

CÁLCULO DE LA ENVOLVENTE TÉRMICA “EDIFICIO POSTGRADO E INVESTIGACIÓN DE LA FACULTAD DE CIENCIAS” Y “EDIFICIO CIENCIAS BÁSICAS” DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE LA SANTÍSIMA CONCEPCIÓN

*A. Flores Calabrano*¹, *F. González Monsalve*² y *F. Ferraro Castillo*³

RESUMEN:

La calidad térmica en viviendas y edificaciones y el consumo energético en Chile es un tema contractual relevante, el cual no recibe la óptima atención al momento de construir, esto conlleva, una ineficiencia y confort térmico que la mayoría de las veces es insuficiente, a pesar que Chile ya cuenta con un reglamento térmico que obliga a construir con estándares que mejora el confort térmico dentro de una vivienda. Debido a esto se implementan medidas de diseño a los futuros proyectos, y en lo posible acotar los costos. Es por esto, que el presente estudio se orienta a identificar el consumo de energía de calefacción, para así poder alcanzar un confort térmico dentro del rango óptimo.

Cabe destacar que, según las políticas públicas para la eficiencia energética en Chile, Concepción (zona central) corresponden a la zona 4, el 56% de la energía es por la calefacción, el 26,4 % corresponde al uso de los artefactos del hogar y un 17,6% al agua caliente. También se debe considerar que en comparación a otras zonas de Chile es de un 12% de energía en calefacción para la zona norte y un 81% a la zona sur.

En el presente estudio se realizó el cálculo del balance de energía para “El edificio de postgrado e investigación de ciencias y edificio de ciencias básicas” de la Universidad Católica de la Santísima Concepción, con el fin de poder presentar soluciones constructivas de reacondicionamiento térmico al edificio, con el propósito de permitir la reducción de demanda energética para la calefacción.

Luego de realizados los cálculos teóricos en cada edificio, nos damos cuenta la diferencia del consumo energético entre las dos construcciones, el edificio de postgrado de ciencias tiene un consumo de 60.449 W/m², en cambio en edificio de ciencias básicas tiene un consumo de 94.986 W/m², esto se da por las diferencias que presentan los edificios, ya sea su materialidad y el uso que se le da. Las variantes que condicionan cada edificio son la envolvente y la ventilación.

Las propuestas de soluciones que se optarán, con el fin de disminuir su consumo energético, para cada edificio son la implementación del sistema E.I.F.S., para el edificio de postgrado y la instalación de una mampara en el acceso sur del edificio de ciencias básicas. Dichas soluciones disminuyen en un 10.42% y un 23% respectivamente.

PALABRAS CLAVES: Eficiencia energética; confort térmico; transmitancia.

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

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

³ Profesor Informante, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Católica de la Santísima Concepción, CHILE, francesferraro@ucsc.cl

ABSTRACT:

The thermal quality of homes and buildings and the energy consumption in Chile is a relevant contractual issue, which does not receive optimal care at the time of build, this entails, an inefficiency and that most of the time thermal comfort is insufficient, to despite the fact that Chile has a thermal regulation which obliges build with standards that improves the thermal comfort within a housing. Because of this they implement measures design to future projects, and where possible to limit costs. Therefore, the present study aims to identify the energy consumption of heating, in order thus to achieve a thermal comfort within the optimal range.

It should be noted that, according to the public policy for energy efficiency in Chile, Concepción (central zone) correspond to zone 4, 56% of the energy is heating, the 26, 4% corresponds to the use of the artifacts of the home and a 17.6% to hot water. You should also be considered that in comparison to other areas of Chile is of 12% of energy in heating to the North and 81% to the South.

In the present study was carried out the calculation of the balance of power for "The building of postgraduate and science research" and building of basic sciences of the Catholic University of the Holy conception, in order to be able to present constructive solutions of thermal reconditioning the building, with the purpose of allowing the reduction of energy demand for heating.

After performed theoretical calculations in each building, we realize the difference in energy consumption between the two constructions, graduate of Sciences building has a consumption of 60.449 w/m^2 , in change in basic science building It has a consumption of 94.986 w/m^2 , this is given by the difference presenting the buildings, either its materiality and the use that is given. Variants affecting each building are the envelope and ventilation.

Proposals for solutions which you will choose, in order to reduce their energy consumption, for each building are the implementation of the system E.I.F.S., postgraduate building and the installation of an enclosure at the south entrance of the basic science building. These solutions reduce a 10,42% and 23% respectively.

Key words: Energy efficiency, thermal comfort, transmittance.

1. INTRODUCCIÓN

La aislación Térmica de un edificio influye directamente en el confort térmico de los que habitan en el lugar, pues protege la vivienda de las condiciones adversas que están al exterior, permitiendo que dentro del recinto se produzcan condiciones agradables para los ocupantes. Las condiciones de confort dentro de una vivienda se establecen en 19°C en promedio y humedad relativa entre 50-60%

Al hablar de eficiencia térmica, muchas personas que no están familiarizadas con el tema, nunca asociarían esto con la vivienda, pues no se tiene este conocimiento. La importancia del ahorro de energía viene ya desde muchos años atrás, por factores como la gran demanda de energía en Chile, el calentamiento global, la dependencia energética, entre otros.

El mayor gasto en Chile es por la energía para los edificios, principalmente para la calefacción de este, es por eso que desde 1994 se incorporó la reglamentación térmica, dada por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo, que busca reducir el consumo de combustibles para la calefacción, mejorar la calidad de vida y estimular la actividad productiva, académica, industrial y de investigación aplicada. Esta reglamentación se fue modificando a medida que pasó el tiempo, en el año 2000 solo regía en las resistencias térmicas de techumbres, pero ya para el año 2007, se incorporaron a este cálculo los muros y pisos, todo esto con el fin de reducir el consumo de energía de calefacción.

Este informe se centra en el cálculo del balance de energía del edificio de Postgrado e investigación de la facultad de Ciencias y el edificio de Ciencias Básicas, finanzas y departamento de informática, de la Universidad Católica de la Santísima Concepción y la búsqueda de soluciones para la disminución de las pérdidas de energía que tendrá el edificio. El edificio de postgrado e investigación es relativamente nuevo, solo se comenzó a ocupar en abril del año 2018, y su construcción cuenta con elementos que ayudan en las pérdidas de calor, sin embargo, como aun esta “nuevo” y el primer piso es de hormigón armado, se debe tener en cuenta la humedad en el interior del recinto producida por el secado del hormigón.

Se realizará de igual forma una comparación entre cálculos de balance de energía hechos de forma teórica y los cálculos realizados mediante el software Revit 2016, que realiza análisis energéticos de un modelo BIM que se creará del edificio ya mencionado. Todo con el fin de evaluar el estado de los edificios en la universidad y a su vez proponer soluciones para un mejor manejo de la energía que se le otorga a la calefacción.

2. DEFINICIONES

Conductividad térmica, λ : cantidad de calor que en condiciones estacionarias pasa en la unidad de tiempo a través de la unidad de área de una muestra de material homogéneo de extensión infinita, de caras planas y paralelas y de espesor unitario, cuando se establece una diferencia de temperatura unitaria entre sus caras. Se expresa en W/ (m x K).

Resistencia térmica, R : oposición al paso del calor que presentan los elementos de construcción.

Resistencia térmica de una capa material⁴, R : para una capa de caras planas y paralelas, de espesor e , conformada por un material homogéneo de conductividad térmica λ , la resistencia térmica, R , queda dada por:

$$R = \frac{e}{\lambda} \quad \text{Ecuación 1}$$

Resistencia térmica total de un elemento compuesto⁵, R_T : inverso de la transmitancia térmica del elemento. Suma de las resistencias de cada capa del elemento

$$R_T = \frac{1}{U} \quad \text{Ecuación 2}$$

Se expresa en (m² x K/W).

Confort Térmico: Se entiende por confort térmico la condición en la que las personas se sienten cómodas, es decir, en equilibrio con el ambiente térmico que les rodea. Esta condición depende de la temperatura del aire, de la temperatura de los muros del recinto habitado, de la velocidad del aire y de su humedad. Asimismo, influye la vestimenta, la actividad física que se desarrolle, la alimentación, la edad, y hasta factores subjetivos como el color y tipo de decoración, entre otros.

Envolvente Térmica: La envolvente térmica de un edificio es el conjunto de cerramientos (suelos, cubiertas, fachadas, etc.) que separan los espacios habitables con el exterior (terreno, aire y otros edificios) y las particiones interiores que separan los espacios habitables de los no habitables que a su vez están en contacto con el exterior. Su finalidad es proteger a los habitantes del clima exterior, logrando el bienestar interior, soportando distintas condiciones ambientales.

Inercia térmica: se define como la capacidad de una masa o un material de acumular y almacenar energía calórica, la que posteriormente es liberada de forma progresiva. Esta propiedad no está relacionada a los materiales como la conductividad, sino que se relaciona a un parámetro físico que lo encontramos en la envolvente de la edificación.

