principal.

Una posible solución para controlar el caudal de infiltración de aire que entra por la puerta principal a la facultad de ingeniería, es una puerta eléctrica con corrediza de dos hojas, con esto se podrá controlar la pérdida de energía que esta presenta, recordando que la mayor pérdida de energía es producto de la carga térmica de ventilación de la puerta principal de la facultad de ingeniería. (Ver ilustración 43).



*Ilustración 43: Puerta eléctrica con corrediza de dos hojas.*

*Fuente:* <http://www.automatics.cl/productos.php?gclid=CPDG3PfKxdACFUMIkQodjw8BPw>

De acuerdo a las medidas actuales de la puerta principal de ingreso a la facultad de ingeniería se procedió a cotizar los valores tanto para la puerta eléctrica con 2 hojas como para la puerta giratoria, los siguientes valores cotizados son:

- Para la puerta eléctrica con corrediza de dos hojas su valor con instalación e IVA es: \$3.108.701. (Ver anexo 1).

Con esto se podrá controlar la carga transmitida por infiltración de aire exterior, lo que se resume en:

- Un ahorro de un caudal de infiltración de 9,7 m<sup>3</sup>/s.
- Un ahorro de carga transmitida por infiltración de 121,62 KWatt.

Con esta solución, el estado actual de la facultad de ingeniería tendría un balance total de:

- Para el edificio de salas -2.746 KWatt.
- Para el edificio de oficinas -0,763 KWatt.

Cabe destacar que esta solución no se puede ingresar a la planilla CEV, puesto que esta planilla no contempla edificios que presenten un ingreso a la carga de ventilación constante.

## 2) Solución STO

Ocupar una solución de revestimiento exterior que comprende de una plancha de polietileno expandido de alta densidad, con un espesor de 3 cm, esta plancha corresponde al aislante térmico, luego corresponde a la terminación como se puede apreciar en la siguiente ilustración. (Ver ilustración 44).



*Ilustración 44: Esquema de revestimiento exterior solución STO.*

*Fuente: StoTherm, sistema de aislación exterior de fachadas. Opciones, beneficios, aplicaciones a la reglamentación térmica y uso en certificado energético de viviendas*

Con esta solución se va a modificar la transmitancia térmica, cuya fórmula es:

$$Rt = \frac{1}{U} = Rsi + \sum e/\lambda + Rse$$

Donde:

Los valores de Rsi es 0,12 y para Rse es de 0,05.

La razón espesor versus conductividad térmica queda de la siguiente manera:

<b>Material</b>	<b>Espesor (m).</b>	<b>Conductividad térmica <math>\lambda</math> (W/m<math>\times</math>°K)</b>	<b>e/ <math>\lambda</math></b>
<b>Hormigón armado</b>	0,2	1,63	0,123
<b>Aislapol alta densidad</b>	0,03	0,038	0,789
<b>Mortero de pega</b>	0,005	1,4	0,004
<b>Acabado</b>	0,01	2,33	0,004
		<b><math>\sum e/\lambda</math></b>	<b>0,920</b>

*Tabla 59: Resumen solución STO para muro.*

De esta forma los valores con solución STO son:

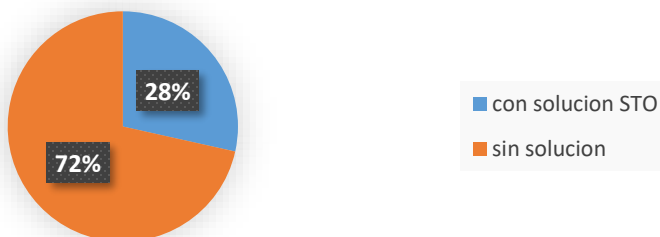
$$Rt = 1,09 \frac{m^2 \times K}{W}$$

$$U = 0,917 \frac{W}{m^2 \times K}$$

Esta solución equivale a una carga por transmisión a través de paredes exteriores de -10,18 KWatt para edificio de salas y para el edificio oficinas de profesor equivale a -5,735 KWatt, para ambos edificios esta solución equivale a un mejoramiento de 3,1 veces el valor sin solución de los muros.

En el siguiente grafico muestra la comparación de perdida de energía sin solución versus la perdida de energía con solución STO, en los muros. (Ver ilustración 45).

## Perdida de la carga de energia de los muros



*Ilustración 45: Gráfico comparación solución STO versus estado actual de la facultad. Fuente: Elaboración propia.*

De acuerdo a un estudio de análisis de precio unitario previo, la solución STO, tiene la siguiente cotización por metros cuadrado (Ver Anexo 2 y 3).

