

CÁLCULO DE POTENCIA DE CALEFACCIÓN DEL EDIFICIO SAN ALBERTO MAGNO DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE LA SANTÍSIMA CONCEPCIÓN PARA EVALUACIÓN ENERGÉTICA Y PROPUESTA DE REDUCCIÓN DE ÉSTA.

P. Peñailillo Medina¹, F. González Monsalve² y F. Ferraro Castillo³

RESUMEN:

En la actualidad, Chile cuenta con normas que obligan a edificar según parámetros mínimos de aislación térmica en la envolvente del edificio. La primera etapa comenzó en el año 2000 con el Ministerio de Vivienda y Urbanismo la que indica requisitos para la cubierta apuntando a conseguir un confort térmico. Luego la segunda etapa incorpora requisitos para muros, ventanas y pisos según mapa de zonificación climática de la NCh1079, la que comenzó a tener vigencia desde enero del año 2007. Su tercera etapa no solo busca un confort térmico para los ocupantes de las viviendas o edificios, sino que busca la sustentabilidad de esta, para ello, se indican requerimientos mínimos para llegar a tener una certificación energética.

En el presente trabajo se estudiará la envolvente térmica del edificio San Alberto Magno de la Universidad Católica de la Santísima Concepción, donde se calculará teóricamente la demanda de calefacción y se pondrán soluciones constructivas para reducir las pérdidas de energías.

La construcción fue modelada mediante el software BIM REVIT 2017, donde se obtuvo un gráfico de carga de calefacción mensual, la que fue comparada y analizada con los cálculos teóricos realizados.

De los cálculos la demanda energética para el edificio es de -132 kW, las mayores pérdidas son provocadas por la ventilación sensible y por elementos de la envolvente con un 65% y 32% respectivamente. Para esto se propuso una solución que implementa un sistema de revestimiento exterior tipo EIFS y el cambio de ventanas a termopanel Low-E. Si bien las mayores pérdidas son producto de la ventilación sensible, las soluciones propuestas apuntan a cumplir con los requerimientos mínimos de transmitancia en los elementos de la envolvente propuestos según zonificación climática.

Al aplicar esta solución la demanda energética se reduce en un 19,2% llegando a -106,5 kW, logrando cumplir con los requerimientos de transmitancias en ventanas y muros. Esta propuesta consigue un ahorro mensual de \$366.031 pesos en los costos de calefacción, la recuperación de la inversión será aproximadamente en 29 años.

PALABRAS CLAVE: Demanda energética, envolvente térmica, confort térmico.

¹ Estudiante, Carrera de Ingeniería Civil, Universidad Católica de la Santísima Concepción, papenailillo@ing.ucsc.cl

² Profesor Guía, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Católica de la Santísima Concepción, fgonzalez@ucsc.cl

³ Profesor Revisor, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Católica de la Santísima Concepción, francescferraro@ucsc.cl



ABSTRACT:

Currently, there are Chilean regulations that set the thermal insulation minimum requirements regarding thermal enclosure for housing construction. However, during year 2000, the Ministry of Housing and Urban Development implemented policies promoting energy savings. These policies were focused on housing heating, and stated that by implementing a good thermal insulation of the construction elements as windows, walls and cladding, sustainability & thermal comfort can be achieved.

The present study will analyse the thermal enclosure for building San Alberto Magno of the Universidad Católica de la Santísima Concepción, which has a surface of 2,124m² approximately. A detailed analysis of existing energy losses & gains will be presented.

The building was modelled with the software BIM REVIT 2017, obtaining an energy report which was then analysed & compared to the analytical calculations previously done.

From the analytical calculations, it can be observed that energy losses are produced by the enclosure, and also by ventilation sensitive loads. The total loss of energy is 132 kW. A mixed solution was implemented that reduces the total load in 19,2%. The solution consists of the replacement of monolithic glass for Low-E glass on the windows. The system EIFS was used for the exterior walls.

KEYWORDS: *energy demand, thermal enclosure, thermal confort.*

1. INTRODUCCIÓN

Nuestro planeta atraviesa una crisis ambiental como nunca antes se ha visto. El cambio climático y la depredación indiscriminada de recursos naturales nos han llevado a un punto sin retorno. Hoy, más que nunca, el ahorro energético y el uso prudente de los recursos cobran vital importancia para asegurar la sustentabilidad del planeta.

Chile no ha quedado exento del alcance de la crisis ambiental y energética, lo que ha impactado el sector político, industrial y constructivo, entre otros. Por consiguiente, la implementación de medidas que beneficien el ahorro energético, tanto para el bien del planeta, como para todos quienes lo habitamos se ha vuelto indispensable.

En razón de lo anterior, desde el año 2000, el MINVU modificó la Ordenanza General de Urbanización y Construcción fijando parámetros mínimos para asegurar la calidad de la vivienda. Un factor preponderante según dicho documento es el confort ambiental que cualquier tipo de recinto debe proveer, y que será entendido como un atributo básico dentro de la realización de un proyecto de vivienda.

Dentro del factor de confort de la vivienda, se distingue el confort térmico, que deberá ser alcanzado con el menor uso de energía posible, para poder ser denominada una vivienda o edificio como sustentable, es decir, que por sí sola o mediante el uso de energías renovables logra el confort térmico.

El presente informe tiene como objetivo determinar la demanda de calefacción para el edificio San Alberto Magno, Facultad de Ciencias de la Universidad Católica de la Santísima Concepción, tanto para cargas internas como externas que son producidas por el edificio. Asimismo, se modelará el edificio mediante el software Revit 2017 para un posterior análisis energético. Una vez obtenidos los resultados, se establecerá una comparación y análisis de las cargas térmicas, para luego entregar soluciones constructivas eficientes, que aseguren tanto el confort térmico como la reducción de energía convencional.

2. ÁREA DE ESTUDIO

La construcción que se analizará es el edificio San Alberto Magno, que posee una superficie de 2.124 m² aproximadamente; dividida en zonas de laboratorios para alumnos, laboratorios de investigaciones y oficinas. Al comienzo esta estructura estaba compuesta de muros de hormigón y albañilería luego con el tiempo se construyó el 3^{er} piso del lado oeste y posteriormente el 4^{to} nivel del lado Este, estas ampliaciones corresponden a estructuras metálicas.

La Facultad de Ciencias (*Figura 1*) se ubica en la Universidad Católica de la Santísima Concepción, campus emplazado en calle Alonso de Ribera #2850, Comuna de Concepción, Región del Bío-Bío, Chile. Sus coordenadas geográficas son 36°79'76''S, 73°05'56''W. Según el Mapa de Zonificación Climático Habitacional de Chile, Concepción se encuentra en la zona térmica 4⁴ y en la zona climática Sur Litoral⁵.



Figura 1: Edificio San Alberto Magno, Facultad de Ciencias.
Fuente: Elaboración propia.

⁴ Guía de diseño para la eficiencia energética en la vivienda social, publicación n°333.

⁵ NCh 1079 of 2008, Arquitectura y construcción – Zonificación climático habitacional para Chile y recomendaciones para el diseño arquitectónico.

3. METODOLOGÍA

3.1. Balance térmico

En una edificación el balance térmico⁶ se ve representado por el flujo de energías entre el edificio y su entorno. Este balance compara las sumas de energías ganadas y pérdidas. Cuando se logra la igualdad entre estas sumas, lo llamaremos equilibrio energético o estado de confort del recinto⁷.

En la *Figura 2* se representan los principales fenómenos de transferencia de energías que intervienen en el comportamiento térmico de un edificio.

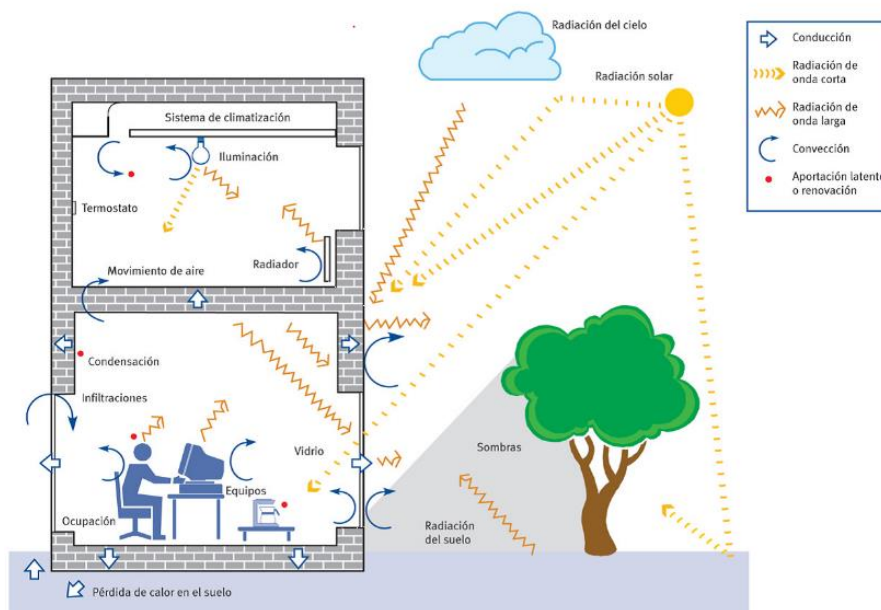


Figura 2: Fenómenos de transferencia de energía.