⁴ Norma chilena NCH 853-2007, Acondicionamiento térmico – Envolvente térmica de edificios – cálculo de resistencias y transmitancias térmicas.

⁵ Norma chilena NCH 853-2007, Acondicionamiento térmico – Envolvente térmica de edificios – cálculo de resistencias y transmitancias térmicas.

Transmitancia Térmica⁶, U: 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/ (m² x K). Se determina experimentalmente según NCh851 o bien por cálculo como se señala a continuación:

- **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:

$$R_T = \frac{1}{U} = R_{si} + \sum \frac{e}{\lambda} + R_{se} \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

- e/λ : resistencia térmica del material
- R_{si} : resistencia térmica de superficie al interior
- R_{se} : resistencia térmica de superficie al exterior

Estas resistencias de superficies vienen dadas por la siguiente ilustración

Posición del elemento y sentido del flujo de calor		Resistencias térmicas de superficie en m ² x 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
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

Ilustración 1.- resistencia térmica de superficie

Fuente: Norma chilena 853

⁶ Norma chilena NCH 853-2007, Acondicionamiento térmico – Envoltura térmica de edificios – cálculo de resistencias y transmitancias térmicas.

3. ÁREA DE ESTUDIO

El edificio a analizar, corresponde al Edificio de postgrados e investigación de la facultad de Ciencias, departamento de matemáticas y física aplicada, Gestión financiera y departamento de informática, el cual se ubica en las dependencias de la Universidad Católica de la Santísima Concepción, Campus San Andrés, dirección Alonso de Rivera 2850, Concepción, Región del Biobío, Chile, coordenadas $36^{\circ}47'55.6''S$ $73^{\circ}03'15.6''W$. El edificio en cuestión se divide en dos áreas conectadas por un pasillo entre ellas, el edificio donde se encuentran los departamentos de gestión financiera, informática y física aplicada, se denotará como “Edificio Ciencias Básicas”, y el otro se llamará como “Edificio Postgrado Ciencias”.

El edificio de ciencias básicas cuenta con un solo nivel, que su ocupación es en su mayoría de oficinas. La construcción del edificio es de material ligero (muros exteriores de tabiquería) en sus caras sur, Este y parte del norte, pero en el lado Oeste y norte restante, sus muros son de hormigón armado.

El edificio de postgrado posee dos pisos, en el primer piso se encuentran oficinas de docentes y administrativos, como también salas de reuniones. En el segundo nivel se ubican los laboratorios de ciencias y salas de estudio, algunas oficinas, una sala de reuniones y una cafetería. Su composición estructural, en el primer nivel, es de hormigón armado en todas sus caras, y en el segundo nivel es de muros de Metalcon con revestimiento exterior.

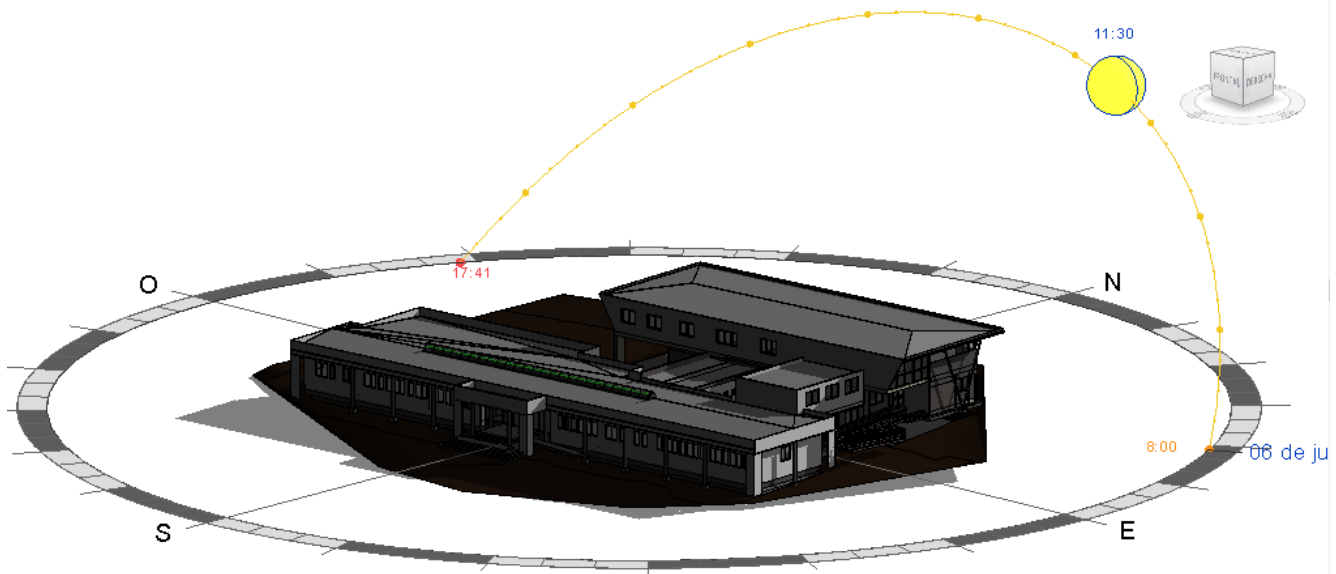


Ilustración 2.- Modelo Revit
Elaboración propia

4. METODOLOGÍA

4.1. Balance Térmico⁷

El balance térmico del recinto estará sujeto al diferencial de temperatura entre en exterior del recinto y de la temperatura de confort mínima requerida al interior. Para calcular este balance se ocupan los siguientes criterios, temperatura de confort interior se fijará en 19° Celsius y 60% de humedad relativa en el ambiente.

La ecuación que gobierna este balance térmico es:

$$Q_{total} = Q_s \pm Q_i \pm Q_c \pm Q_v \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

- Q_s : Balance térmico de cargas solares (KW)
- Q_i : Balance térmico de cargas internas (KW)
- Q_c : Balance térmico de los elementos de la envolvente (KW)
- Q_v : Balance térmico de cargas por ventilación

Cada una de estas cargas se calculas según su ecuación que se detallan a continuación.

4.1.1. Balance térmico de cargas solares Q_s

4.1.1.1. Cargas solares directas, Q_{sr}

La radiación solar que pasa por superficies transparentes se denomina carga directa, y se calcula con la siguiente expresión:

$$Q_{sr} = S \times R \times \theta \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde,

- S: superficie cristal expuesto (m^2)
- R: radiación solar que atraviesa la superficie del cristal (W/m^2)
- θ : coeficiente de ganancia solar

4.1.1.2. Cargas solares indirectas

Es la energía absorbida por los muros y techos (elementos no acristalados), la cual es reflejada al interior y una parte reflejada al exterior del recinto.

Esta se calcula mediante la fórmula:

$$Q_{srt} = U \times S \times R \times \alpha \times R_{SO} \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde,

- U: transmitancia térmica del material (W/m^2K)
- S: superficie expuesta a la radiación (m^2)
- R: radiación solar que atraviesa la superficie el muro (W/m^2)
- α : coeficiente de absorción (%)
- R_{SO} : Resistencia de la película exterior de aire (m^2K/W)

⁷ Acondicionamiento térmico de edificios, Buenos Aires (Díaz, 2005)

4.1.2. Balance térmico caras internas, Q_i

4.1.2.1. Caras internas de iluminación

Es la ganancia de energía debido a que los artefactos de iluminación desprenden calor al ambiente al igual que luminosidad, estas cargas se dividen en lámparas de descargas y lámparas incandescentes. Puesto que según reglamentación las ampollas incandescentes ya están discontinuadas, el cálculo se realizará solo con lámparas de descarga o fluorescentes.

Se calcula la carga como sigue:

$$Q_{iid} = 1,25 \times n \times P_{lampara} \quad \text{Ecuación 7}$$

Donde,

- n : número de ampollas o tubos
- $P_{lampara}$: potencia de las ampollas o tubos (Watts)

4.1.2.2. Carga interna por ocupante

Es la carga que aporta las personas que ocupan el lugar. La carga de ocupación tiene una componente latente, debido a la respiración y transpiración, es decir, la actividad que se esté realizando dentro del edificio, y otra componente sensible.

Ambas ecuaciones dependen del número de personas y de la actividad que se realiza en las dependencias.