- Para el revestimiento exterior STO, este tiene un valor de 13.075 \$/m<sup>2</sup>.
- Para la terminación exterior STO, este tiene un valor de 5.424 \$/m<sup>2</sup>.
- Con un total de 18.500 \$/m<sup>2</sup>.

Por ende, el valor total para un mejoramiento solución tipo STO, se expresa en la tabla 61:

Edificio	Área(m <sup>2</sup> )	Valor total (\$M)
Salas	739,81	13,686
Of. Prof.	416,73	7,7093
<b>Total</b>		<b>21,395</b>

*Tabla 60: Resumen presupuesto solución STO*

En resumidas cuentas, la solución STO, solo mejora la carga de transmisión a través de paredes, esta solución no es acertada para el edificio de salas, ya que faltaría 98 KWatt para llegar a

la temperatura de confort, en cambio para el edificio de oficinas de profesores, se podría ahorrar 15,316 KWatt, en este caso, no se podría hablar de solución acertada, ya que todavía persiste el problema dentro del edificio de salas, inclusive si los 15,316 KWatt sobrantes de la caldera del edificio de oficinas de profesores se conectase a la caldera para el edificio de salas, aun se necesitarían 83,506 KWatt, para que el edificio de salas llegue a la temperatura de confort.

Sin duda la perdida más importante es por ventilación, perfectamente ambas soluciones pueden trabajar en conjunto y de esta forma se puede esperar un ahorro de energía.

La tabla 61 muestra un resumen de la carga térmica total de la facultad de ingeniería, solo con la solución STO.

<b>Tipo de cargas</b>	<b>Carga térmica de edificio</b>	
	<b>Salas (KWatt)</b>	<b>Of. Prof. (KWatt)</b>
<b>Qi (Cargas internas)</b>	74,527	17,293
<b>Qc (Cargas de la envolvente)</b>	-15,657	-5,821
<b>Qv (Cargas por ventilación)</b>	-322,562	-43,076
<b>Qs (Cargas solares)</b>	41,07	17,52
<b>Σ Cargas edificio</b>	-222,622	-14,084
<b>Q caldera</b>	123,8	29,4
<b>Balance térmico total</b>	-98,822	15,316

*Tabla 61: Resumen carga térmica solución STO.*

### **3) Solución 1 y solución STO en conjunto.**

El costo del conjunto de soluciones, tales como la solución STO y la solución 1, tiene un costo total de \$24.504.136.

Estas generan un gran mejoramiento al balance térmico total, para el edificio de salas, genera una carga térmica total de 22,806 KWatt y para el edificio de oficinas de profesores, una carga térmica de 15,316 KWatt.

Con estas soluciones se podría ahorrar dinero de ambos edificios, con este conjunto de solución se necesitará menos carga térmica de las calderas y por ende se podría apagar en ciertos momentos que se alcance la temperatura de confort.

Con esta solución mejora su calificación energética obtenida mediante la planilla del MINVU, con esta solución pasa de tener una calificación E, para obtener una calificación D, tanto para oficinas de profesores como edificio de salas.

Aplicando el conjunto de soluciones STO más solución 1, esta se podría ahorrar un 12,37% para edificio salas y un 77,57 % para edificio oficinas de profesores, como ambas calderas son distintas, se podría ahorrar en conjunto un 24,88% del gasto de calefacción, equivalente a 897,65 m<sup>3</sup> de gas natural (para detalles del consumo anual ver anexo 5), esto equivale a \$2.601.404.- ahorro anual.

Con esta solución se podrá recuperar el dinero invertido en 9,4 años.

#### **4) Solución FG1.**

Esta solución es similar a la solución de la STO, es una solución de revestimiento exterior, tiene la particularidad que la conductividad térmica del elemento mineral es mayor en comparación a la conductividad térmica del polietileno expandido de alta densidad, otra particularidad es que no es necesario tener una terminación debido a que el panel cumple con los fines térmicos, resistente al fuego y estéticos.

La instalación de esta solución es muy similar a la de la STO, la forma de instalación es agregar mortero de pega a los muros, luego aplicar las planchas FG1.

Con esta solución se va a modificar la transmitancia térmica, cuya fórmula es:

$$Rt = \frac{1}{U} = Rsi + \sum e/\lambda + Rse$$

Donde:

Los valores de Rsi es 0,12 y para Rse es de 0,05.