Fuente: www.simulaciontermica.com

Este balance se representa según la *ecuación 1*.

$$Q_{total} = Q_s \pm Q_i \pm Q_c \pm Q_v \pm Q_{caldera}$$

Ecuación 1: Balance térmico total

Donde:

$$Q_s = Q_{solares\ directas} + Q_{solares\ indirectas}$$

$$Q_i = Q_{Internas\ iluminación} + Q_{internas\ ocupantes} + Q_{internas\ artefactos}$$

$$Q_c = Q_{envolvente}$$

$$Q_v = Q_{ventilación\ sensible} + Q_{ventilación\ latente}$$

⁶ Acondicionamiento térmico de edificios, Buenos Aires (Díaz, 2005)

⁷ Manual de Acondicionamiento Térmico; una guía para el dueño de casa. Concepción, Chile 2016.



3.2. Carga térmica sensible⁸

La estructura se ve afectada por distintos tipos de cargas que modifican la temperatura del aire y se muestran en la *ecuación 2*.

$$Q_{Sensible} = Q_{sr} + Q_{srt} + Q_c + Q_{vs} + Q_{ips} + Q_{iii} + Q_{iid} + Q_{ie} \quad \text{Ecuación 2: Carga térmica sensible.}$$

Donde:

Q_{sr} : Carga térmica solar directa [W].

Q_{srt} : Carga térmica solar indirecta [W].

Q_c : Carga térmica por envolvente [W].

Q_{vs} : Carga térmica por ventilación sensible [W].

Q_{ips} : Carga térmica interna por ocupantes sensible [W].

Q_{iii} : Carga térmica interna por iluminación incandescente [W].

Q_{iid} : Carga térmica interna por iluminación descarga [W].

Q_{ie} : Carga térmica interna por artefactos [W].

3.2.1. Cargas térmicas solares (Q_s)⁹

La radiación solar produce cargas térmicas en las construcciones, generando una ganancia de energía, estas se dividen en cargas solares directas e indirectas.

3.2.1.1. Carga solar directa (Q_{sr})

Son aquellas que atraviesan áreas transparentes ya sean puertas o ventanas, estas aportan energía hacia el interior produciendo un aumento de temperatura, se calcula según la *ecuación 3*.

$$Q_{sr} = S * R * \theta \quad \text{Ecuación 3: Carga solar directa}$$

Donde:

S : Superficie del cristal en contacto con el exterior [m^2].

R : Radiación solar incidente que atraviesa la superficie del cristal [$\frac{W}{m^2}$].

θ : Coeficiente de ganancia solar¹⁰.

3.2.1.2. Carga solar indirecta (Q_{srt})

Es la energía que absorben los cuerpos no translúcidos que delimitan con el exterior de la edificación, esta carga retenida por muros y cubiertas es reflejada hacia el exterior y otra parte es transmitida por conducción hacia el interior, se obtiene según la *ecuación 4*.

$$Q_{srt} = U * S * G * \alpha * R_{SO} \quad \text{Ecuación 4: Carga solar directa}$$

Donde:

⁸ Acondicionamiento térmico de edificios, Buenos Aires (Díaz, 2005)

⁹ Acondicionamiento térmico de edificios, Buenos Aires (Díaz, 2005)

¹⁰ Manual de diseño para edificaciones energéticamente eficientes, (Caracas 2004).

U : Transmitancia térmica del elemento $\left[\frac{W}{m^2K}\right]$ ¹¹.

S : Superficie de elemento no translúcido expuesta a radiación $[m^2]$.

G : Radiación solar que atraviesa los elementos no translucidos $\left[\frac{W}{m^2}\right]$.

α : Absortancia de la superficie [%]¹².

R_{SO} : Resistencia de la película exterior de aire $\left[\frac{m^2 \cdot K}{W}\right]$ ¹³.

3.2.2. Carga térmica por elemento de envolvente (Q_c)¹⁴

Energía que interactúa entre la construcción y el ambiente exterior, es decir, flujo térmico que relaciona aquellos elementos que componen la envolvente, entre los que se encuentran muros, ventanas, techumbres, etc. con el exterior de este. Se calcula con la *ecuación 5*.

$$Q_c = U * S(T_{ext}^{\circ} - T_{int}^{\circ}) \quad \text{Ecuación 5: Carga por elementos de la envolvente.}$$

Donde:

U : Transmitancia térmica $\left[\frac{W}{m^2K}\right]$ ¹⁵

S : Superficie expuesta a la diferencia de temperatura $[m^2]$.

T_{ext}° : Temperatura exterior de cálculo $[^{\circ}C]$.

T_{int}° : Temperatura interior de diseño $[^{\circ}C]$.

3.2.3. Carga térmica sensible por ventilación (Q_{vs})¹⁶

Flujo de aire que ingresa desde el exterior hacia el interior del edificio, provocando ganancias o pérdidas de calor. Esta ventilación podría atribuirse a infiltraciones de aire causados por resquicio en la envolvente, ventanas y/o puertas. Obtendremos esta carga mediante *ecuación 6*.

$$Q_{vs} = V_{vent} * \rho * C_{e,aire} * (T_{ext}^{\circ} - T_{int}^{\circ}) \quad \text{Ecuación 6: Carga sensible de ventilación}$$

Donde:

V_{vent} : Caudal de aire de ventilación $\left[\frac{m^3}{s}\right]$.

ρ : Densidad de aire, $(1.18 \left[\frac{kg}{m^3}\right])$.

$C_{e,aire}$: Calor específico de aire, $(1012 \left[\frac{J}{kg^{\circ}C}\right])$.

T_{ext}° : Temperatura exterior de diseño $[^{\circ}C]$.

T_{int}° : Temperatura interior de diseño del local $[^{\circ}C]$.

¹¹ Acondicionamiento térmico-Envolvente térmico de edificios. Cálculo de resistencias y transmitancias térmicas. Instituto nacional de normalización (2007)

¹² Manual de diseño para edificaciones energéticamente eficientes, (Caracas 2004)

¹³ NCh853 of 2007. Acondicionamiento térmico – Envolvente térmica de edificios – Calculo de resistencias y transmitancias térmicas.

¹⁴ Acondicionamiento térmico de edificios, Buenos Aires (Díaz, 2005)

¹⁵ NCh853 of 2007. Acondicionamiento térmico – Envolvente térmica de edificios – Calculo de resistencias y transmitancias térmicas.

¹⁶ Acondicionamiento térmico de edificios, Buenos Aires (Díaz, 2005)



3.2.4. Cargas térmicas internas (Qsi)

Son puntos de calor ubicados en el interior del edificio, estas son producidas por los ocupantes (Q_{ip}), las iluminaciones (Q_{ii}) y los artefactos eléctricos (Q_{ie}), se calcula mediante la ecuación 7.

$$Q_{s,internas} = Q_{ip} + Q_{ii} + Q_{ie} \quad \text{Ecuación 7: Carga térmica interna}$$

3.2.5. Cargas por ocupantes (Qips)

Energía aportada por personas en el interior del edificio, cabe señalar que estas pueden ser ganancias o pérdidas originadas por:

- Radiación: Intercambio de calor debido a que el cuerpo humano posee mayor temperatura que los materiales que componen el edificio, tendiendo a equilibrar.
- Conducción: Traspaso de calor originada por contacto entre los ocupante y los elementos constructivos, este dependerá de las características térmicas de los elementos que componen la envolvente.
- Convección: transferencia de energía entre la piel del humano y el aire existente en el interior.
- Evaporación: Es la perdida de calor que se produce mediante la sudoración del cuerpo humano.
- Respiración: Proceso de ganancia de calor producida por la exhalación de aire que se encuentra a mayor temperatura, aportando vapor de agua al ambiente y generando un aumento de la humedad relativa del aire.

A continuación se muestra la ecuación 8 que determina la carga sensible de ocupantes según la actividad que estén realizando.

$$Q_{ips} = n * C_{Sensible, persona} \quad \text{Ecuación 8: Carga Interna sensible de ocupantes}$$

Donde:

n : Números de personas en el recinto.

$C_{Sensible, persona}$: Calor sensible por persona según actividad que realice [W]¹⁷.

3.2.6. Cargas por iluminación

Esta carga interna es producida por la potencia de las ampolletas, la cual se disipa como calor al ambiente. Cabe mencionar que existen dos tipos que son las incandescentes y fluorescentes las que se determinarán según las ecuaciones 9 y 10.

$$Q_{iii} = n * Pot_{lámpara} \quad \text{Ecuación 9: Carga Interna de iluminación (Incandescente).}$$

$$Q_{iid} = 1.25 * n * Pot_{lámpara} \quad \text{Ecuación 10: Carga Interna de iluminación (Fluorescente).}$$

Donde:

n : Número de lámparas en edificio.

$Pot_{lámpara}$: Potencia de las bombillas [W].

¹⁷ Calefacción, ventilación y Aire acondicionado: Análisis y Diseño, Faye C.McQuiston (2003).