- Carga sensible:

$$Q_{isp} = n \times C_{sensible\ persona} \quad \text{Ecuación 8}$$

- Carga latente:

$$Q_{ilp} = n \times C_{latente\ persona} \quad \text{Ecuación 9}$$

Donde:

- n : número de personas en el recinto
- C : calor por persona y actividad que realice (W)

4.1.2.1 Carga interna por artefactos

La carga aportada por los electrodomésticos, maquinarias, computadores, y todo aparato eléctrico, se calcula mediante la fórmula que sigue, considerando su consumo eléctrico y potencia de funcionamiento.

$$Q_{ie} = \sum n \times C_{artefacto} \quad \text{Ecuación 10}$$

Donde:

- n : número de artefactos
- $C_{artefato}$: calor emitido por cada artefacto

4.1.3 Balance térmico de elementos de la envolvente, Q_c

En las definiciones anteriores se mencionaba la transmitancia de un elemento, la cual es el flujo de calor que pasa por unidad de superficie. Este parámetro es clave para el cálculo del balance de la envolvente, pues involucra a todos los muros, ventanas, puertas y techumbre de la estructura. se expresa como sigue:

$$Q_c = U \times S \times (t^{\circ}_{ext.} - t^{\circ}_{int.}) \quad \text{Ecuación 11}$$

Donde:

- U: transmitancia térmica (W/m^2K)
- S: superficie de cada elemento del perímetro (m^2)
- $t^{\circ}_{ext.}$: temperatura del ambiente al exterior del recinto (C°)
- $t^{\circ}_{int.}$: temperatura de diseño, dada por el confort térmico al interior del recinto (C°)

4.1.4 Balance térmico de cargas por ventilación, Q_v

La pérdida o ganancia de energía provocada por la ventilación es principalmente por la renovación de aire que se produce al abrir y cerrar puertas y ventanas del recinto que dan hacia el exterior, esto conlleva que el aire frío y húmedo del exterior, entre al recinto. La carga de ventilación tiene una componente latente (Q_{vl}) y otra sensible (Q_{vs}), dependiendo del calor específico.

$$Q_{vl} = V_r \times 0.84 \times \Delta W \quad \text{Ecuación 12}$$

$$Q_{vs} = V \times \rho \times C_{e,aire} \times \Delta T \quad \text{Ecuación 13}$$

Donde:

- V: caudal de aire de ventilación (m^3/s)
- ρ : densidad del aire (valor conocido: $1,18 \text{ Kg}/m^3$)
- $C_{e,aire}$: calor específico del aire ($1012 \text{ J}/\text{Kg}^{\circ}\text{C}$)
- ΔT : diferencial de temperatura entre el exterior y el interior ($^{\circ}\text{C}$)
- ΔW : diferencia de humedad entra el exterior y el interior
- V_r : caudal de aire infiltrado y ventilación (m^3/s)
 - caudal de aire infiltrado se calcula como sigue:

$$\square V_r = V \times R.A.H. \quad \text{Ecuación 14}$$

Donde:

- V: volumen del recinto (m^3)
- R.A.H.: número de renovaciones de aire por hora ($1/s$)

4.2 Condiciones del Edificio

4.2.2 Cargas de calderas

El edificio en conjunto, cuenta con 3 calderas que alimentas distintas dependencias, la primera caldera calefacciona el departamento de informática, la segunda calefacciona el área del departamento de física, y la tercera calefacciona el edificio de postgrado de ciencias, cada una de funcionamiento distinto y potencia distinta. Cada caldera se detalla a continuación:

Tabla 1.- Calderas

	Marca	Modelo	Potencia útil (KW)	Tipo de combustible	Consumo eléctrico (KW)	Consumo gas (m3)
1	RINNAI	RB 25/28 Lnox FE	21.5	gas	0.14	23.2
2	RINNAI	RB 30/36 Lnox FE	22	gas	0.165	23.8
3	ANWO NAVIEN	Aqua Plus 35/42	30	gas	0.127	32.4

4.2.3 Cálculo de condiciones exteriores e interiores para diseño

Para facilitar el cálculo de temperaturas y humedades en el interior y exterior del edificio en estudio, se asume un estado estacionario, es decir, la temperatura y humedad no cambia por un periodo de tiempo.

4.2.3.1 Temperatura y humedad interiores

En el interior de los edificios se debe considerar un movimiento del aire inferior a 1 m/s y una humedad relativa comprendida entre el 35 y 75%. Bajo estas condiciones el organismo humano se siente en equilibrio térmico cuando el aire a su alrededor es de aproximadamente $20 \pm 3^{\circ}\text{C}$.⁸

Dada esta definición se considera una humedad relativa del 60%, y una temperatura en el interior del recinto de 19°C .

4.2.3.2 Temperatura y humedad exterior

Para obtener estos datos, nos dirigimos a la página de Meteored.cl⁹, en la cual se obtienen valores reales de temperatura y humedad de nuestro sector de estudio. Los datos son obtenidos de la estación meteorológica ubicada en sector Carriel Sur “Aeropuerto Carriel Sur Intl (SCIE)”. De los datos obtenidos, se proceden a obtener el promedio de las temperaturas y humedades de los tres meses más fríos del año, los cuales corresponden a junio, julio y agosto. Los datos se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 2.- Temperatura y Humedad por mes

Mes	JUNIO	JULIO	AGOSTO	Promedio
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	5.33	5.4	6.42	5.7
Humedad (%)	97.23	97.26	97.14	97.21

⁸ AISLACIÓN TÉRMICA EXTERIOR - manual de diseño para soluciones en edificaciones, 2008

⁹ https://www.meteored.cl/tiempo-en_Concepcion-America+Sur-Chile-Biobio-SCIE-sactual-18576.html

4.2.4 Radiación Solar

La radiación solar que afecta al edificio, lo entrega un reporte obtenido de la página del ministerio de energía¹⁰, utilizando el Explorador Solar. Este explorador obtiene datos de la Estación Cerro Calan, el cual entrega datos de todo el año de radiación, los cuales al igual que la temperatura, solo interesa la radiación de los tres meses más fríos. La radiación depende de la orientación que tengan los lados del edificio, pues el sol no todo el día está en el mismo lugar. Por esto se da un estimado de horas en la cual es sol emite radiación sobre los lados del edificio. El cálculo se consideró tomando el tiempo que hay luz solar en el día, según los datos obtenidos de la estación, en este caso es desde las 08:00 hasta las 18:00 hrs., las cuales se dividen en los lados del edificio como se muestra a continuación:

- Este: radiación de 08:00 a 11:00 hrs.
- Norte: radiación de 11:00 a 15:00 hrs.
- Oeste: radiación de 15:00 a 18:00 hrs.
- Sur: dado que en este lado no da el sol directamente, no se considera radiación en esta dirección.

La siguiente tabla muestra las radiaciones obtenidas:

Tabla 3.- Radiación Solar según orientación (W/m²)

Mes	Orientación				
	Directa	Este	Norte	Oeste	Sur
Junio	87.48	56.9997	208.3772	35.6602	0
Julio	89.74	60.6519	168.0510	37.0520	0
Agosto	126.91	95.9106	178.0297	52.0218	0
Promedio meses más fríos	101.38	71.187	184.819	41.578	0

4.2.5 Coeficiente de ganancia solar

El coeficiente de ganancia solar es la radiación incidente, que genera calor al interior del recinto a través de los cristales del edificio. Una gran parte de esta energía es absorbida por el cristal de la ventana y otra parte por el marco de esta misma. En la siguiente tabla se muestran distintos coeficientes para distintos tipos de ventanas:

Tabla 4.- Coeficiente de ganancia solar según tipo de ventana¹¹

Ventanas con vidrio	Factor
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

¹⁰ <http://www.minenergia.cl/exploradorsolar/>

¹¹ Manual de diseño para edificaciones energéticamente eficientes, Caracas 2004

4.2.6 Absortancia

Es la fracción de radiación que absorbe un material, dependiendo del color y materialidad de la superficie. Se expresa en porcentaje, como se muestra en la tabla n° 4

Tabla 5.- Absortancia de materiales y superficies

Material	Absortancia (%)
ladrillo Rojo	88
Madera lisa	80
Concreto	65
Hoja de aluminio pulido reflectora	12
Pintura negra	95
Pintura gris Oscura	91
Pintura Marrón media	84
Pintura verde o gris (clara)	84
Pintura blanca semi-brillante	57
Pintura blanca brillante	25

4.2.7 Uso del edificio

El edificio es de uso público, ocupado principalmente por funcionarios y docentes de la universidad, así se asigna un uso diario de aproximadamente 10 horas seguidas (41,6%). Las actividades que realizan los funcionarios dentro del edificio son de interés, pues dan un valor a las cargas por ocupantes. Este valor se detalla en la tabla 3, considerando la actividad que se realiza.

Tabla 6.- Calor sensible y latente por persona según actividad realiza (Manual de diseño para edificaciones energéticamente eficientes, 2004)

Actividad	Q_{sensible} [W]	Q_{latente} [W]
Sentado haciendo trabajo ligero (oficina)	72	45
Realizando trabajo moderado de oficina	73	59

4.2.8 Carga térmica por artefactos

El coeficiente de carga por artefacto se detalla a continuación, y su funcionamiento por día aproximado. Esto para estimar el aporte de energía que tienen los aparatos eléctricos al ambiente.