La razón espesor versus conductividad térmica queda de la siguiente manera:

<b>Material</b>	<b>Espesor (m).</b>	<b>Conductividad térmica <math>\lambda</math> (W/m<math>\times</math>°K)</b>	<b>e/ <math>\lambda</math></b>
<b>Hormigón armado</b>	0,2	1,63	0,123
<b>Placa FG1</b>	0,04	0,05	0,8
<b>Mortero de pega</b>	0,005	1,4	0,004
		$\Sigma e/\lambda$	<b>0,927</b>

Tabla 62: Resumen solución FG1 para muro.

De esta forma los valores con solución FG1 son:

$$R_t = 1,097 \frac{m^2 \times K}{W}$$

$$U = 0,911 \frac{W}{m^2 \times K}$$

Esta solución equivale a una carga por transmisión a través de paredes exteriores de -12,115 KWatt para edificio de salas y para el edificio oficinas de profesor equivale a -6,825 KWatt, para ambos edificios esta solución equivale a un mejoramiento de 2,9 veces el valor sin solución.

En el siguiente gráfico muestra la comparación de pérdida de energía sin solución versus la pérdida de energía con solución FG1, en los muros. (Ver ilustración 46).

Para el revestimiento exterior FG1, este tiene un valor de 22.346 \$/m2.

Por ende, el valor total para un mejoramiento solución tipo FG1, se expresa en la tabla 63:

Edificio	Área(m2)	Valor total (\$M)
Salas	739,81	16,532
Of. Prof.	416,73	9,312
<b>Total</b>		<b>25,843</b>

Tabla 63: Resumen presupuesto solución FG1

## Perdida de la carga de energia de muros



Ilustración 46: Gráfico comparación solución FG1 versus estado actual de la facultad.  
Fuente: Elaboración propia.

En resumidas cuentas, al igual que la solución STO, solo mejora la carga de transmisión a través de paredes, esta solución no es acertada para el edificio de salas, ya que faltaría 100,757 KWatt para llegar a la temperatura de confort, en cambio para el edificio de oficinas de profesores, se podría ahorrar 14,224 KWatt, en este caso, no se podría hablar de solución acertada, ya que todavía persiste el problema dentro del edificio de salas, inclusive si los 14,224 KWatt sobrantes de la caldera del edificio de oficinas de profesores se conectase a la caldera para el edificio de salas, aun se necesitarían 86,531 KWatt, para que el edificio de salas llegue a la temperatura de confort.

Sin duda la pérdida más importante es por ventilación, perfectamente ambas soluciones pueden trabajar en conjunto y de esta forma se puede esperar un ahorro de energía.

La tabla 64 muestra un resumen de la carga térmica total de la facultad de ingeniería, solo con la solución STO.

Tipo de cargas	Carga térmica de edificio	
	Salas (KWatt)	Of. Prof. (KWatt)
Qi (Cargas internas)	74,527	17,293
Qc (Cargas de la envolvente)	-17,592	-6,911
Qv (Cargas por ventilación)	-322,562	-43,076
Qs (Cargas solar)	41,07	17,52
$\Sigma$ Cargas edificio	-224,557	-15,174
Q caldera	123,8	29,4
<b>Balance térmico total</b>	<b>-100,757</b>	<b>14,226</b>

Tabla 64: Resumen carga térmica solución FG1.

##### 5) Solución 1 y solución FG1 en conjunto.

Estas generan un gran mejoramiento al balance térmico total, para el edificio de salas, genera una carga térmica total de 20,871 KWatt y para el edificio de oficinas de profesores, una carga térmica de 14,226 KWatt.

Con estas soluciones se podría ahorrar dinero de ambos edificios, con este conjunto de solución se necesitará menos carga térmica de las calderas y por ende se podría apagar en ciertos momentos que se alcance la temperatura de confort.

Con esta solución mejora su calificación energética obtenida mediante la planilla del MINVU, con esta solución pasa de tener una calificación E, a obtener una calificación D, tanto para el edificio de salas como el de profesores.

De acuerdo a un estudio de análisis de precio unitario previo, la solución FG1, tiene la siguiente cotización por metros cuadrado (Ver Anexo 4).

El costo del conjunto de soluciones, tales como la solución FG1 y la solución 1, tiene un costo total de \$28.952.426

Aplicando el conjunto de soluciones, esta se podría ahorrar un 11,49% para edificio salas y un 70,99 % para edificio oficinas de profesores, como ambas calderas son distintas, se podría ahorrar en conjunto un 22,91% del gasto de calefacción, equivalente a 826,42 m<sup>3</sup> de gas natural (para detalles del consumo anual (ver anexo 5), esto equivale a \$ 2.394.984.- ahorro anual. Con esta solución se podrá recuperar el dinero invertido en 12,1 años.