3.2.7. Cargas por equipos (Q_{ie})

Los artefactos eléctricos emiten calor al recinto, la cual será medida según la potencia eléctrica que estos consuman como se muestra en la *ecuación 11*.

$$Q_{ie} = \sum n * Pot_{equipo} \quad \text{Ecuación 11: Carga Interna de artefactos.}$$

Donde:

n : Número de artefactos en el recinto

Pot_{equipo} : Potencia del equipo al interior del recinto [W].

3.3. Carga térmica latente

Cargas que proceden a la alteración de la humedad absoluta o el contenido de agua existente en el aire al interior del edificio, estas son expresadas en la *ecuación 12*.

$$Q_{latente} = Q_{ipl} + Q_{vl} \quad \text{Ecuación 12: Carga térmica latente.}$$

Donde:

Q_{ipl} : Carga interna por ocupante latente.

Q_{vl} : Carga interna de ventilación latente.

3.3.1. Carga térmica por ocupantes

Energía emitida por cada persona la cual dependerá de la actividad que esté realizando, calculándola según *ecuación 13*.

$$Q_{ipl} = n * C_{latente, persona} \quad \text{Ecuación 13: Carga interna latente persona.}$$

Donde:

n : Números de personas en el recinto.

$C_{latente, persona}$: Calor latente por persona según actividad que realice [W]¹⁸.

3.3.2. Carga térmica por ventilación

Transferencia de calor producida por infiltraciones y/o ventilaciones desde el exterior al interior generando cambios de humedades. Las ecuaciones 14 y 15 nos muestran los parámetros a considerar.

$$Q_{vl} = V_r - 0.84 * (W_{int} - W_{ext}) \quad \text{Ecuación 14: Carga de ventilación latente.}$$

$$V_r = V * (R. A. H) \quad \text{Ecuación 15: Caudal de aire de ventilación.}$$

Donde:

V_r : Caudal de aire de ventilación $\left[\frac{m^3}{s}\right]$.

W_{int} : Humedad interior de diseño¹⁹.

W_{ext} : Humedad exterior de diseño.

V : Volumen del recinto $[m^3]$

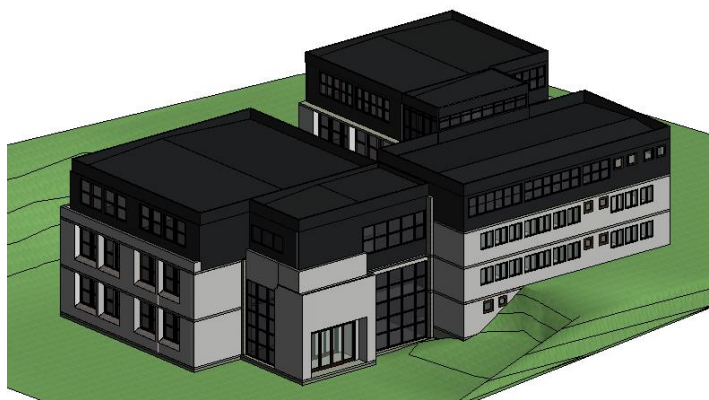
$R. A. H$: Número de renovaciones por hora $\left[\frac{1}{hr}\right]$.

¹⁸ Calefacción, ventilación y Aire acondicionado: Análisis y Diseño, Faye C. McQuiston (2003).

¹⁹ Acondicionamiento térmico de Vivienda Existente. Guía para el dueño de casa, mi casa confortable (2015).

3.4. Modelo BIM REVIT 2017

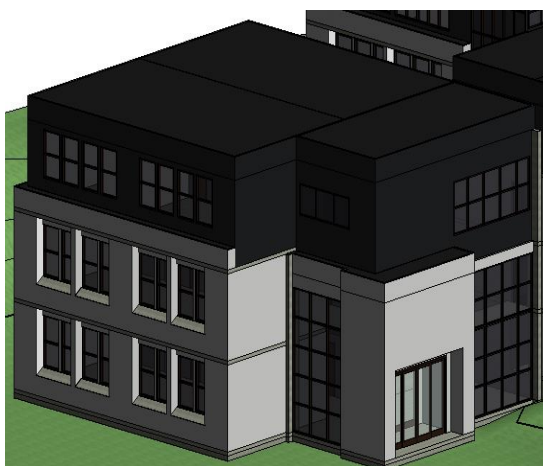
Autodesk Revit 2017 es un software de modelado de información de construcción (*ver figura 3*), la cual se representan todos los elementos constructivos con sus características físicas, como son, la transmitancia térmica, conductividad, resistencia térmica entre otros. Posteriormente se utilizara la herramienta de análisis energético.



*Figura 3: Modelo Revit 2017 de Edificio Alberto Magno.
Fuente: Elaboración propia.*

4. DISEÑO

Para las cargas térmicas del edificio fue necesario fijar parámetros de diseño, estas se asignaron bajo el supuesto de un régimen estacionario, es decir, las condiciones interior y exterior permanecerán estables en un periodo de tiempo. Cabe señalar que para los cálculos el edificio se dividió en 2 partes, zona de laboratorios para alumnos siendo el ala oeste (*ver figura 4*) y zona de laboratorios de investigaciones más oficinas que es el lado este del edificio (*ver figura 5*).



*Figura 4: ala oeste Facultad de Ciencias.
Fuente: Elaboración propia, Modelo Revit 2017.*



*Figura 5: al este Facultad de Ciencias.
Fuente: Elaboración propia, modelo Revit 2017.*

4.1. Temperatura y humedad de diseño

4.1.1. Condiciones al interior del edificio

Para mantener un ambiente de confort térmico dentro del recinto se precisan los parámetros como muestra la *Tabla 1*.

Tabla 1: Condiciones de confort²⁰ en la Facultad de Ciencias.

Temperatura Confort (°C)	Humedad (%)
19	60

4.1.2. Condiciones al exterior del edificio

Mediante la estación meteorológica²¹(carriel sur) se obtuvo la humedad y temperatura de la zona en estudio. Se consideró el periodo de invierno, siendo junio, julio y agosto los meses más fríos del año, éstas se muestran en la *tabla 2*.

Tabla 2: Condiciones al exterior de la Facultad de Ciencias.

	Junio	Julio	Agosto	Promedio
Humedad promedio (%)	96,9	96.9	98.3	97.4
Temperatura promedio (°C)	7,1	5,42	6,06	6,19

4.2. Radiación Solar

La radiación solar incidente dependerá de la orientación y posición del edificio. Para hacer más exacto el cálculo se especifican horarios el cual existe radiación en el edificio que son:

Radiación Norte: desde las 11:00 a 17:00 hrs.

Radiación Sur: No se considerará ya que solo le llega luz solar, la cual no aporta energía.

Radiación Oeste: desde las 13:00 a 17:00 hrs.

Radiación Este: desde las 9:00 a 11:00 hrs.

Del promedio de las radiaciones solares²² extraídas se muestrean en *Tabla 3*.

Tabla 3: Radiación Solar Incidente en Facultad de ciencias $\left[\frac{W}{m^2}\right]$.

	Directa	Norte	Sur	Este	Oeste
Radiación Solar	156,1	162,9	0	116,1	121,9

²⁰ Acondicionamiento térmico de Vivienda Existente. Guía para el dueño de casa, mi casa confortable (2015).

²¹ <http://www.minenergia.cl/exploradorsolar/>

²² Fuente: <http://www.minenergia.cl/exploradorsolar/>

4.3. Coeficiente de ganancia solar(Θ)

Este coeficiente describe la cantidad de radiación solar que traspasa a través de un cristal o un material translucido, estos valores pueden ser 1 que representa la máxima ganancia y el valor 0 indicando que no existe ganancia solar²³. A continuación se muestra la tabla 4.

Tabla 4: Coeficiente de ganancia solar.

Características del cristal	Coeficiente (Θ)
Simple claro	0,86
Doble alta ganancia solar Low-E	0,71

4.4. Absortancia(α)

Es la relación que existe entre el flujo de radiación absorbida por una superficie y la radiación total que incide sobre ella, estos valores dependerán del color y acabado de los materiales existentes. La *tabla 5* muestra el valor utilizado para este proyecto.

Tabla 5: Absortancia en paredes²⁴ de la Facultad de Ciencias.

Material de paredes	Absortancia (%)
Pintura gris oscura	91

4.5. Resistencia de la película exterior del aire(R_{so})

Se define como una fina película de aire producida justo sobre la superficie de los cerramientos, esta resistencia varía dependiendo si se encuentra en el exterior o interior del elemento y si este está en forma horizontal, vertical o inclinada. En la *figura 6* se muestran los valores a considerar para esta construcción.

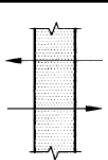

Posición del elemento y sentido del flujo de calor		Resistencias térmicas de superficie en $m^2 \times K/W$					
		Situación del elemento					
		De separación con espacio exterior o local abierto			De separación con otro local, desván o cámara de aire		
		R_{si}	R_{se}	$R_{si} + R_{se}$	R_{si}	R_{se}	$R_{si} + R_{se}$
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

Figura 6: Resistencia térmica de superficies.