Tabla 7.- Carga térmica y tiempo de ocupación por día

Tipo de artefacto	Carga térmica [KW]	% de funcionamiento/día
Microondas	0.08	0.208
Hervidor de agua	0.25	0.208
Proyector diapositivas	0.3	0.04167
Impresora	0.15	0.25
Fotocopiadora	0.4	0.1667
Notebook	0.2	0.125
Computador de escritorio	0.2	0.25

4.2.9 Potencia de iluminación

Las lámparas de iluminación del edificio, se contabilizaron aproximadamente como sigue, denotando su consumo y potencia:

Tabla 8.- Contabilidad y consumo de iluminación

	Compactas		Tubos	
Potencia de consumo	13W	9W	11W	
Cantidad (unidad)	98	226	51	

Supuestos: para el cálculo se considera que, del total de lámparas, solo un 85% permanecen encendidas continuamente por 11 horas al día (45.8% del día).

4.2.10 Ventilación

Para calcular la carga de ventilación es necesario obtener las velocidades el viento por dirección que afectan al edificio, esto para posteriormente calcular el volumen de aire que pide la formula.

Las velocidades de viento por dirección se obtienen de un informe entregado por el Explorador Eólico2, programado por el Ministerio de energía junto a la Universidad de Chile¹², resultando una Rosa de los vientos de los tres meses más fríos.

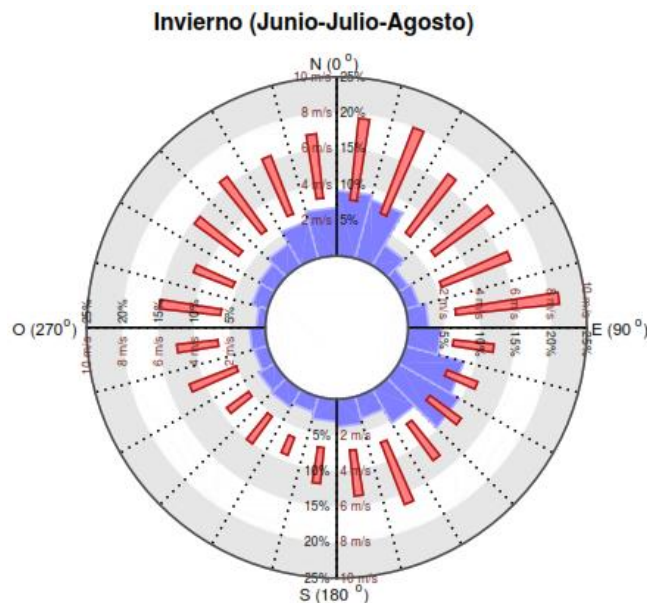


Ilustración 3.- Rosa de los vientos de los meses más fríos.
 Fuente: informe Explorador Eólico2

Supuestos para el cálculo de ventilación:

- Se considera un área de infiltración por ventana de un 7% en Edificio Ciencias Básicas y 8% en Edificio Postgrado.
- Considerando que se abre solo un 40% y 20% de las ventanas en Edificio Postgrado y Edificio Ciencias Básicas respectivamente.

¹² <http://walker.dgf.uchile.cl/Explorador/Eolico2/>

- Se supone en invierno se abre un 100% del área de las puertas en ambos edificios.
- Considerando que las ventanas se abren por 36 y 60 minutos en Ciencias Básicas y Postgrado Ciencias respectivamente, durante todo el día.
- Se considera las puertas abiertas 75 minutos en ciencias básicas y 70 minutos en postgrado de ciencias durante el día.

De la Rosa de los Vientos se obtiene el promedio de las velocidades por dirección.

Tabla 9.- Velocidades viento por dirección

Velocidad del viento según dirección m/s			
Norte	Este	Sur	Oeste
7.5	6.75	5.3	5.5

4.2.10.1. Renovación de aire¹³

El edificio en conjunto se clasifica como edificio de oficinas, por lo cual se define un rango de renovación de aire de 4-8 renovaciones por hora, entonces se asumirá un valor medio del rango, que sería 6 renovaciones por hora. Este valor se pide en la Ecuación 14, en (1/s), por lo cual en valor sería de 0.00167 (1/s).

4.3. Modelo Revit

Para realizar el modelado del edificio en el Software Revit 2016, se realizó en primer lugar un levantamiento topográfico para tener un mejor modelo de todo lo que colinda con el edificio y así poder tener un análisis más cercano a la realidad. Una vez obtenida la superficie que nos da el levantamiento de puntos, se procede a realizar el modelo del edificio, basado en los planos de arquitectura proporcionados. Al momento de analizar el edificio mediante el modelo creado, se debe tener sumo cuidado de ingresar los materiales reales de la construcción, donde se necesita conocer su conductividad térmica, la cual se puede obtener de la NCH 853.

Para un buen resultado, el edificio se orientó según sus coordenadas cartesianas reales, así como también su ubicación exacta dentro de la universidad.

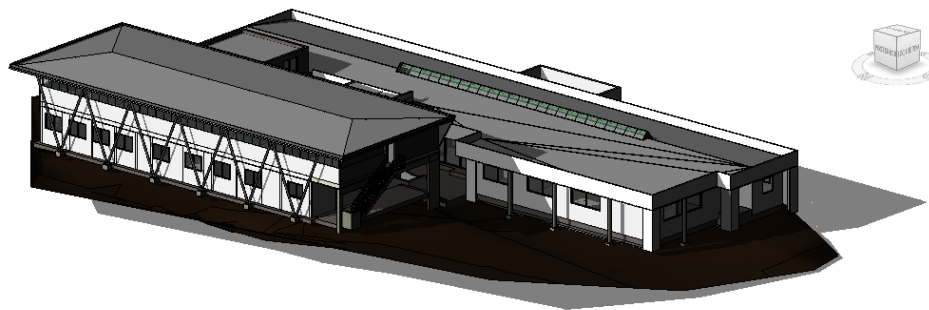


Ilustración 4.- Modelo Revit
 Elaboración propia

¹³ <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn251.html>

5. RESULTADOS

Los resultados mostrados más adelante son calculados basados en las ecuaciones antes mencionadas y las consideraciones mencionadas. Las cargas las dividiremos en cargas Sensibles y Cargas Latentes, y la carga total del inmueble es la suma de cargas sensibles y cargas latentes.

5.1. Cargas Sensibles

5.1.1. Cargas solares Directas, Q_{sr}

Se calcula mediante la Ecuación 5, se deben tener las áreas vidriadas por orientación, estas sean de ventanas, puertas con vidrio y muros cortina. las áreas se detallan en la Tabla 10.

Tabla 10.- áreas por orientación

	Norte	Este	Sur	Oeste
Áreas vidriadas Edificios (m ²)	63.84	23.68	52.74	33.16

Dadas las áreas y mediante la Ecuación 5, los resultados son los siguientes:

Tabla 11.- Carga Solar directa Total

Norte	Este	Sur	Oeste	Total (W)
4252.08	780.68	0	929.09	5962

5.1.2. Cargas solares Indirectas, Q_{str}

El cálculo se realiza según Ecuación 6, los tipos de muro y su carga solar se muestran en la Tabla 12. Mediante el modelo realizado se obtuvieron las áreas de los muros y techumbre para este cálculo que se muestran en la tabla 12 y 13. El valor de la absorptancia se muestra en la Tabla 5, donde se tienen Pinturas marrón, verde o gris y blanco semi-brillante. El valor de la resistencia de la película exterior de aire es de 0.05 (m² K/W).

Tabla 12.- Áreas y transmitancias por muro y orientación

Superficie por orientación (m ²)						
Muros	U (W/m ² K)	α	Norte	Este	Sur	Oeste
Madera	0.6853	0.84	8.415	26.338	94.838	9.453
Hormigón	2.9658	0.84	43.948	0	0	48.789
Metalcom 1	0.6435	0.84	43.964	13.054	0	25.401
Metalcom 2	0.6723	0.57	0	0	83.881	0
Hormigón	2.9658	0.84	73.775	63.491	50.2556	63.882

Tabla 13.- Datos techumbre

	U (W/m ² K)	α	Superficie
Techo	2.812	0.500	1165.715

Tabla 14.- Carga Solar Indirecta Q_{str}

Muros	Norte	Este	Sur	Oeste	Total (W)
Madera	44.76	53.96	-	11.31	110.04
Metalcom 1	219.62	25.12	-	28.55	273.28
Hormigón	2,710.22	563.00	-	583.54	3,856.77

5.1.3. Cargas Internas de iluminación, Q_{iid}

Con la cantidad y consumo de ampollitas y tubos de iluminación dentro del recinto que se detalló anteriormente, se procede a calcular su carga. Ver Tabla 15.