## Capítulo 5: Conclusiones.

En general, las construcciones a lo largo del tiempo y del mundo han ido cambiando favorablemente ya que con el arribo de la tecnología y los constantes estudios e investigaciones en el área han contribuido positivamente a la modernización de edificaciones, en más, en el caso de Chile poco a poco ha logrado insertar la modernidad en edificios nuevos o en construcciones ya existentes. Dentro de los pilares más importantes a la hora de construir es la utilización de materiales térmicamente eficientes, pues al utilizar dichos materiales se optimizará el uso de energía y se llegará al punto de confort térmico, por el contrario, en construcciones ya existentes se debe realizar un análisis de su estado actual, observar sectores problemáticos claves y entregar futuras soluciones. En el caso de Chile, no existe un reglamento de especificaciones térmicas mínimas para edificios, solo existe para viviendas, el cual no se puede ocupar, ya que los estándares de calidad de vida son totalmente distintos.

La Facultad de Ingeniería está construida con materiales tradicionales - no térmicos- esto quiere decir que presenta una ineficiencia energética. Es por esto que se consolidó la idea de aplicar el modelo de la envolvente térmica en el cual se encontró sectores térmicamente deficientes. Una vez aplicado el modelo mediante ensayos termográficos quedó demostrado la gran cantidad de puentes térmicos alrededor de toda la infraestructura exterior de dicho inmueble, donde la Norma Chilena NCh853 of.07 cumplió un rol fundamental dentro de este estudio, ya que esta es la norma en la cual se pudo obtener los cálculos de resistencias y transmitancias térmicas de la envolvente del edificio, para identificar los puntos más desfavorables térmicamente hablando.

El estado actual de la facultad de ingeniería no satisface la demanda necesaria para llegar al punto de confort térmico, tanto en el edificio de salas como en el edificio de oficinas de profesores. La gran deficiencia térmica en el edificio de salas se debe a dos causas fundamentales, primero a la gran pérdida de energía producida por la carga de infiltración de aire exterior la cual es producida por un caudal de aire exterior que hace ingreso a dicho inmueble mediante la puerta principal, y la segunda causa es producida por la carga térmica de la envolvente y ocurre por el uso de materiales de construcción de poca resistencia térmica, con la cual el calor generado al interior del inmueble se va perdiendo a través de los elementos de la envolvente (puentes térmicos) y de manera mucho más rápida, al no tener ningún material aislante que impida esta fuga de calor hacia el exterior. Considerando estos puntos desfavorables en el edificio de aulas la calificación energética de la planilla CEV entrega una nota E equivalente al estándar actual de construcción.

Para el edificio de oficinas de profesores las causas de filtración térmica son similares a la del edificio de salas, pero con conclusiones distintas, por ejemplo, la gran pérdida de energía ocurre por la infiltración de aire exterior, pero en este caso no se puede controlar dicho caudal, ya que el caudal de aire que hace ingreso al edificio de oficinas de profesores es producto del abrir las ventanas con el fin de renovar y mantener el confort de la calidad del aire. Mientras que la segunda causa que se detectó, al igual que el edificio de salas, existe pérdida de energía producida por la carga térmica de la envolvente, producto del uso de materiales de construcción de poca resistencia térmica que generan deficiencia térmica dentro del sector.

De acuerdo a los elementos de construcción de la facultad de ingeniería existirá un almacenamiento de calor, sin embargo, al no tener una solución térmica exterior sólo se almacenará durante el día y no es reutilizado cuando es necesario.

De acuerdo a los elementos de construcción de la facultad de ingeniería existirá un almacenamiento de calor estándar, sin embargo, al no tener una solución térmica exterior sólo se almacenará calor durante el día y una pérdida durante la noche.

Mediante el ensayo de inercia térmica experimental, se esperaba idealmente ciclos de cargas y de descarga de energía al interior del edificio. Luego de varias mediciones a las 17:00 horas del día se presentaron variaciones de temperatura de 3°C, esta variación de temperatura se debe principalmente a una aglomeración de alumnos y en conjunto se concluye que la carga interna generada por personas es un valor no despreciable.

Existe una gama de posibles soluciones para mejorar la problemática de la demanda de calefacción, muchas se descartaron de lleno, tal como es el caso de:

1. Ganancias solares. Para adquirir mayor ganancia solares se debería modificar el tipo de vidrio del edificio, pasando de tener un vidrio simple a un vidrio doble, esta mejora traerá consigo un aumento de cargas solares del 30%, pero su alto costo de instalación y material hicieron descartar de lleno esta solución.
2. Las ganancias internas es un parámetro que no se puede modificar, ya que al aumentar la cantidad de personas dentro de la facultad bajaría la calidad de aire, por ende, este tipo de solución no es acertada, además los aportes de la carga interna de aparatos eléctricos e iluminación son cargas, ya que no se puede ocupar mayor cantidad sin darle un previo uso.