Fuente: Tabla 2, NCh 853-2007 Acondicionamiento térmico.

²³ Manual de diseño para edificaciones energéticamente eficientes, (Caracas 2004)

²⁴ Manual de diseño para edificaciones energéticamente eficientes, (Caracas 2004)

4.6. VENTILACIÓN

4.6.1. Velocidad del viento

Del informe eólico emitido por la página del ministerio de energía²⁵ como lo muestra la *Figura 7*, se extrajeron los datos de los meses junio, julio y agosto elaborando velocidades según orientación.

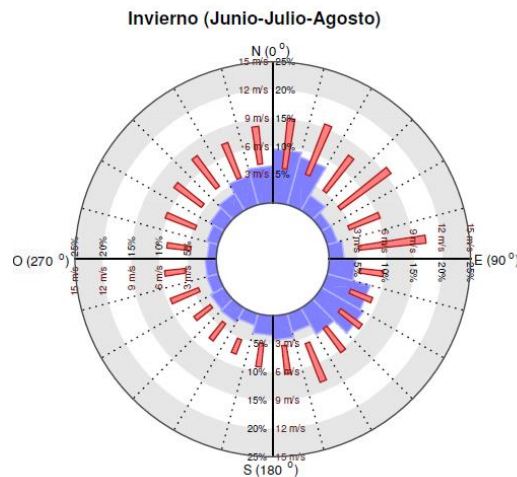


Figura 7: Rosa de los vientos meses junio, julio y agosto.
Fuente: Informe de viento “evaluación del recurso eólico”.

De la rosa de los vientos se observa que los vientos predominantes en Concepción vienen en dirección Norte-Este con un promedio de los 8.3 m/s, mientras que los de menor velocidad provienen de la orientación Sur-Oeste y bordean los 5.8 m/s como promedio. La Tabla 6 muestra las velocidades promedios según direcciones extraídas de la figura 7.

Tabla 6: Velocidad del viento según orientación.

	Norte	Sur	Este	Oeste
Velocidad del viento $\left[\frac{m}{s}\right]$	8,6	5,9	8,0	5,7

Con estas velocidades se calculará la carga sensible de ventilación de la Facultad.

4.6.2. Caudal de ventilación (V_{vent})

Volumen de aire que ingresa mediante puertas y/o ventanas que dan hacia el exterior, las consideraciones a tomar para el cálculo son las siguientes:

- Edificio lado Este
 - El área de ventilación de las ventanas es un 10% del área total.
 - En invierno solo el 40% de las ventanas se abrirán.
 - Las ventanas se abren 10 min cada 1 hora (6.94%)²⁶.

²⁵ <http://walker.dgf.uchile.cl/Explorador/Eolico2/>

²⁶ Fuente: personal de aseo de La Facultad de Ciencias.



- El área de ventilación de las puertas es un 25% del área total.
- Las puertas se abren en total 10 minutos por hora (6.94%)²⁷
- Edificio lado Oeste
 - El área de ventilación de las ventanas es un 10% del área total.
 - En invierno solo el 40% de las ventanas se abrirán.
 - Las ventanas se abren 10 minutos cada 1 hora (6.94%)²⁸.
 - El área de ventilación de las puertas es un 25% del área total.
 - Por hora la puerta se abrirá 20 minutos (13.88%)²⁹.

4.6.3. Caudal de aire infiltrado y ventilación(V_r)

Para el cálculo de este caudal necesitamos el número de renovaciones por hora³⁰, que para nuestro caso se fijará en R.A.H.= $11 \left[\frac{1}{hr} \right]$.

4.7. Carga térmica Interna

4.7.1. Carga de Iluminación

En este caso no hay presencia de iluminaria incandescente, solo lámparas de descarga las cuales se muestran especificadas en la *Tabla 2 del anexo 1*, estas dependerán si son laboratorios de alumnos, oficinas, halls, escaleras y laboratorios de investigación.

4.7.2. Carga por ocupante

Para ambos lados del edificio se estimó un número de personas considerando; horarios de clases, consultando en laboratorios y por cantidad de personas en oficinas.

En la tabla 7 muestra la carga latente y sensible para los ocupantes³¹.

Tabla 7: Calor sensible y latente por ocupante.

Grado de actividad	Calor sensible	Calor Latente
Realizando trabajo moderado de oficina	73	59

4.7.3. Carga por artefacto(Q_{ie})

En este caso se hizo un catastro de todos los equipos en el edificio con su respectivo porcentaje de uso, conforme a las horas que estos se encuentren encendidos (*ver tabla 2 de anexo 1*). También se consideró que solo el 70% de los equipos están encendidos.

4.8. Carga térmica caldera

En la Facultad de Ciencias existen tres calderas, dos que proporciona energía al lado este y la tercera al lado oeste del edificio las que se describen a continuación:

- Edificio lado Oeste

²⁷ Fuente: personal de aseo de La Facultad de Ciencias.

²⁸ Fuente: personal de aseo de La Facultad de Ciencias.

²⁹ Fuente: personal de aseo de La Facultad de Ciencias.

³⁰ Manual de diseño para edificaciones energéticamente eficientes. Caracas (2004)

³¹ Calefacción, ventilación y Aire acondicionado: Análisis y Diseño, Faye C. McQuiston (2003).

- SIME Modelo RX 55 IONO

Esta caldera es utilizada para calefaccionar el lado Oeste del edificio, se ubica en el exterior norte de este. Trabaja un total de 8 horas al día³². Esta es una caldera de pie a gas, con encendido electrónico, tiene una potencia de 60.7 kWatts³³ y un rendimiento del 87.7%.

- Edificio lado Este

- ANWO modelo BAXI ECO 280I

Caldera ubicada en el cuarto piso del lado este del edificio, específicamente en la cocina de ese piso. Esta aporta energía durante 8 horas al día, alimentando el cuarto nivel³⁴. Es una caldera mural a gas, la cual tiene un panel de control digital, entrega calefacción y agua sanitaria, tiene un rendimiento del 90%, una potencia de 35.6 kWatts³⁵ y un rendimiento de 92%.

- SIME Modelo FORMAT.ZIP 30 BF

Caldera ubicada en la parte externa del lado norte del edificio, esta aporta calor durante 8 horas al 2^{do}, y 3^{er} nivel. Es una Caldera mural a gas mixta, con encendido y modulación electrónica, tiene potencia de 28,8 kWatts³⁶ y un rendimiento del 91.6%.

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1. Balance térmico

5.1.1. Carga Solar

5.1.1.1. Carga Solar directa (Q_{sr})

Para determinar esta carga se utilizará la ecuación 3 descrita anteriormente. La superficie de cristal que está expuesta a la radiación solar se muestra en la *Tabla 8*, mientras que la radiación solar y el coeficiente de ganancia solar se indican en las tablas 3 y 4.

Tabla 8: Superficie acristalada expuesta a radiación de la Facultad de Ciencias.

	Norte	Sur	Este	Oeste	Total (m2)
Edificio ala Este	11	0	79	34,8	124,8
Edificio ala Oeste	1	0	53	31,4	85,3

Se observa en la *Tabla 8*, que la orientación sur no existe superficie acristalada expuesta a radiación, ya que en este sentido solo hay presencia de luz solar, por otro lado, la mayor superficie acristalada con radiación solar se concentra en la orientación Este para ambas alas del edificio. Hay que

³² Fuente: personal de aseo de La Facultad de Ciencias.

³³ Fuente: <https://tecnopractica.com/wp-content/uploads/2018/06/SIME-RX-Manual.pdf>

³⁴ Fuente: personal de aseo de La Facultad de Ciencias.

³⁵ Fuente: <https://bunkerclimatizacion.com/#!/producto/103/>

³⁶ Fuente: file:///C:/Users/Pamela/Downloads/Caldera_Sime_format_zip_30____OF%20(3).pdf



considerar, que del total de área acristalada en el Este y Oeste, solo el 95% y 46% de estos están expuestos a la radiación solar.

Luego de reemplazar las superficies en la ecuación 3, obtenemos la carga solar directa, como muestra la *tabla 9*.

Tabla 9: Carga Solar Directa en la Facultad de Ciencias.

	Norte (KW)	Sur (KW)	Este (KW)	Oeste (KW)	Qsr (KW)
<i>Edificio ala Este</i>	1,3	0	6,7	3,1	11,1
<i>Edificio ala Oeste</i>	0,1	0	4,5	2,8	7,4

Se observa de la *Tabla 9*, que el 60% y 32% de la carga solar directa provienen de las direcciones Este y Oeste del edificio. Se considera que solo el 85% de esta carga solar directa total atraviesa el cristal.

5.1.1.2. Carga Solar Indirecta(Q_{srt})

Considerando la *ecuación 4* del apartado 3.2, los parámetros son los siguientes:

- Transmitancia térmica por elementos opaco se muestra en la *tabla 10*.
- Radiación solar se muestra en la *tabla 3*.
- Absortancia se muestra en *tabla 5*, que es para pintura gris oscura con un valor de 91%.
- Resistencia a la película de aire exterior en la *figura 6*, tomando como valor R_{so}=0.05.

Tabla 10: Transmitancia en elementos opacos de la Facultad de Ciencias.