Tabla 15.- Cargas de iluminación

Tipo	Total lámparas (unidades)	Carga de iluminación Q_{ii} (W)
13W	83.3	1353.63
9W	192.1	2161.13
11W	43.35	596.06
TOTAL		1882.8

5.1.4. Cargas Internas por Ocupante Sensible, Q_{isp}

Con las consideraciones de ocupantes dentro del recinto, y conociendo aproximadamente la cantidad de personas que trabajan en el recinto, las cargas sensibles por ocupantes quedarían como:

 Tabla 16.- Carga por ocupante Q_{isp}

Personas en el recinto		
	Oficinas (60%)	Docentes (50%)
	54	30
Carga sensible (W)	1642.5	900
TOTAL (W)		2542.5

5.1.5. Cargas Internas por artefactos, Q_{ie}

Con los datos ya mencionados en apartados anteriores, donde se detallaba la cantidad de artefactos eléctricos y su tiempo aproximado de uso (ver Tabla X), se procede a calcular la carga que produce cada uno de ellos.

Tabla 17.- Cargas por artefacto

Tipo de artefacto	Q_{ie}	
Microondas	0.033	
Hervidor de agua	0.208	
Proyector diapositivas	0.088	
Impresora	0.413	
Fotocopiadora	0.333	
Notebook	0.525	
Computador escritorio	3.300	
Total		4.9 (KW)

5.1.6. Carga por elemento de la envolvente, Q_v

Mediante el modelo realizado en el software Revit 2016, se pudo obtener a manera más precisa las áreas de muros y techos, como también la materialidad, ya sean muros de hormigón armado, Metalcon, tabiquería y muros cortina, también la cantidad de ventanas, puertas de vidrios y el área de techumbre con su materialidad.

Las áreas de muros y demás componentes de la envolvente se muestran en la Tabla 18.

Tabla 18.- Resumen de áreas de muros

Tabla de áreas de muros Resumen			
	Madera	Hormigón	Metalcom
Sur	94.838	50.26	83.881
Oeste	9.453	112.67	25.401
Norte	8.415	117.72	43.964
Este	26.338	63.49	13.054
Total (W)	139.044	344.1406	166.300

Tabla 19.- Área de techumbre

Tabla de áreas por techumbre (m ²)			
	Finanzas	Magister	Total
	661.458	504.257	1,165.72

Tabla 20.- Resumen de puertas y áreas

Tabla de áreas por Puertas (m ²)			
	Finanzas	Magister	Total (m ²)
Sur	3.950	-	3.950
Oeste	7.400	8.430	15.830
Norte	2.912	-	2.912
Este	-	3.780	3.780

Tabla 21.- Resumen de tipos de ventanas y áreas

Ventanas		
	Tipo ventana	Área Total
Postgrado de Ciencias	1.80 x 1.23	2.214
	0.82 x 1.05	0.861
	1.73 x 1.23	2.128
	1.60 x 1.23	1.968
Ciencias Básicas	1.30 x 1.23	1.599
	3.0 x 1.23	3.690
	4.50 x 1.23	5.535
	0.50 x 0.50	0.250
	0.60 x 1.23	0.738
	1.30 x 1.23	1.599

Tabla 22.- Tipos de muros cortina y áreas

Muros Cortina		
	Tipo muro	Área Total
Magister Ciencias	1.7 x 2.7	4.59
	2.7 x 2.5	5.051
	2.45 x 5.35	13.1075
Ciencias Básicas	8.0 x 2.6	16.715
	7.04 x 2.4	12.741
	4.1 x 2.2462	9.209

Definidas las áreas y transmitancias de los materiales, se calcula la carga por elemento de la envolvente, lo cual nos da:

Tabla 23.- Carga por envolvente

CARGAS POR ENVOLVENTE Q_v					
Muros	Ventanas	Muro cortina	Puertas	Techumbre	Total (W)
-16326.03	-4973.7	-4031.29	-1829.2	-10520.0	-37680.17

5.1.7. Carga por ventilación sensible, Q_{vs}

Para el cálculo de la carga de ventilación nos guiamos por la Ecuación 13 y las consideraciones antes descritas. Las áreas de puertas y ventanas se encuentran en Tabla 20 y 21 respectivamente. Temiendo ya los datos, se procede al cálculo, los que se muestran en la tabla siguiente.

Tabla 24.- Carga Sensible de Ventilación

CARGA SENSIBLE DE VENTILACIÓN Q_{vs} [W]					
	Norte	Este	Sur	Oeste	TOTAL (W)
Ventanas	-184,050	-64,622	-94,696	-56,955	-33,692
Puertas	-186,288	-90,679	-131,644	-237,485	-50,649

Finalmente, el Balance de cargas sensible queda:

Tabla 25.- Resumen Balance cargas Sensibles

Carga térmica sensible $Q_{sensible}$		
Carga solar directa	Q_{sr}	5.962
Carga solar indirecta	Q_{str}	5.24
Carga sensible de ventilación	Q_{vs}	-84.34
Carga lampara de descarga	Q_{iid}	1.88
Carga sensible de ocupante	Q_{isp}	2.54
Carga interna por artefacto	Q_{ie}	4.90
Cargas por envolvente	Q_c	-37.68
Total		-101.491

5.2. Cargas Latentes

5.2.1. Carga Interna por ocupante latente, Q_{ip}

Con las consideraciones de ocupantes dentro del recinto, y conociendo aproximadamente la cantidad de personas que trabajan en el recinto, las cargas latentes por ocupantes quedarían como:

	Oficinas (60%)	Docentes (50%)
Personas en el recinto	54	30
Carga Latente	1327.5	562.5
TOTAL (Q_{ip})		1890 (W)

5.2.2. Carga Latente de Ventilación, Q_{vl}

Para realizar el cálculo de carga latente, se necesita el caudal de aire infiltrado y ventilación V_r , según la Ecuación 14. Para esto obtenemos el volumen del edificio. Con esto se calcula el caudal de aire infiltrado.

Tabla 26.- Caudal de aire infiltrado y ventilación

Caudal de aire infiltrado y ventilación		
	Volumen (m3)	V_r
Piso 1	940.437	1.57
Piso 2	1071.560	1.79
Finanzas	1515.592	2.53
Total	3527.589	5.88

Una vez obtenido este valor, se calcula la carga latente de ventilación según la Ecuación 12.

Tabla 27.- Carga Latente de Ventilación

Carga latente de ventilación	-1.838	KW
-------------------------------------	---------------	-----------

Finalmente, el Balance de cargas latente queda:

Tabla 28.- Balance de Cargas Latentes

Carga térmica latente $Q_{latente}$		
Carga latente por ocupante	Q_{ip}	1.89
Carga latente de ventilación	Q_{vl}	-1.8376
Total (KW)		0.052

5.3. Balance Térmico

Finalmente, el balance total de cargas del edificio postgrado de ciencias y edificio ciencias básicas, sería la suma de cargas sensible y cargas latentes del edificio. El Balance total se resume en la Tabla 29 y Tabla 30

Tabla 29

Balance Carga térmica Magister de Ciencias (KW)		
<i>Carga solar directa</i>	Qsr	2.564
<i>Carga solar indirecta</i>	Qsrt	3.25
<i>Carga latente de ventilación</i>	Qvl	-1.05
<i>Carga sensible de ventilación</i>	Qvs	-36.95
<i>Carga lampara de descarga</i>	Qiid	0.66
<i>Carga latente por ocupante</i>	Qipl	1.11
<i>Carga sensible de ocupante</i>	Qips	1.51
<i>Carga interna por artefacto</i>	Qie	2.33
<i>Cargas por envolvente</i>	Qc	-19.50
Total		-46.069

Tabla 30

Balance Carga térmica Ciencias Básicas (KW)		
<i>Carga solar directa</i>	Qsr	3.398
<i>Carga solar indirecta</i>	Qsrt	1.988
<i>Carga latente de ventilación</i>	Qvl	-0.790
<i>Carga sensible de ventilación</i>	Qvs	-47.39
<i>Carga lampara de descarga</i>	Qiid	1.224
<i>Carga latente por ocupante</i>	Qipl	0.778
<i>Carga sensible de ocupante</i>	Qips	1.030
<i>Carga interna por artefacto</i>	Qie	2.571
<i>Cargas por envolvente</i>	Qc	-18.18
Total		-55.37

Obtenidas las solicitaciones de cada edificio, se puede calcular la cantidad que necesita el edificio por metro cuadrado.

Tabla 31

Superficie Postgrado Magister	762.12	m ²
Q total	-60.45	W/m ²

Tabla 32

Superficie Ciencias Básicas	582.92	m ²
Q total	-94.99	W/m ²

5.4. Análisis Modelo Revit

Una vez que el modelo del edificio esté realizado en el Revit, tenga ingresadas las conductividades de los materiales y densidad de ellos, se crea el modelo energético del edificio (ver Ilustración 5). Una vez creado el modelo energético, se procede a ejecutar el Análisis Energético del modelo, el cual nos arroja un informe con información del edificio como por ejemplo, intensidad de uso de energía, factores de rendimiento de construcción, potencial de energía renovable, costo de energía de ciclo de vida, carga refrigeración mensual, calefacción mensual, consumo eléctrico mensual y la demanda máxima mensual.