3. Las cargas de ventilación. La solución propuesta para las cargas de ventilación fue controlar el caudal de ventilación de ingreso principal a la facultad mediante el cual sólo mejorará la carga de ventilación al edificio de salas, ya que experimentalmente, mediante el ensayo de inercia térmica, esta carga quedó demostrada que no afecta al edificio de oficinas de profesores. Esta solución por si sola representa un notable mejoramiento, pero como solución única no mejorará la carga de ventilación de la facultad de ingeniería.
4. Cargas térmicas de la envolvente. Si se desea mejorar dicha carga se debe tener en cuenta que solo el 91% de la carga térmica de la envolvente corresponde a los elementos externos, tales como muros y solo un 9% podrá ser mejorado correspondiente al techo.

En el presente estudio, se analizaron 2 posibles soluciones, ambas con recubrimiento exterior, una es una placa STO y la otra FG1.

La solución STO consiste en polietileno expandido de alta densidad el cual recubrirá exteriormente a la facultad. Al aplicar esta medida y guiándonos por el análisis térmico de calefacción se obtuvo una mejora considerable de eficiencia la cual pasa de una calificación E hasta obtener una calificación energética D más eficiente. Al aplicar esta solución la transmitancia térmica al muro baja un 66,6% respecto al muro original. Esta solución genera un fenómeno de inercia térmica en donde los elementos pueden almacenar energía para luego, ser reutilizada cuando no exista presencia de una fuente de calor.

La solución FG1 consiste en una placa de material mineral de alta resistencia térmica la cual logra bajar la transmitancia térmica original en un 64,5%. Al igual que la placa STO, obtiene la misma mejora en su calificación energética (Calificación E mejora a D) junto a obtener el mismo fenómeno de inercia térmica, con esto se podrá almacenar energía para cuando no exista presencia de calor durante el día.

Ambas soluciones de recubrimiento presentan un mejoramiento en la carga de la envolvente térmica del muro, pero no sirve como solución única, ya que todavía el balance de energía sigue siendo desfavorable.

En vista a estos resultados obtenidos, se propuso soluciones en conjunto, estas serían controlar el caudal de infiltración más la solución con recubrimiento exterior, con esto se podría llegar al punto de generar ganancias positivas de energía, lo que se traduce en un ahorro considerable desde el punto económico, para la solución en conjunto en donde considera la reducción del caudal de aire exterior más la aplicación de recubrimiento exterior de la placa STO, se podría ahorrar \$2.601.404.- ahorro anual, cuya inversión se podrá recuperar en 9,4 años. Mientras que al aplicar el mismo procedimiento que la anterior se podría ahorrar \$2.394.984.- ahorro anual, cuya inversión se podrá recuperar en 12,1 años.

## Capítulo 6: Referencias bibliográficas

### 6.1) Bibliografía

- Instituto Nacional de Normalización (Chile). NCh1079 of. 77 y of 73. *Arquitectura y construcción - Zonificación climático habitacional para Chile y recomendaciones para el diseño.*
- Instituto Nacional de Normalización (Chile). NCh849 *Aislación térmica - Transmisión térmica - Terminología, magnitudes, unidades y símbolos.*
- Instituto Nacional de Normalización (Chile). NCh850 *Aislación térmica - Método para la determinación de la conductividad térmica en estado estacionario por medio del anillo de guarda.*
- Instituto Nacional de Normalización (Chile). NCh851 *Aislación térmica - Determinación de coeficientes de transmisión térmica por el método de la cámara térmica.*
- Instituto Nacional de Normalización (Chile). NCh 853. Of 91 y 2007: *Acondicionamiento térmico – Envolverte térmica de edificios - Calculo de resistencias y trasmittancia térmicas.*
- Manual de acondicionamiento térmico, CDT la cámara chilena de la construcción.
- Gobierno de Chile, MINVU. Manual de aplicación de la reglamentación térmica, Ordenanza general de urbanismo y construcciones artículo 4.1.10 of. 2013.
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo. Jornada de Acreditación, Sistema de calificación energética de viviendas, ejercicios de cálculo de trasmittancia térmica.
- Manual de gestor energético, sector construcción; Agencia chilena de eficiencia energética, primera edición abril 2014.
- *StoTherm, sistema de aislación exterior de fachadas. Opciones, beneficios, aplicaciones a la reglamentación térmica y uso en certificado energético de viviendas, 2014.*
- McQuiston, Faye C. Calefacción, ventilación y aire acondicionado, 2003.
- Gallegos Miguel, Cristhian Andrés. Soluciones constructivas de aislación térmica, 2008.
- *Catálogo de calderas marca SIME, 2r7 of.*
- *Catálogo de calderas marca SIME, AR4.*