<i>Elemento opaco</i>	Transmitancia Térmica $\left[\frac{W}{m^2K}\right]$
<i>Muro de Hormigón</i>	2,27
<i>Muro de Albañilería</i>	1,33
<i>Muro de Metalcon</i>	0,62
<i>Muro de Acero</i>	0,61
<i>Cubierta</i>	1,03

De la *Tabla 10* podemos inferir que el edificio no cumple con los requerimientos mínimos de transmitancia térmica en los elementos de la envolvente estipulados en el Manual de aplicación reglamentación térmica.³⁷ según zona climática Sur Litoral.

Finalmente, de la *ecuación 4* podemos resumir en la *Tabla 11* la carga solar directa para ambos lados del edificio.

³⁷ Manual de Aplicación Reglamentaria térmica, O.G.U.C.

Tabla 11: Carga Solar Indirecta por orientación y total de la Facultad de Ciencias.

	Elemento opaco	Área total [m ²]	Norte [kW]	Sur [kW]	Este [kW]	Oeste [kW]	Qsrt [kW]	Qsrt [kW]
Edificio ala Este	Muro de Hormigón	168,6	1,6	0	0,6	0,3	2,5	14,7
	Muro de Albañilería	40	0,1	0	0,2	0	0,3	
	Pilares de acero	5,2	0,1	0	0,1	0	0,2	
	Muro de Metalcon	77,2	0	0	0,1	0,1	0,2	
	Cubierta	356					11,5	
Edificio ala Oeste	Muro de Hormigón	178,8	2,1	0	0,2	0,5	2,8	13,4
	Pilares de acero	11,2	0,1	0	0,1	0,2	0,4	
	Muro de Acero	100	0,2	0	0	0,1	0,3	
	Cubierta	306					9,9	

En la *Tabla 10* indica que alrededor de 581 m² de muro están expuestos a la radiación, mientras que 662 m² son en la cubierta, siendo esta el elemento que aporta más carga solar en el edificio, esto se debe, a que su transmitancia es mayor comparada con el muro de hormigón que tiene la mitad de transmitancia que este.

5.1.2. Carga por elemento de la Envolvente (Qc)

Esta carga está definida por la ecuación 5, donde la transmitancia se indica en la *Tabla 10*, las temperaturas están señaladas en las *Tablas 1 y 2*.

Finalmente obtenemos la carga de la envolvente que se muestra en la *tabla 12*.

Tabla 12: Carga por elemento de la envolvente de la Facultad de Ciencias.

	Elemento	Superficie [m ²]	Transmitancia [$\frac{W}{m^2K}$]	Carga de elemento [kW]	Qc (kW)
Edificio ala Este	Muro Hormigón	307	2,27	-8,9	-34,3
	Muro Metalcon	163	0,62	-1,1	
	Muro de Albañilería	79	1,33	-1,3	
	Pilares de acero	7	5,88	-0,5	
	Techumbre	347	1,03	-4,6	
	Ventanas	233	5,74	-17,1	
	Puertas	7	5,74	-0,5	
Edificio ala Oeste	Muro Hormigón	382	2,27	-11,1	-28,8
	Muro Acero	185	0,61	-1,2	
	Pilares de acero	13	5,88	-1,0	
	Techumbre	279	1,03	-3,7	
	Ventanas	145	5,74	-10,7	
	Puertas	13	5,74	-0,9	



De la *Tabla 12* se observa que el 53% del área de la envolvente pertenece a muros, el 29% a cielo raso y el 18% a puertas y ventanas.

Si se analiza la carga térmica, en este caso, la mayor pérdida se debe a puertas y ventanas con un 47%, luego con un 40% los muros. Esto se produce por que las ventanas tienen mayor transmitancia que los distintos muros del edificio.

5.1.3. Carga térmica por ventilación (Q_v)

5.1.3.1. Carga sensible de ventilación (Q_{vs})

Esta carga se obtuvo mediante la ecuación 6 del apartado 3.2.3, considerando una densidad del aire de $1.18 \frac{Kg}{m^3}$, el calor específico del aire de $1012 \frac{J}{Kg^{\circ}C}$, las temperaturas están indicadas en las *Tablas 1* y *2* del apartado 4.1. Para el cálculo del caudal de ventilación se tomaron las consideraciones expuestas en el apartado 7.6.2. Finalmente en la carga sensible de ventilación se muestra en la *tabla 13*.

Tabla 13: Carga sensible de ventilación de la Facultad de Ciencias.

		Norte [kW]	Sur [kW]	Este [kW]	Oeste [kW]	Q_{vs} [kW]	Q_{vs} [kW]
Edificio ala Este	Ventanas	-7,9	-12	-13,6	-11,2	-44,7	-60,1
	Puerta	0	0	-15,4	0	-15,4	
Edificio ala Oeste	Ventanas	-0,4	0,0	-18	-8,8	-27,2	-67,1
	Puerta	0	-39,9	0	0	-39,9	

Se tiene que el 65% de las pérdidas por ventilación corresponden a las ventanas, mientras que el 35% son por las puertas.

5.1.3.2. Carga latente de ventilación (Q_{vl})

De la ecuación 14, la carga de ventilación se muestra en la *Tabla 14*, considerar que los valores de humedad están indicados en las *Tablas 1* y *2*.

Tabla 14: Carga latente de ventilación de la Facultad de Ciencias.

	Volumen [m ³]	R.A.H.	ΔW	Q_{vl} [kW]
Edificio ala Este	3657	11	-0,37	-3,5
Edificio ala Oeste	3049	11	-0,37	-2,9



5.1.4. Carga térmica Interna

5.1.4.1. Carga interna de iluminación(Qii)

De la ecuación 10 del apartado 3.2.6 se generó la *Tabla 15*, la cual nos muestra la carga que nos entregara la iluminación de lámparas de descarga.

Tabla 15: Carga interna de iluminación de la Facultad de Ciencias.

	Qii,d [kW]
<i>Edificio ala Este</i>	0,42
<i>Edificio ala Oeste</i>	0,38

Cabe mencionar que solo se consideró el 80% de la iluminación total y la carga mostrada en la tabla corresponde al 20% de calor que se traspasa a las habitaciones.

5.1.4.2. Carga interna por ocupante(Qip)

5.1.4.2.1. Carga interna sensible por ocupante

Utilizando la ecuación 8 podemos estimar la carga sensible por ocupante mostrada en la *Tabla 16*.

Tabla 16: Carga interna sensible por ocupante en la Facultad de Ciencias.

	<i>n</i> <i>personas</i>	<i>n personas</i> <i>en pasillos</i>	<i>C_{sensible}</i>	Qps [kW]
<i>Edificio ala Este</i>	92	5	73	1,5
<i>Edificio ala Oeste</i>	175	15	73	2,9

Se puede apreciar que en el lado Oeste del edificio existe una mayor cantidad de personas, esto es debido a que en ese sector se ubican los laboratorios de clases. Cabe señalar que este número de personas se estimó según horario de clases e información entregada por personal perteneciente a la facultad.

5.1.4.2.2. Carga interna latente por ocupante

De la ecuación 13 y de la *Tabla 7* podemos determinar esta carga y se muestra en *Tabla 17*.

Tabla 17: Carga interna latente por ocupante en la Facultad de Ciencias.

	<i>n personas</i>	<i>n personas</i> <i>en pasillos</i>	<i>C_{latente}</i>	Qpl [kW]
<i>Edificio ala Este</i>	92	5	59	0,96
<i>Edificio ala Oeste</i>	175	15	59	2,2

5.1.4.3. Carga interna por artefactos (Qie)

Las consideraciones que se hicieron para el cálculo de las potencias de los equipos se muestran en el anexo 1, para el cálculo se utilizó la ecuación 11 y en la *Tabla 18* se muestran los resultados.

Tabla 18: Carga interna por artefactos en la Facultad de Ciencias.

	Qie [kW]
Edificio ala Este	7,02
Edificio ala Oeste	2,32

Cabe señalar que solo se consideró el 20% de la potencia de cada equipo, a esto se le llama potencia residual, es decir, solo el 20% de la carga es traspasada al ambiente.

En la tabla se ve una aumento considerable de esta carga en el ala Este del edificio, esto es producto a la gran cantidad de artefactos eléctricos que se utilizan en los laboratorios de investigaciones.

5.1.5. Carga térmica caldera y aire acondicionado.

El detalle de las cargas de caldera y aire acondicionado se muestran en la tabla 19.

Tabla 19: Resumen de potencias en calderas y aires acondicionados de la Facultad de Ciencias.

	Calderas [kW]	Aire Acondicionado [kW]
Edificio ala Este	64,4	43,7
Edificio ala Oeste	60,7	31,1

A continuación se muestra la *Tabla 20* donde muestra los rendimientos de las calderas.

Tabla 20: Potencia entregada por calderas a la Facultad de Ciencias.