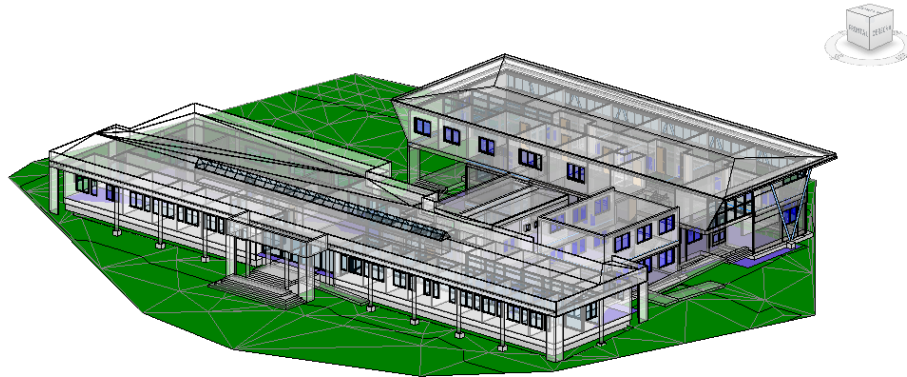


Ilustración 5.- Modelo Energético Revit
Fuente propia

El software Revit para realizar el análisis crea una masa conceptual con la forma del edificio diseñado, y le aplica las propiedades de los materiales a cada cara de la envolvente. El reporte entregado por el Revit nos muestra de forma más simplificada las cargas de la envolvente de los edificios, en forma de gráfico, ya que esta entrega información con respecto a pérdidas y ganancias de energía del edificio.

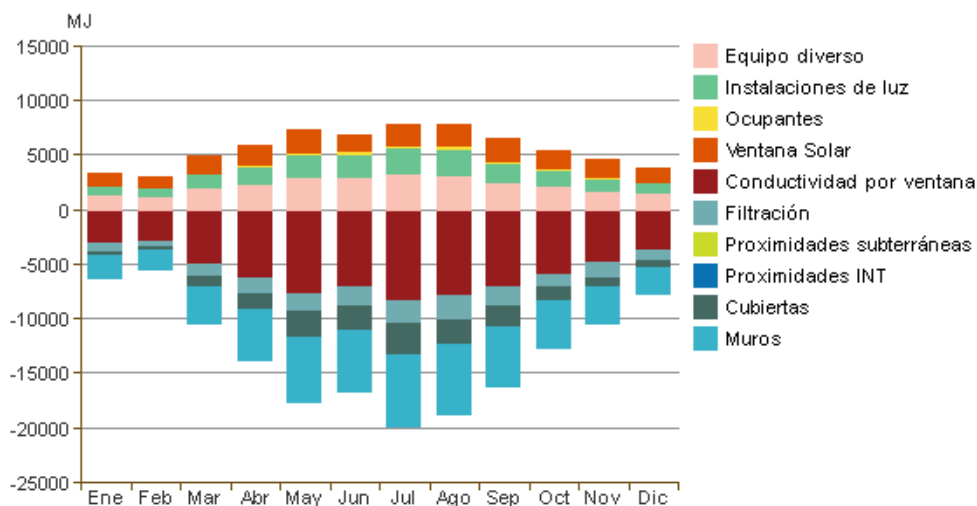


Ilustración 6.- Cargas de calefacción mensual Edificio Ciencias Básicas
Fuente Revit 2016

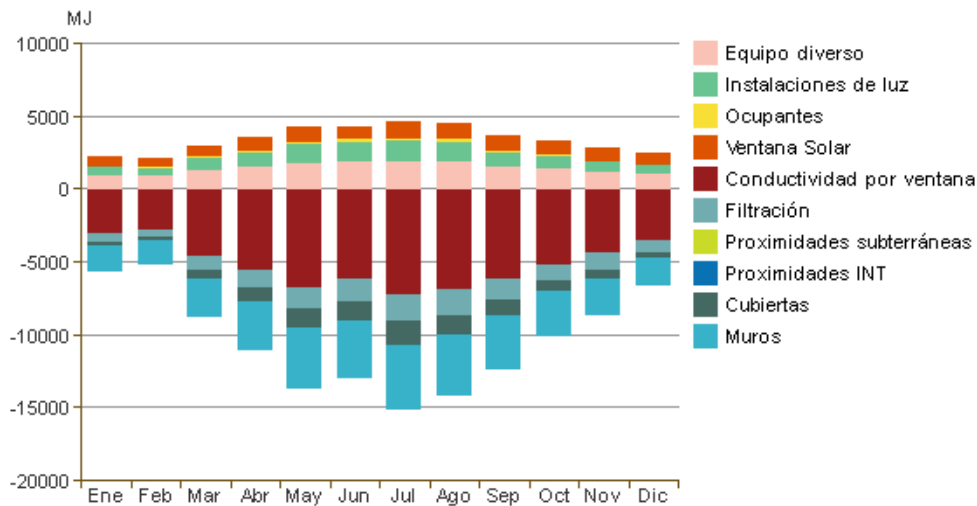


Ilustración 7.- Cargas de calefacción mensual Edificio Postgrado Ciencias
Fuente Revit 2016

El gráfico nos muestra que las mayores pérdidas se generan por la conductividad por ventana mayoritariamente y por muros, donde se consideraron los meses más fríos del año (junio, julio y agosto). Se puede observar que las ganancias de energía son generadas por equipos diversos, instalaciones de luz y ventanas solares.

6. PROPUESTA DE SOLUCIONES

Basado en los resultados obtenidos del balance energético del edificio, se busca reducir el requerimiento de energía de calefacción en el inmueble. Para reducir la demanda de energía y disminuir las pérdidas de esta, nos enfocamos en los focos que determinan mayor pérdida de energía, en este caso, son las cargas asociadas a la ventilación y la envolvente del edificio. En el caso de la ventilación, nos basaremos en los accesos a estos, pues es donde más carga se tiene, y para la envolvente de los edificios, tomamos en cuenta los muros exteriores y los tipos de ventanas de estos.

Ya identificados los focos, se proponen tres soluciones accesibles para la disminución de las pérdidas, se evaluarán individualmente y en combinaciones, para buscar la más eficiente energéticamente y la más económica.

Las soluciones que se proponen son las siguientes

- Implementación de Sistema EIFS en muros de hormigón
- Cambio de ventanas monolíticas por ventanas termo panel Low-E
- La incorporación de una mampara de acceso en el sector de entrada sur del edificio de ciencias básicas

6.1. Solución 1: Sistema EIFS

El Sistema de Aislación Térmica E.I.F.S.¹⁴, es una solución certificada ampliamente utilizada en el mercado que disminuye el consumo energético, principalmente por efectos de calefacción, y aumenta el confort y la calidad ambiental al interior de las edificaciones.

El Sistema 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 o coeficiente de aislación térmica requerido), 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 (refuerzo mecánico). Como terminación final incorpora una capa de grano elastomérico texturado y con color incorporado.¹⁵

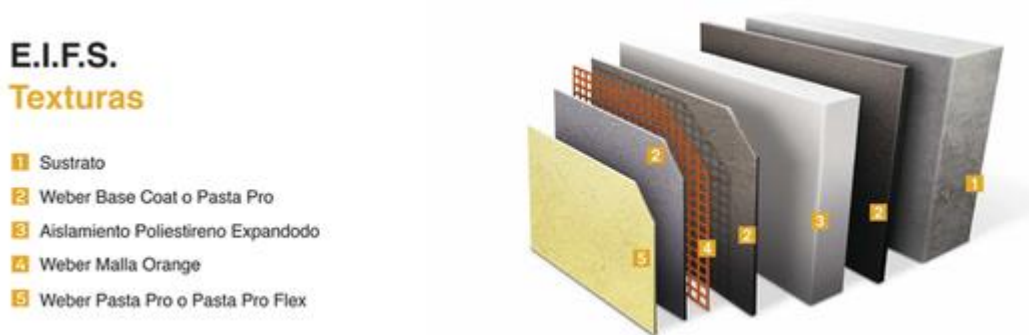


Ilustración 8.- Sistema E.I.F.S

Esta solución busca disminuir la pérdida de calor producida por los muros de hormigón, al disminuir su transmitancia, esto por adicionar materiales con conductividades más bajas que las del hormigón y además aumenta su espesor, así disminuyendo la pérdida de calor que atraviesa el muro. La transmitancia del muro con E.I.F.S. queda como se muestra en la Tabla 29.