- Manual usuario proyector EPSON Modelo POWERLITE Pro G6050W.
- R.I.T.E. y del manual Aislación Térmica Exterior - Manual de diseño para soluciones en edificaciones.
- MINVU. *Apuntes Jornada de Acreditación, Sistema de calificación energética de viviendas.*
- 10 Datos de Coeficiente de Transmisión de Luz Natural VLTC (Visible Light Transmisión Coefficient) y Coeficiente de Ganancia de Calor Solar SHGC (Solar Heat Gain Coefficient) para diferentes tipos de vidrios de ventanas.
- Gomez – Azpeita, G., Bojorquez, G., Ruiz, R.P – El confort térmico: dos enfoques teóricos enfrentados.
- *Manual de uso cámara termografica fluke ti-125.*
- *Fenercom, Guía de la termografía infrarroja Aplicaciones en ahorro y eficiencia energética, 2011.*
- MINVU. *El listado oficial de soluciones constructivas para acondicionamiento térmico, Edición N°11, marzo 2014.*
- *Lavigne, Pierre. "Arquitectura Climática. Una contribución al desarrollo sustentable", 2003.*
- *Fuentes, V. (s.f.). Arquitectura Bioclimática.*
- Szokolay (2004). *Introduction to Architectural Science.*
- *Cf. Szolnolay, Steven V. Introduction mmmtectuml Science - me basis of Sustainable Design. Architectural Press. Hsevier. London. UK, 2004.*
- *Op. cit. Szokolay, Steven V. (2004) Introduction to Architectural Sclencr*

## 6.2) Linkografía.

- <http://www.fluke.com/fluke/eses/soluciones/camaras-termograficas/Termografia-en-diagnostico-de-edificios.htm>
- <http://www.lighting.philips.com.mx/soporte/soporte/descargas/fichas-tecnicas.html>
- [http://portale.sime.it/jportal/pcontroller/ExtensionHandler/1R-2R%20-ES.pdf?azioneprossima=16&role=2&id\\_extension=114313](http://portale.sime.it/jportal/pcontroller/ExtensionHandler/1R-2R%20-ES.pdf?azioneprossima=16&role=2&id_extension=114313)
- [www.simehellas.gr/attachments/article/176/TEXNIKO%20EΓΧΕΙΡΙΑΔΙΟ%20AR.pdf](http://www.simehellas.gr/attachments/article/176/TEXNIKO%20EΓΧΕΙΡΙΑΔΙΟ%20AR.pdf)
- <http://calificacionenergetica.minvu.cl>
- <http://www.automatics.cl/productos.php?gclid=CPDG3PfKxdACFUMikQodjw8BPw>
- [www.Arquitectura0emisiones.blogspot.com.es](http://www.Arquitectura0emisiones.blogspot.com.es)
- <http://www.arquitecturayenergia.cl/home/el-confort-termico/>
- <http://www.arquitecturamop.cl/eficienciaenergetica/Paginas/default.aspx>
- [www.efficientwindows.org/glazing\\_double.html](http://www.efficientwindows.org/glazing_double.html)
- <http://walker.dgf.uchile.cl/Explorador/Solar3/>