Modelo	Potencia Útil [kW]	Rendimiento [%]	Edificio ala Este [kW]	Edificio ala Oeste [kW]
Format Zip 30 BF	28,8	91,6	26,4	-
ECO 280I	35,6	92	32,8	-
RX 55 iono	60,7	87,7	-	53,2
			59,1	53,2

EL aporte energético entregado por las calderas es de 59,1 [kW] en el lado Este y de 53,2 [kW]. Por otro lado en la *Tabla 21* se muestra el aporte energético que entrega el aire acondicionado.

Tabla 21: Potencia entregada por aire acondicionado a la Facultad de Ciencias.

Aire acondicionado	Edificio ala Este	Edificio ala Oeste
<i>cantidad</i>	16	5
Potencia Nominal Total [kW]	43,73	31,14
Potencia aportada [kW]	26,2	23,4

Se considera que el aire acondicionado funciona 6 horas al día, y del total solo el 60% está funcionando en el ala este y el 75% en el ala oeste.



5.2. Carga térmica sensible

Considerando la ecuación 2 y los cálculos mencionados anteriormente podemos llegar a la *Tabla 22*.

Tabla 22: Carga térmica sensible de la Facultad de Ciencias.

<i>Cargas</i>	<i>Edificio ala Este [kW]</i>	<i>Edificio ala Oeste [kW]</i>	<i>Facultad de Ciencias [kW]</i>
<i>Qsr</i>	11,1	7,4	18,5
<i>Qsrt</i>	14,7	13,4	28,1
<i>Qc</i>	-34,3	-28,8	-63,1
<i>Qvs</i>	-60,1	-67,1	-127,2
<i>Qii,d</i>	0,4	0,4	0,8
<i>Qps</i>	1,5	2,9	4,4
<i>Qie</i>	7	2,3	9,3
<i>Qsensible</i>	-59,7	-69,5	-129,2

De las cargas térmicas sensibles, el 71% de las pérdidas corresponden a la ventilación, mientras que un 29% por elementos de la envolvente, este último es producto que las transmitancias son altas y no cumplen con los requisitos mínimos estipulados en el reglamento térmico.

5.3. Carga térmica latente

De la ecuación 12 y los cálculos realizados anteriormente se muestran en la *Tabla 23*.

Tabla 23: Carga térmica latente de la Facultad de Ciencias.

<i>Cargas</i>	<i>Edificio ala Este [kW]</i>	<i>Edificio ala Oeste [kW]</i>	<i>Facultad de Ciencias [kW]</i>
<i>Qipl</i>	1,0	2,2	3,1
<i>Qvl</i>	-3,5	-2,9	-6,4
TOTAL	-2,6	-0,8	-3,3

5.4. Balance Térmico Total (Q_{Total})

El balance térmico total del edificio corresponde a las pérdidas y ganancias de calor que se producen en la Facultad, estas corresponden a las cargas sensibles más las cargas latentes, estas se muestran en la Tabla 24.

Tabla 24: Balance térmico total de la Facultad de Ciencias [kW].

Tipo de carga	Edificio ala Este	Edificio ala Oeste	Facultad de Ciencias
Cargas Solares (Q_s)			
Directa (Q_{sr})	11,7	7,4	19,1
Indirecta (Q_{srt})	14,8	13,5	28,2
Cargas Internas (Q_i)			
Iluminación Incandescente (Q_{iii})	0,0	0,0	0,0
Iluminación descarga (Q_{iid})	0,4	0,4	0,8
Ocupante Sensible (Q_{ips})	1,5	2,9	4,4
Ocupante Latente (Q_{ipl})	1,0	2,2	3,1
Artefactos (Q_{ie})	7,0	2,3	9,3
Carga Ventilación (Q_v)			
Ventilación Sensible (Q_{vs})	-60,1	-67,1	-127,2
Ventilación Latente (Q_{vl})	-3,5	-2,9	-6,4
Carga Envolvente (Q_c)			
Muros	-12,1	-13,5	-25,6
Ventanas	-17,1	-10,7	-27,8
Puertas	-0,5	-0,9	-1,5
Techumbre	-4,6	-3,7	-8,3
Balance Térmico (Q_t)			
	-61,5	-70,2	-131,7

El balance energético total del edificio corresponde a -131.7 kW, la que se separa en -61.5 [kW] para el lado Este y -70.2 [kW] para el lado Oeste. Se observa que las mayores pérdidas son producto de la ventilación sensible y por elementos de la envolvente con un 64,7% y 32% respectivamente del total de pérdidas.

5.5. Gastos asociados a calderas

Un dato no menor es tener en cuenta el cálculo del gasto asociado a las calderas, para esto se tomó en cuenta la consideración descrita en el punto 4.8. La *Tabla 25* muestra las tarifas asociadas al gasto energético de las calderas.

Tabla 25: Tarifas eléctrica y de gas natural³⁸

<i>Electricidad</i> [\$/KWh]	<i>Gas</i> [\$/m3]
115,54	696

El costo mensual producto del funcionamiento de las calderas y aire acondicionado se representa en la *tabla 26* y *27*.

Tabla 26: Costo mensual asociado a calderas.

<i>Modelo</i>	<i>Costo de Consumo</i>		<i>Gasto mensual</i>
	<i>Gas</i>	<i>Electricidad</i>	
<i>Format Zip 30 BF</i>	\$ 14.432	\$ 147,9	\$ 291.603
<i>ECO 280I</i>	\$ 17.840	\$ 101,7	\$ 358.831
<i>RX 55 iono</i>	\$ 30.418	\$ 147,9	\$ 611.318
	TOTAL		\$ 1.261.751

Finalmente, la Facultad de Ciencias invierte un total de \$1.261.751 pesos al mes en calefacción mediante calderas.

Tabla 27: Costo mensual asociado al aire acondicionado

<i>Aire acondicionado</i>	<i>Edificio ala Este</i>	<i>Edificio ala Oeste</i>	<i>Gasto Mensual</i>
<i>Consumo eléctrico</i>	\$ 399.306	\$ 207.972	\$ 607.278

El costo asociado al uso de aire acondicionado es de \$607.278 pesos al mes, en total la Facultad gasta un total de \$1.869.030 pesos mensuales en calefaccionar el edificio.

³⁸ Fuente: Tarifa de electricidad extraída de boleta de CGE del mes de junio y Tarifa de gas natural extraída de página de gas sur.

5.6. Modelo Revit 2017

Posterior a la modelación e incorporación de parámetros de los elementos constructivos del edificio al software, es necesario ingresar la ubicación geográfica exacta, el tipo de edificación la cual viene siendo un edificio educativo y el plano de suelo entre otros, finalmente se procede a la generación del modelo energético como muestra la Figura 8.

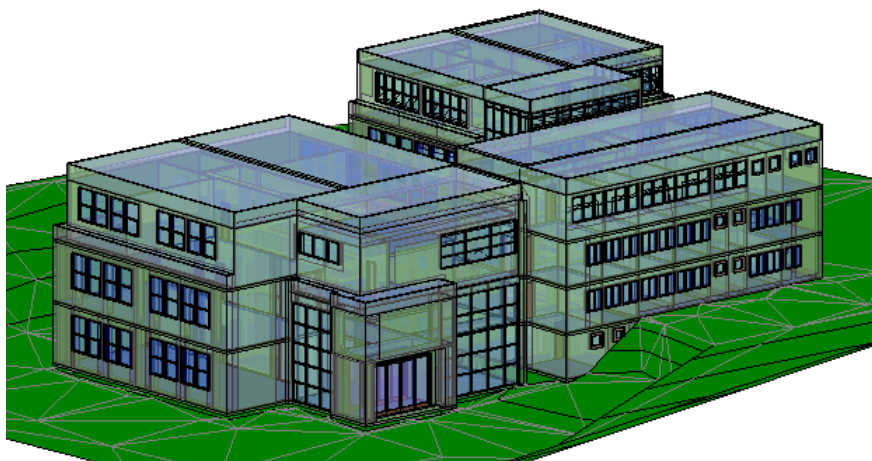


Figura 8: Modelo energético de la Facultad de Ciencias.
Fuente: Informe energético emitido por software Revit 2017.

Considerando que el cálculo teórico se realizó para la demanda energética de calefacción, se extraerá del informe entregado por Revit la carga de calefacción mensual (ver Figura 9) la que entrega la información de pérdidas y ganancias de energías de la Facultad.

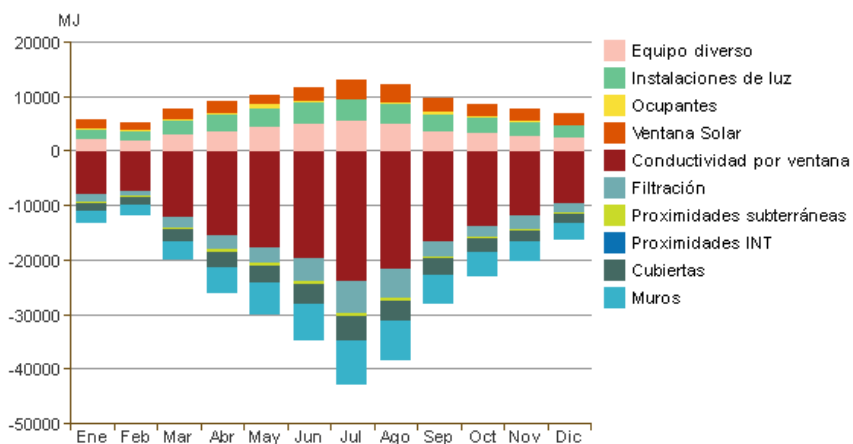


Figura 9: Carga de calefacción mensual.
Fuente: Informe energético emitido por software Revit 2017.