Tabla 33.- Diferencia transmitancia muro hormigón armado

Muro	Espesor (cm)	Transmitancia U (W/(m ² *K))
Hormigón Armado	20	2.966
Hormigón Armado + E.I.F.S.	25	0.806

La propuesta de reacondicionamiento por E.I.F.S., interviene en la carga por envolvente y también en la carga solar indirecta del edificio, dado que cambia la materialidad expuesta a la radiación solar.

¹⁴ Exterior Insulation Finish System (sistema de aislación térmica exterior)

¹⁵ <https://www.plataformaarquitectura.cl/catalog/cl/products/6886/sistema-de-aislacion-termica-eifs-termoplac-solcrom>

6.2. Solución 2: Ventanas Termo Panel

Se propone realizar el reemplazo de las ventanas existentes tipo monolíticas, por unas de alta eficiencia térmica como termopanel, lo que se pretende con eso en disminuir la pérdida de energía. La ventana Termopanel tiene como función aislar energéticamente, lo cual se logra por sus dos hojas de vidrio separadas por una cámara de aire seco en medio. Según sea la necesidad el vidrio se puede cambiar por uno tipo Low-E, que es de mejores características térmicas, así como también el aire entre hojas se puede cambiar por algún otro gas. Además de incorporar un marco de PVC el cual tiene menor transmitancia que el marco convencional de aluminio.

Al igual que en la solución anterior, se busca disminuir la pérdida de energía del edificio. Dado que el edificio de postgrado e investigación cuenta con ventanas de este tipo, la solución solo se aplicará a ventanas del edificio de ciencias básicas y sus departamentos, especialmente en el lado sur del edificio, donde se alberga la mayor cantidad de ventanas.



Ilustración 9.- Ventana Termopanel detalle

Se muestra el cambio en la transmitancia de la ventana.

Tabla 34.- Transmitancia Ventanas Termopanel

Ventana	Vidrio	Marco	Transmitancia U (W/m ² *K)
Monolítica	5.7692	5.8741	5.79
Termopanel Low-E	1.8	2.073	1.86

Esta solución tiene impacto en la carga por envolvente, pues se cambia la transmitancia de una zona del muro, y también tiene impacto en las cargas solares directas, pues el vidrio Low-E tiene un sistema de ganancia de energía.

6.3. Solución 3: Mampara

Esta solución es en particular distinta que las anteriores, pues conlleva crear una zona nueva dentro de las dependencias del edificio, en este caso en el acceso sur el edificio de ciencias básicas, para esto se debe instalar una nueva puerta al interior después de la ya existente. La implementación de esta solución es muy relevante pues, elimina la carga de ventilación sensible de ese sector y al ser un acceso transitado, la carga que se elimina es bastante importante. El nuevo acceso está directamente relacionado con la ventilación del ambiente, pues, al instalar la nueva puerta, se considera que la puerta de acceso como la nueva puerta se encontraran cerradas y generaran menos perdidas y mantendrá el ambiente de confort.

La mampara a instalar es: Puerta corredera automática, de aluminio y vidrio, para acceso peatonal, con sistema de apertura central, de dos hojas deslizantes de 100x210 cm y dos hojas fijas de 120x210 cm, compuesta por: cajón superior con mecanismos, equipo de motorización y batería de emergencia para apertura y cierre automático en caso de corte del suministro eléctrico, de aluminio lacado, color blanco, dos detectores de presencia por radiofrecuencia, célula fotoeléctrica de seguridad y panel de control con cuatro modos de funcionamiento seleccionables; cuatro hojas de vidrio laminar de seguridad 5+5, incoloro, 1B1 con perfiles de aluminio lacado, color blanco, fijadas sobre los perfiles con perfil continuo de neopreno.



Ilustración 10.- Mampara de ejemplo, Facultad de Ingeniería
Fuente propia

La carga de ventilación con la mampara queda mostrada en la siguiente tabla

Tabla 35.- Carga sensible de Ventilación con Mampara

CARGA SENSIBLE DE VENTILACIÓN		Qvs [W]			
Ciencias Básicas					
	Norte	Este	Sur	Oeste	TOTAL (Watts)
Ventanas	- 36,805	- 2,739	- 44,441	- 21,692	- 2,641.92
Puertas	- 372,577	-	-	- 273,223	- 33,635.40
					- 36,277.33

7. ANÁLISIS SOLUCIONES

Dadas las tres soluciones, a continuación, se presenta un resumen del balance que resulta con cada una de las soluciones propuestas.

Tabla 36.- Resumen balance con soluciones

Estado actual Postgrado Magister		EIFS
Qsr	2.564	2.564
Qsrt	3.25	1.37
Qvs	-36.95	-36.95
Qvl	-1.05	-1.05
Qiid	0.66	0.66
Qips	1.51	1.51
Qipl	1.11	1.11
Qie	2.33	2.33
Qc	-19.50	-12.81
Total (KW)	-46.069	-41.268

Tabla 37

Estado actual Ciencias Básicas	EIFS	Termopanel	Mampara
Qsr	3.398	3.398	3.074
Qsrt	1.99	1.07	1.99
Qvs	-47.39	-47.39	-47.39
Qvl	-0.79	-0.79	-0.79
Qiid	1.22	1.22	1.22
Qips	1.03	1.03	1.03
Qipl	0.78	0.78	0.78
Qie	2.57	2.57	2.57
Qc	-18.18	-15.52	-16.437
Total (KW)	-55.357	-53.628	-53.950

Además, se calculan los costos de implementar estas soluciones, se calculan combinaciones de ellas a fin de buscar una combinación energéticamente más eficiente. Se detallan a continuación diferentes combinaciones de las soluciones antes mencionadas y su disminución.

Tabla 38.- disminución de carga por metro cuadrado

	E.I.F.S.	Termopanel	Mampara	
Postgrado Magister	-54.149	-60.449	-60.449	W/m ²
Ciencias Básicas	-92.00	-92.552	-76.167	W/m ²

Tabla 39.- Balance de Cargas de combinaciones de Soluciones

	Estado actual	Solución 1-2	Solución 1-3	Solución 2-3	Solución 1-2-3
Qsr	5.962	5.638	5.962	5.638	5.638
Qsrt	5.24	3.35	2.43	5.24	3.35
Qvs	-84.34	-84.34	-73.37	-73.37	-73.37
Qvl	-1.838	-1.838	-1.838	-1.838	-1.838
Qiid	1.883	1.883	1.883	1.883	1.883
Qips	2.543	2.543	2.543	2.543	2.543
Qipl	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89
Qie	4.900	4.900	4.900	4.900	4.900
Qc	-37.68	-26.74	-28.32	-33.08	-26.74
Total (KW)	-101.491	-92.726	-83.927	-86.189	-81.756

Como se puede ver en la Tabla 39, al combinar las distintas soluciones se pueden obtener mejores resultados al momento de querer disminuir las pérdidas de energía, pues como las soluciones son independiente entre sí, sus aportes al balance son todos favorables. Para complementar lo dicho, podemos agregar que, cada combinación ataca dos factores que afectan al edificio, por ello son más efectivas.

Como se esperaba, al combinar las tres soluciones en una sola se alcanza el mejor escenario para este edificio, al disminuir significativamente las pérdidas por ventilación y por la envolvente, y aumentar las ganancias solares.

Cabe destacar que como analizamos los edificios en conjunto y también por separado, nos damos cuenta que el edificio de ciencias básicas es en el cual las soluciones aportan de mayor manera en la disminución en sus gastos de calefacción, esta disminución de aprecia en la tabla siguiente.

Tabla 40.-

Porcentaje de disminución de pérdidas de calefacción						
	E.I.F.S.	Termopanel	Mampara	solución 1-2	solución 1-3	solución 2-3
Edificio Ciencias Básicas	3.15%	2.56%	19.81%	5.71%	22.96%	22.38%

A su vez el edificio de Postgrado e investigación de la facultad de ciencias, su disminución al implementar el sistema E.I.F.S. es de un 10.42%

En la siguiente tabla se expresan las disminuciones de cargas por cada solución y el costo que ellas conllevan para ser implementadas en los edificios en conjunto.

Tabla 41.- Resumen de todas las soluciones, su porcentaje de disminución de las pérdidas y el costo de implementación.