6.3) Anexos

ANEXO N°1

PRESUPUESTO N°		1782	 <b>IB IMPORTADORA BUCAREST</b> <small>PORTONES AUTOMATICOS SISTEMAS DE SEGURIDAD</small>	
Santiago, Noviembre 30 de 2016				
CANT.	DESCRIPCION	VALOR \$		
	<b>SISTEMA DE AUTOMATIZACION DE PUERTA AUTOMATICA DESLIZANTE MODELO DOOR X</b>			
1	<b>TAU Modelo P-10DOOR Kit 1.2</b> Operador de puertas automáticas TAU ( Italiano ), para dos hojas de cristal templado, con central electrónica y microprocesador. Cap 75 Kg por hoja con batería de respaldo para emergencias y motor de 80 W	\$ 880.631		
	<b>S-10 DOOR TRA</b> Travesaño de aluminio de 4 mts <b>S-10 DOOR OT</b> Carril rodadura de aluminio 4 mts <b>S-10 DOOR PRP</b> Perfil antiruido de policeno 4 mts <b>S-10 DOOR COP</b> Cubierta frontal 4 mts	\$ 266.191		
2	<b>S-10DOOR RAD MB</b> Radares detectores de personas <b>BEA</b>	\$ 194.425		
1	<b>S-10DOOR SEL FC</b> Botonera de control con llave	\$ 40.287		
1	<b>S-10DOOR FOTO1</b> Fotocelda de seguridad antiplastamiento.	\$ 60.430		
	<b>S-10 DOOR CING</b> Correa de traccion 8 metros	\$ 68.600		
2	<b>S-10 DOORCRIST 1</b> Kit perfil soporte de hoja para cristales no enmarcados de 10 mm espesor, 1,0 m	\$ 199.790		
	Instalación y Montaje en Stgo	\$ 260.000		
	<b>TOTAL.....</b>	<b>\$ 1.970.354</b>		
2	<b>puertas de cristal templado de 920 x 2500 x 10mm</b>	\$ 522.000		
	<b>El embalaje en madera de cada cristal \$ 60,000 ( solo si el despacho es a otra ciudad o al centro de Stgo)</b>	\$ 120.000		
	<b>El Flete desde Santiago hasta Concepción.</b>	\$ 198.000		
	<b>Nota:</b> El cliente proveerá línea de 220 volts., protegida con automático de 6 amper., y líneas de botonera de control Las obras civiles necesarias para la instalacion del aluminio base del operador son de cargo del cliente			
	<b>Forma de pago:</b> Con la orden . <b>Garantía</b> : 24 meses. <b>Mantenición</b> : Se contratará el correspondiente servicio			
		<b>NETO</b>	\$ 2.810.354	
		<b>IVA</b>	\$ 533.967	
		<b>TOTAL</b>	<b>\$ 3.344.321</b>	

ANEXO N° 2

APU (Análisis de precio unitario)											
NOMBRE :		Revestimiento exterior STO									
UNIDAD :		Pesos por metro cuadrado (\$/m2)									
FECHA:		30 de Noviembre de 2016									
ITEM	UNIDAD	RENDIMIENTO		1 \ RENDIMIENTO		PRECIO UNIDAD		PRECIO TOTAL			
<b>Mano de obra</b>											
Albañil	\$/dia	20	m2/dia	0,05	dia/m2	16000	\$/dia	800	\$/m2		
Ayudante	\$/dia	20	m2/dia	0,05	dia/m2	11000	\$/dia	550	\$/m2		
								% leyes sociales (20%)		270	\$/m2
								<b>Subtotal MO</b>		<b>1620</b>	<b>\$/m2</b>
<b>Materiales</b>											
Aislapol alta densidad	\$/unidad	0,5	m2/Unidad	2	Unidad/m2	2090	\$/Unidad	4180	\$/m2		
Adhesivo y capa base	\$/m2	5	m2/Tineta	0,2	Tinera/m2	24460	\$/Tineta	4892	\$/m2		
Malla fibra de vidrio refuerzo de capa base	\$/m2	40	m2/Rollo	0,025	Rollo/m2	48550	\$/Rollo	1213,75	\$/m2		
Cinta adhesiva sellos de canto	\$/m2	90	m2/Rollo	0,011	Rollo/m2	11540	\$/Rollo	128,22	\$/m2		
								Perdidas 10%		1041,40	\$/m2
								<b>Subtotal Mat.</b>		<b>11455,37</b>	<b>\$/m2</b>
<b>Maquinas</b>											
<b>Subtotal Maq.</b>											
								<b>Total</b>		<b>13.075</b>	<b>\$/m2</b>

ANEXO N° 3

APU (Análisis de precio unitario)											
NOMBRE :		Terminación exterior STO									
UNIDAD :		Pesos por metro cuadrado (\$/m2)									
FECHA:		30 de Noviembre de 2016									
ITEM	UNIDAD	RENDIMIENTO	1 \ RENDIMIENTO		PRECIO UNIDAD	PRECIO TOTAL					
<b>Mano de obra</b>											
Albañil	\$/dia	20	m2/dia	0,05	dia/m2	16000	\$/dia	800	\$/m2		
Ayudante	\$/dia	20	m2/dia	0,05	dia/m2	11000	\$/dia	550	\$/m2		
								% leyes sociales (20%)		270	\$/m2
								<b>Subtotal MO</b>		<b>1620</b>	<b>\$/m2</b>
<b>Materiales</b>											
Pintura de terminacion	\$/m2	81	m2/Tineta	0,012	Unidad/m2	39990	\$/Tineta	494	\$/m2		
Acabado protector y decorativo	\$/m2	13	m2/Tineta	0,077	Tinera/m2	38540	\$/Tineta	2965	\$/m2		
								Perdidas 10%		345,83	\$/m2
								<b>Subtotal Mat.</b>		<b>3804,15</b>	<b>\$/m2</b>
<b>Maquinas</b>											
<b>Subtotal Maq.</b>											
								<b>Total</b>		<b>5.424</b>	<b>\$/m2</b>