El gráfico de calefacción que nos entrega Revit 2017 se infiere que para los meses de junio, julio y agosto las mayores pérdidas se producen debido a los elementos de la envolvente, principalmente por muros, luego la cubierta, filtraciones y conductividad por ventanas. Las ganancias vienen dado por la radiación solar en ventanas.

6. SOLUCIONES

Del análisis del balance energético de la Facultad de Ciencias, se observa que existe una gran pérdida de cargas térmicas, éstas debido en mayor parte a la ventilación sensible y a la envolvente. A continuación se proponen medidas para poder mitigar las pérdidas relacionadas a la envolvente térmica.

- **Propuesta 1: Ventanas Termopanel Low-E**

El termopanel Low-E se compone de un cristal incoloro tradicional y un cristal Low-E (véase en Figura 10) posee un revestimiento de baja emisividad en una de sus caras que funciona reflejando el calor de vuelta a los recintos, reduciendo así las pérdidas de calor en los meses más fríos a través de ventanas y produciendo un ahorro en el consumo de energía convencional.

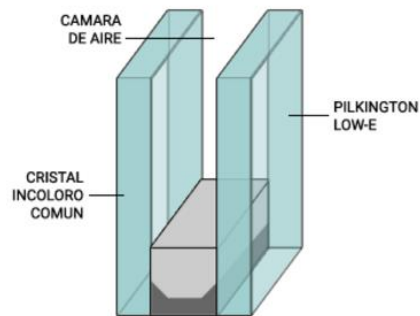


Figura 10: Configuración de Termopanel Low-E.

Fuente: <http://www.conalum.cl/productos/>

Los cambios que se producirán son en la transmitancia de las ventanas, que desciende de un 5,8 a 1,8 $\left[\frac{W}{m^2K}\right]$ y el coeficiente de ganancia solar cambia de un 0.86 a un 0.71.

Tomando en cuenta esta información se procedió al análisis que nos arrojó como resultado una baja en el balance total del edificio como lo muestra la *Tabla 28*.

Tabla 28: Balance térmico antes y después de propuesta 1.

	Edificio Actual [kW]	Edificio con solución [kW]
Q_s	47,4	44,4
Q_c	-63,1	-48,5
Q_v	-133,6	-133,6
Q_i	17,6	17,6
Q_{total}	-131,7	-120,1

La superficie a implementar termopanel es de 290m² aproximadamente, que viene siendo el 13.4% de la envolvente, cabe señalar, que esta área no comprende la superficie con muros cortinas (4.1% de la envolvente).

Al analizar las pérdidas por la envolvente vemos un descenso del 23.1% respecto del edificio actual, no obstante, el requerimiento energético bajo en un 8,8%.

Esta propuesta tiene costos asociados de \$24.650.532 pesos (*ver anexo 2 – Tabla 3*)

- **Propuesta 2: Sistema EIFS**

Este sistema de aislación térmica E.I.F.S., corresponde a un revestimiento térmico exterior, el cual consiste en incorporar una capa de poliestireno expandido en alta densidad (espesor según norma térmica), la cual es adherida al muro mediante morteros altamente adherentes. Esta capa aislante posteriormente es revestida con una malla de fibra de vidrio, la cual es embebida dentro de una capa milimétrica de mortero elastomérico, esta capa posteriormente se refuerza con una segunda capa de enlucido, como se muestra en la figura 11.



Figura 11: Sistema EIFS para un muro de albañilería.

Fuente: www.plataformaarquitectura.cl

Esta solución se considerará solo para los muros de hormigón y de albañilería presentes en el edificio. Con este nuevo sistema, los muros de albañilería redujeron su transmitancia de $1.328 \left[\frac{W}{m^2K} \right]$ a $0.63 \left[\frac{W}{m^2K} \right]$ y en los muros de hormigón también presentan una baja significativa de su transmitancia que va de $2.269 \left[\frac{W}{m^2K} \right]$ a $0.784 \left[\frac{W}{m^2K} \right]$. Considerando un poliestireno expandido de densidad $30 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$ y una conductividad térmica de $0.0361 \left[\frac{W}{mK} \right]$ se recalcula el balance térmico la cual se muestra en la *Tabla 29*.

Tabla 29: Balance térmico antes y después de propuesta 2.

	<i>Edificio Actual</i>	<i>Edificio con solución</i>
<i>Qs</i>	47,4	43,2
<i>Qc</i>	-63,1	-49,3
<i>Qv</i>	-133,6	-133,6
<i>Qi</i>	17,6	17,6
<i>Qtotal</i>	-131,7	-122,2

Esta medida apunta con reducir las pérdidas por elementos de la envolvente, para ello se hizo un revestimiento exterior de 770m² aproximadamente que comprende a muros de hormigón y albañilería, esto corresponde al 35.6% de la envolvente térmica.

En la *Tabla 28* muestra que las pérdidas en la envolvente implementando el revestimiento cae un 22%, mientras el requerimiento térmico desciende en un 7.2%.

La inversión para esta propuesta asciende a \$7.983.533 (*ver anexo 2 – Tabla 4*)

- **Propuesta 3: Termopanel Low-E y revestimiento exterior.**

Esta propuesta busca la mejora de la envolvente térmica, para ello se fusionó la propuesta 1 y 2 obteniendo los siguientes resultados en *Tabla 30*.

Tabla 30: Balance térmico antes y después de propuesta 3.

	<i>Edificio Actual</i>	<i>Edificio con solución</i>
<i>Qs</i>	47,4	44,6
<i>Qc</i>	-63,1	-35,2
<i>Qv</i>	-133,6	-133,6
<i>Qi</i>	17,6	17,6
<i>Qtotal</i>	-131,7	-106,5

Se logró la disminución de un 44% de las pérdidas producidas por la envolvente, en la carga total descendió un 34%.

La implementación de esta propuesta tiene un costo de \$32.634.065 pesos.

7. CONCLUSIONES

La Facultad de Ciencias es una estructura de 2.124m² en total, originalmente esta estructura estaba compuesta de muros de hormigón y albañilería luego con el tiempo se construyó el 3^{er} piso del lado oeste y posteriormente el 4^{to} nivel del lado Este, estas ampliaciones corresponden a estructuras metálicas.

Conforme al análisis del balance térmico calculado teóricamente, las mayores pérdidas son producto de la ventilación sensible y la envolvente térmica con un 64,7% y 32% respectivamente de las pérdidas totales, es por ello que se proponen soluciones para poder lograr un confort térmico reduciendo las pérdidas.

El Manual de aplicación Reglamentación térmica define parámetros mínimos de transmitancia en elementos que componen la envolvente del edificio según zona climática, estos valores deben ser iguales o menores. La Facultad de Ciencias se ubica en la zona Sur Litoral y según los cálculos teóricos de transmitancia de elementos calculados en base a la NCh853, estos no cumplen con ningún parámetro como muestra la *Tabla 31*.



Tabla 31: Transmitancias comparativas entre la Facultad y Manual de aplicación reglamento térmico según zona climática Sur Litoral.

Elemento	Transmitancia $\left[\frac{W}{m^2K} \right]$	
	Calculado	Manual
Muro	2,27	1,7
Ventanas	5,74	2,56
Cubierta	1,03	0,38

La modelación del edificio en Revit 2017 nos entregó en el informe el gráfico de carga de calefacción mensual (figura 12), la cual nos muestra que las mayores pérdidas son producidas por muros, cubierta, filtraciones y conductividad en ventanas. Estos se contradicen con los calculados teóricamente, ya que las mayores pérdidas calculadas son producto de la ventilación sensible, esto puede ser producto a que el software calcula la ventilación como la óptica según el uso del edificio. Por otro lado, vemos que las mayores ganancias son debido a la radiación solar en ventanas, lo que también nos da en el cálculo teórico.

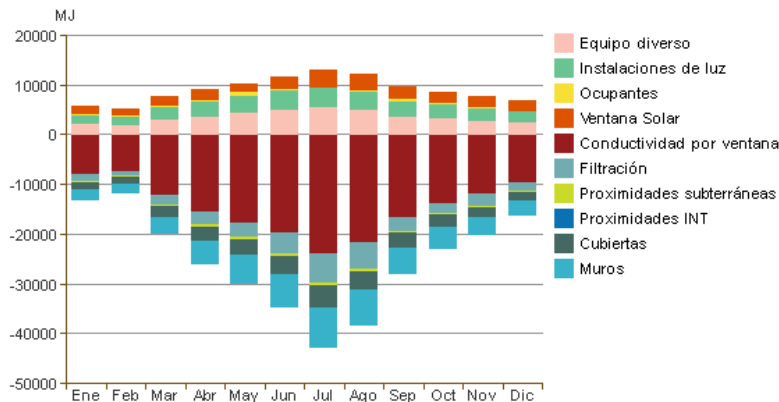


Figura 12: Carga de calefacción mensual.