	Balance energético (KW)	% de reducción	Costo Implementación
Estado actual	-101.491		
Solución 1	-94.898	6.5%	\$ 2,667,544
Solución 2	-97.160	4.26%	\$ 6,702,020
Solución 3	-90.468	10.86%	\$ 2,471,207
Solución 1-2	-92.726	8.64%	\$ 9,369,564
Solución 1-3	-83.927	17.3%	\$ 5,138,750
Solución 2-3	-86.189	15.08%	\$ 9,173,227
Solución 1-2-3	-81.756	19.44%	\$ 11,840,771

La solución que más nos favorece, reduce las pérdidas en un 17.3 % del total, implementando solución en el edificio de Postgrado como en el edificio de Ciencias Básicas. Implementar esta solución abarcaría un gasto de \$ 5.138.750, lo cual es económico comparado con el resto de soluciones. La disminución en las pérdidas se entiende como un menor gasto de combustible para calefaccionar en recinto, por lo que el valor que resta de gasto lo ocuparemos para calcular el tiempo en el cual se recupera el costo de implementar la solución 1-3. El costo que se genera para calefaccionar es de \$ 869.287 al mes aproximadamente, al implementar la solución 1-3, este gasto disminuye al monto de \$ 719.198 al mes, restando los valores nos da como ahorro \$ 150.090 aproximadamente. Ahora, los valores se deberán considerar en toda la época de invierno (meses más fríos, junio, julio y agosto), por lo que el ahorro en los meses de invierno sería de \$ 450.269, si este valor se va acumulando por año, nos da que en un tiempo de 12 años se recuperaría la inversión de realizar la solución 1-3.

Los análisis de precios unitarios se adjuntan en los anexos.

8. CONCLUSIONES

El edificio de Postgrado e investigación de la facultad de ciencias, y el edificio de Ciencias básicas, son edificio con diferentes años de construcción, y diferente uso dentro de la universidad. Si comparamos ambos edificios nos damos cuenta de las falencias que tiene ciencias básicas, mayormente está construido en tabiquería de madera y no busca minimizar las pérdidas de calor dentro del recinto, si se puede suponer que se construyó de acuerdo a un estándar convencional para su adecuado uso y que el ocupante se sintiera cómodo dentro de él, es decir, al ser construido en madera, tiene menos conductividad al momento de perder energía que uno hecho a base de hormigón.

Por otro lado, el nuevo edificio de postgrado de la facultad de ciencias, está construido ocupando métodos para la disminución de las pérdidas de energía dentro del recinto, esos se pueden apreciar en las ventanas de doble vidrio con cámara de aire o termopanel, en el revestimiento exterior de los muros de metalcon y la distribución de ventanas orientadas al norte, para una mayor ganancia de energía solar, pero aun con estas “mejoras” no se compara con los estándares internacionales

Si observamos los resultados del modelo Revit 2016, nos damos cuenta que en el edificio nuevo tiene una menor pérdida de energía que el edificio de ciencias básicas, pero si somos detallistas se notará que las pérdidas de energía se dan por las mismas causas (pérdidas en muros, ventanas, cubiertas e infiltraciones), unas en mayor medida que otra.

Basándonos en los cálculos teóricos, también se nota la diferencia en las perdidas de energía entre edificios y es aquí donde nos damos cuenta de la brecha que hay entre construcciones, pues el nuevo edificio nos da una demanda de 60.5 W/m^2 , y el de ciencias básicas 94.98 W/m^2 . Dados estos valores y las características de cada edificio, se propone una solución que disminuirá en un cierto porcentaje las perdidas en ambos edificios.

Como el edificio postgrado e investigación de la facultad de ciencias cuenta con ventanas de termopanel, la solución que se propone es implementar el sistema E.I.F.S. en sus muros de hormigón armado, para así disminuir la perdida por muros, este cambio lleva una baja de -46.069 KW a -41.268 KW , esto significa una disminución de un 10.4% aprox. En el edificio de ciencias básicas en cambio se implementará una mampara en su acceso sur y E.I.F.S. en sus muros de hormigón, esto disminuirá la perdida por ventilación en 19.79%.

En resumen, al comparar dos edificios que se construyeron en tiempos muy distantes, se puede ver que, aunque los métodos de construcción han ido mejorando, siempre se tendrán pérdidas de energía, las cuales se han querido disminuir con el paso del tiempo con distintas soluciones, unas económicas que disminuyen en parte y otras que ayudan de mejor manera en las perdidas de energía pero no muy accesibles en precio. Las soluciones que se presentan son solo unas pocas dentro del mundo de la construcción, aunque todas ellas se deben seguir mejorando y reforzándose.

9. REFERENCIAS

cchc. (2008). *Aislación térmica exterior - Manual de diseño para soluciones en edificaciones*. Santiago.

Diaz, V., & Barreneche, R. (2005). *Acondicionamiento térmico de edificios*. Buenos Aires: Nobuko.

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

MinisterioEnergía. (2017). Obtenido de Explorador Solar: <http://www.minenergia.cl/exploradorsolar/>

MinisterioEnergía. (s.f.). *Explorador Energía Eólica*. Obtenido de <http://walker.dgf.uchile.cl/Explorador/Eolico2/>

(2007). *NCH853. Acondicionamiento térmico – Envoltente térmica de edificios – Cálculo de resistencias y transmitancias térmicas*.



10. ANEXOS

Análisis de precio unitario, sistema E.I.F.S.

Análisis Precios Unitarios									
Nombre	Sistema EIFS								
Unidad	\$/m ²								
Fecha	24-01-2019								
Cantidad	344.14								
Mano de obra		Rendimiento	Unidad	1/Rendimiento	Unidad	P.U	Unidad	P.Total	Unidad
Maestro	dia	30	m ² /dia	0.03	dia/m ²	30000	\$/dia	750.0	\$/m ²
Ayudante	dia	10	m ² /dia	0.03	dia/m ²	20000	\$/dia	500.0	\$/m ²
Total mano de obra								1250.0	\$/m ²
Leyes sociales (25%)								312.5	\$/m ²
Total Mano De Obra								1562.5	\$/m ²
Materiales		Rendimiento	Unidad	1/Rendimiento	Unidad	P.U	Unidad	P.Total	Unidad
Poliestireno expandido 30 mm	Un	10	m ² /un	0.100	un/m ²	13000	\$/un	1300.00	\$/m ²
Malla fibra de vidrio 1.2x45.7 m	Un	60	m ² /un	0.017	un/m ²	56714	\$/un	945.24	\$/m ²
Mortero polimerico 25 kg	kg	16.6	m ² /kg	0.060	kg/m ²	9720	\$/kg	585.54	\$/m ²
Pintura exterior estandar	galón	3	m ² /galón	0.333	galón/m ²	9190	\$/galon	3063.33	\$/m ²
5% Perdidas								294.71	\$/m ²
Total Materiales								6188.82	\$/m ²
Total								7751.3	\$/m ²
Presupuesto final								\$ 2,667,544	

Análisis de precio unitario, Instalación Ventanas Termopanel.

Análisis Precios Unitarios									
Nombre	Termopanel								
Unidad	\$/m ²								
Fecha	08-09-2018								
Cantidad	76.23	m ²							
Mano de obra		Rendimiento	Unidad	1/Rendimiento	Unidad	P.U	Unidad	P.Total	Unidad
Maestro	dia	7	m ² /dia	0.10	dia/m ²	30000	\$/dia	3000	\$/m ²
Ayudante	dia	3	m ² /dia	0.10	dia/m ²	10000	\$/dia	1000	\$/m ²
Total mano de obra								4000	\$/m ²
Leyes sociales (25%)								1000	\$/m ²
Total Mano De Obra								5000	\$/m ²
Materiales		Rendimiento	Unidad	1/Rendimiento	Unidad	P.U	Unidad	P.Total	Unidad
Ventana termopanel	m ²	1	m ² /m ²	1.000	m ² /m ²	78970	\$/un	78970	\$/m ²
5% Perdidas								3949	\$/m ²
Total Materiales								82919	\$/m ²
Total								87919	\$/m ²
Presupuesto final								\$ 6,702,020	

Análisis de precio unitario, Instalación Mampara acceso sur

Análisis Precios Unitarios									
Nombre	Instalacion nueva Mampara de acceso								
Unidad	\$/m ²								
Fecha	08-09-2018								
Cantidad	5.642 m ²								
Mano de obra	Rendimiento	Unidad	1/Rendimiento	Unidad	P.U	Unidad	P.Total	Unidad	
Maestro	dia	3	m ² /dia	0.13	dia/m ²	25000	\$/dia	3125.0	\$/m ²
Ayudante	dia	2	m ² /dia	0.13	dia/m ²	15000	\$/dia	1875.0	\$/m ²
Maestro eléctrico	dia	3	m ² /dia	0.13	dia/m ²	20000	\$/dia	2500.0	
						Total mano de obra		7500.0	\$/m ²
						Leyes sociales (25%)		1875.0	\$/m ²
						Total Mano De Obra		9375.0	\$/m ²
Materiales	Rendimiento	Unidad	1/Rendimiento	Unidad	P.U	Unidad	P.Total	Unidad	
Puerta corredera automática, de aluminio y vidrio, con dos hojas	unidad	5.642	m ² /und	0.177	und/m ²	2303155	\$/und	408216.08	\$/m ²
						5% Perdidas		20410.80	\$/m ²
						Total Materiales		428626.88	\$/m ²
						Total		438002	\$/m ²
						Presupuesto final		\$ 2,471,207	