ANEXO N°4

APU (Análisis de precio unitario)											
NOMBRE :		Revestimiento exterior FG1									
UNIDAD :		Pesos por metro cuadrado (\$/m2)									
FECHA:		30 de Noviembre de 2016									
CANTIDAD :		1 m2									
ITEM	UNIDAD	RENDIMIENTO	1 \ RENDIMIENTO	PRECIO UNIDAD	PRECIO TOTAL						
<b>Mano de obra</b>											
Albañil	\$/dia	45	m2/dia	0,022	dia/m2	16000	\$/dia	355,556	\$/m2		
Ayudante	\$/dia	45	m2/dia	0,022	dia/m2	11000	\$/dia	244,444	\$/m2		
								% leyes sociales (20%)		120	\$/m2
								<b>Subtotal MO</b>		<b>720</b>	<b>\$/m2</b>
<b>Materiales</b>											
Adhesivo	\$/m2	12	m2/Tineta	0,083	Tineta/m2	12261	\$/Tineta	1022	\$/m2		
Placa de perlita expandida	\$/m2	1	m2/Placa	1,000	Placa/m2	18638	\$/placa	18638,00	\$/m2		
								Perdidas 10%		1965,98	\$/m2
								<b>Subtotal Mat.</b>		<b>21625,73</b>	<b>\$/m2</b>
<b>Maquinas</b>											
								<b>Subtotal Maq.</b>			
								<b>Total</b>		<b>22.346</b>	<b>\$/m2</b>

## ANEXO N° 5

MES	FECHA CONSUMO		LECTURA		mt3	VALOR A
	CONSUMO	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL	CONSUMO
01/01/2014			0	0	0	\$0
01/02/2014			0	0	0	\$0
01/03/2014			0	0	0	\$0
01/04/2014			0	0	0	\$0
01/05/2014	28/04/2014	28/05/2014	20392	21146	754,0	\$2.185.092
01/06/2014	28/05/2014	26/06/2014	21146	22522	1376,0	\$3.987.648
01/07/2014	26/06/2014	29/07/2014	22522	23197	675,0	\$1.956.150
01/08/2014	29/07/2014	27/08/2014	23197	23867	670,0	\$1.941.660
01/09/2014	27/08/2014	26/09/2014	23867	24374	507,0	\$1.469.286
01/10/2014	26/09/2014	27/10/2014	24374	24384	10,0	\$28.980
01/11/2014			0	0	0,0	\$0
01/12/2014			0	0	0,0	\$0
01/01/2015			0	0	0,0	\$0
01/02/2015			0	0	0,0	\$0
01/03/2015			0	0	0,0	\$0
01/04/2015	25/03/2015	24/04/2015	24384	24385	1,0	\$2.898
01/05/2015	24/04/2015	26/05/2015	24385	24785	400,0	\$1.159.200
01/06/2015	26/05/2015	24/06/2015	24785	25589	804,0	\$2.329.992
01/07/2015	24/06/2015	24/07/2015	25589	26248	659,0	\$1.909.782
01/08/2015	24/07/2015	25/08/2015	26248	26904	656,0	\$1.901.088
01/09/2015	25/08/2015	24/09/2015	26904	27518	614,0	\$1.779.372
01/10/2015	24/09/2015	26/10/2015	27518	27813	295,0	\$854.910
01/11/2015			0	0	0,0	\$0
01/12/2015			0	0	0,0	\$0
01/01/2016			0	0	0,0	\$0
01/02/2016			0	0	0,0	\$0
01/03/2016	23/02/2016	23/03/2016	27813	27815	2,0	\$5.796
01/04/2016	23/03/2016	25/04/2016	27815	27877	62,0	\$179.676
01/05/2016	25/04/2016	24/05/2016	27877	28403	526,0	\$1.524.348
01/06/2016	24/05/2016	22/06/2016	28403	29122	719,0	\$2.083.662
01/07/2016	22/06/2016	22/07/2016	29122	29819	697,0	\$2.019.906
01/08/2016	22/07/2016	24/08/2016	29819	30610	791,0	\$2.292.318
01/09/2016	24/08/2016	23/09/2016	30610	31214	604,0	\$1.750.392
01/10/2016			0	0	0,0	\$0