En relación a lo calculado teóricamente se realizaron 3 propuestas de solución, los que plantean mitigar las pérdidas producidas por la envolvente térmica. Su análisis es el siguiente:

- Propuesta 1: Pretendiendo cumplir con los parámetros indicados en la TDRe y con la disminución de las perdidas producto de la envolvente, está si llega a cumplir con el requerimiento. Considerando que la ventana baja su transmitancia de 5,74 a $1,8 \left[\frac{W}{m^2K} \right]$, esta propuesta reduce en un 8,8% el requerimiento energético del edificio, esto se debe a que la superficie de ventanas corresponde a un 13,4% de la envolvente térmica.
- Propuesta 2: al igual que la propuesta anterior, esta apunta a disminuir las pérdidas en la envolvente producidas por los muros, para esto se hizo un revestimiento exterior con el sistema EIFS. Ahora la transmitancia de los muros si cumplen con los parámetros de la TDRe.



Implementar esta propuesta reduce en un 7,2% la carga térmica total, teniendo en cuenta que la superficie total a revestir equivale al 35,6% de la envolvente térmica.

- Propuesta 3: Esta propuesta busca reacondicionar la envolvente para así cumplir con los requerimientos mínimos de transmitancia de los elementos, para ello se fusionan las propuestas 1 y 2 logrando una reducción de 19.1% de la carga térmica total.

Pretendiendo lograr el cumplimiento de los requerimientos mínimos de transmitancia en ventanas y muros estipulados según zona climática Sur Litoral se propone implementar el cambio de ventanas por termopanel y un revestimiento exterior tipo EIFS. El balance total se muestra en la *Tabla 30*, donde se llega a una reducción del 19.2% de la demanda energética. Estos sistemas tienen un costo total de \$32.634.065 pesos.

Tabla 30: Comparación de balance térmico actual del edificio y propuesta 3.

<i>Tipo de carga</i>	<i>Facultad de Ciencias</i>	<i>Propuesta 3</i>	
Cargas Solares (Qs)			
Directa (Qsr)	19,1	16,4	
Indirecta (Qsrt)	28,2	28,2	
Cargas Internas (Qi)			
Iluminación Incandescente(Qiii)	0,0	0,0	
Iluminación descarga (Qiid)	0,8	0,8	
Ocupante Sensible (Qips)	4,4	4,4	
Ocupante Latente (Qipl)	3,1	3,1	
Artefactos (Qie)	9,3	9,3	
Carga Ventilación (Qv)			
Ventilación Sensible (Qvs)	-127,2	-127,2	
Ventilación Latente (Qvl)	-6,4	-6,4	
Carga Envolvente (Qc)			
Muros	-25,6	-12,3	
Ventanas	-27,8	-13,1	
Puertas	-1,5	-1,5	
Techumbre	-8,3	-8,3	
Balance Térmico (Qt)	-131,7	-106,5	Reducción 19,2%

El costo que implica calefactar el edificio San Alberto Magno los meses más fríos del año (junio, julio y agosto) es de \$1.869.030 pesos mensuales, implementando la propuesta el costo alcanza \$1.502.999 pesos mensuales aproximadamente, lo que lleva a un ahorro al mes de \$366.031. Comparando este ahorro con la inversión, se concluye que esta se recupera en 89 meses, pero considerando que solo este gasto se produce 3 meses al año la recuperación real será aproximadamente en 29 años.

8. REFERENCIAS

NCh 853, (2007) – “Acondicionamiento térmico-Envolvente térmica de edificios-Cálculo de resistencias y transmitancias térmicas”. *Instituto nacional de normalización*.

NCh 1079, (2008). “Zonificación climático habitacional para Chile y recomendaciones para el diseño arquitectónico”. *Instituto nacional de normalización*.

McQuiston, Faye C. (2003). “Calefacción, ventilación y aire acondicionado”.

CDT, zona Sur, (2016). “Manual de (Re) Acondicionamiento térmico”. *Guía para el dueño de casa, proporcionado por Corfo*.

Agencia Chilena de Eficiencia Energética, (2015). “Que es la eficiencia energética”. Recuperado de <https://www.acee.cl/eficiencia-energetica/que-es-ee/>

Santelices, I. (2015). “Eficiencia energética y el acondicionamiento de las viviendas en la política energética del estado”. *Eficiencia energética y acondicionamiento térmico de las viviendas en Chile: Avances y desafíos futuros*.

CDT-CCHC, (2015). “Acondicionamiento térmico de Vivienda Existente”. *Guía para el dueño de casa, mi casa comfortable*.

Bustamante, W.G., (2009). “Guía de diseño para la Eficiencia Energética en la Vivienda Social”. *II tecnología de la construcción*.

Fau/ucv (2004). “Manual de diseño para edificaciones energéticamente eficientes”.

McQuiston, Faye C. (2003). “Calefacción, ventilación y aire acondicionado”.

TDR. “*Términos de Referencia Estandarizados con Parámetros de Eficiencia Energética y Confort Ambiental, para Licitaciones de Diseño y Obra de la Dirección de Arquitectura, Según Zonas Geográficas del País y Según Tipología de Edificios*”

**9. ANEXOS**Anexo 1*Tabla 1: Tipos de iluminación en Facultad de Ciencias.*

Iluminación	Potencia (W)	Edificio ala Este	Edificio ala Oeste
		Cantidad	Cantidad
Panel Led 120x60	72	54	40
Panel Led 120x30	48	26	79
Panel Led 60x60	36	63	0
Foco circular d=22cm	18	12	8
Tuvo fluorescente L=150cm	23	7	4
Tuvo fluorescente L=30,5cm	8	4	0
Lámpara	45	2	3
Lámpara pequeña	16	0	3
Luminaria aplique	50	0	3

Tabla 2: número de artefactos eléctricos en Facultad de Ciencias.

Artefactos	Edificio ala Este	Edificio ala Oeste
	Cantidad	Cantidad
CPU	54	28
Monitor	62	28
Notebook	28	8
Proyector	2	3
Impresoras	10	2
Tv	0	2
LCD	1	2
Refrigerador	7	4
Freezer	15	2
Frigobar	2	0
Refrigerado - congelador	9	3
equipos de laboratorio	103	52
Microonda	5	1

Anexo 2
Tabla 3: APU Termopanel Low-E.

Análisis Precios Unitarios											
Nombre	Termopaneles Low -E										
Unidad	\$/m ²										
Fecha											
Cantidad	290										
Item	Unidad	Rendimiento Unitario	Unidad	Unidad	Rendimiento	Unidad	P.U	Unidad	P.Total	Unidad	
Equipos											
Total Equipos											
Mano de obra											
Maestro	dia	10	m ² /dia	m ² /dia	0,06	dia/m ²	20.000	\$/dia	1.111	\$/m ²	
Ayudante	dia	8	m ² /dia	m ² /dia	0,06	dia/m ²	10.000	\$/dia	556	\$/m ²	
									Total mano de obra	1.667	\$/m ²
									Leyes sociales (25%)	417	\$/m ²
									Total Mano De Obra	2.083	\$/m ²
Materiales											
Termopanle Low-E	m ²	1	m ² /m ²		1,00	m ² /m ²	78.970	\$/un	78.970	\$/m ²	
									Subtotal	78.970	
									5% Perdidas	3.949	\$/m ²
									Total Materiales	82.919	\$/m ²
									Total	85.002	\$/m ²
									COSTO	24.650.532	\$

Tabla 4: Tabla 3: APU Recubrimiento exterior sistema EIFS..

Análisis Precios Unitarios											
Nombre	Recubrimiento exterior sistema EIFS										
Unidad	\$/m ²										
Fecha											
Cantidad	770										
Item	Unidad	Rendimiento Unitario	Unidad	Unidad	Rendimiento	Unidad	P.U	Unidad	P.Total	Unidad	
Equipos											
Total Equipos											
Mano de obra											
Maestro	dia	30	m ² /dia	m ² /dia	0,03	dia/m ²	30.000	\$/dia	750	\$/m ²	
Ayudante	dia	10	m ² /dia	m ² /dia	0,03	dia/m ²	20.000	\$/dia	500	\$/m ²	
									Total mano de obra	1.250	\$/m ²
									Leyes sociales (25%)	313	\$/m ²
									Total Mano De Obra	1.563	\$/m ²
Materiales											
Pintura	galón	3	m ² /galón		0,33	m ² /m ²	9.190	\$/un	3.063	\$/m ²	
Poliestireno expandido d=35mm	Un	10	m ² /un		0,10	m ² /m ²	13.000	\$/un	1.300	\$/m ²	
Mortero polimerico 25 kg	kg	16,6	m ² /kg		0,06	m ² /m ²	9.720	\$/un	586	\$/m ²	
Malla fibra de vidrio 0,97x45,7m	Un	44	m ² /un		0,02	m ² /m ²	37.000	\$/un	841	\$/m ²	
									Subtotal	5.790	
									5% Perdidas	289	\$/m ²
									Total Materiales	8.806	\$/m ²
									Total	10.368	\$/m ²
									COSTO	7.983.533	\$