



## **CÁLCULO DE POTENCIA DE CALEFACCIÓN, DEL EDIFICIO SAN JUAN BOSCO, PARA EVALUACIÓN ENERGÉTICA Y PROPUESTA DE SOLUCIONES.**

*P. Castro Carrasco<sup>1</sup>, F. González Monsalve<sup>2</sup> y F. Ferraro Castillo<sup>3</sup>*

### **RESUMEN:**

Uno de los grandes desafíos que hoy en día tiene Chile, en el mercado de la construcción, está relacionado con el acondicionamiento térmico, ya que, existen un sinnúmero de construcciones que no cuentan con lo establecido en la reglamentación actual, y por ende generan una mayor demanda energética en calefacción y/o refrigeración.

La presente investigación, tiene por finalidad evaluar la demanda energética de calefacción de un edificio perteneciente a la Universidad Católica de la Santísima Concepción. Se realizará un balance térmico de la estructura, considerando las ganancias y pérdidas de calor que sufre diariamente por diferentes factores, para finalmente proponer soluciones constructivas y, lograr una reducción del consumo energético del edificio.

El análisis recaerá en el edificio de educación “San Juan Bosco”, mediante cálculos realizados en office Excel y utilizando el software Revit 2019.

En base a los análisis realizados, la mayor pérdida de energía se produce por las cargas en la envolvente (47%), y las cargas de ventilación (52%), por lo que las posibles soluciones estarán enfocadas en este núcleo.

Dentro de las posibles soluciones a evaluar, se encuentra la incorporación de un sistema EIFS para muros de hormigón, implementar ventanas termopanel, instalaciones de cortinas de aire y por último ampliación e instalación de puertas mampara.

Finalmente, se obtuvo que la solución más eficiente corresponde a la instalación de cortinas de aire e instalación de puertas mampara. Al implementar esta solución, se ve reducido el consumo energético de  $-0,42$  (kW/m<sup>2</sup>) a  $-0,23$  (kW/m<sup>2</sup>), disminuyendo en un 45% el gasto energético. Esta propuesta tiene un costo de \$7.343.282 aproximadamente.

Actualmente la caldera instalada, tiene un gasto mensual de \$2.227.535. Al implementar la solución propuesta en el párrafo anterior, el gasto se reduce a \$1.242.939 mensuales, logrando un ahorro de \$984.596 al mes. Se estima que la inversión realizada, se recuperaría en 3 años aproximadamente.

**PALABRAS CLAVES:** Acondicionamiento térmico, Evaluación energética, Balance térmico.

### **ABSTRACT:**

One of the great challenges that Chile has today, in the construction market, is related to thermal conditioning, since there are endless constructions that do not have what is established in the current regulations, and therefore generate a higher energy demand in heating and / or cooling.

The purpose of this research is to evaluate the heating energy demand of a building belonging to the Catholic University of the Holy Conception. Obtain a thermal balance of the structure, obtain



the gains and losses of calories that suffer from different factors, to finally propose constructive solutions and achieve a reduction of the energy consumption of the building.

The analysis will fall on the “San Juan Bosco” education building, through calculations made in Office Excel and using the Revit 2019 software.

Based on the analyzes performed, the greatest loss of energy is caused by the loads in the envelope (47%), and the ventilation loads (52%), so that the possible solutions will be focused on this core.

Among the possible solutions to evaluate, there is the modification of an EIFS system for concrete walls, implementing thermopanel windows, air curtain installations and finally expansion and installation of screen doors.

Finally, it was obtained that the most efficient solution corresponds to the installation of air curtains and installation of screen doors. By implementing this solution, energy consumption is reduced from  $-0,42$  (kW / m<sup>2</sup>) to  $-0,23$  (kW / m<sup>2</sup>), reducing energy expenditure by 45%. This proposal has a cost of approximately \$ 7.343.282.

Currently the installed boiler has a monthly expense of \$ 2.227.535. By implementing the solution proposed in the previous paragraph, the expense is reduced to \$ 1.242.939 per month, achieving savings of \$ 984.596 per month. It is estimated that the investment made would be recovered in approximately 3 years.

**KEYWORDS:** Thermal conditioning, Energy evaluation, Thermal balance.

<sup>1</sup> Estudiante, Carrera Ingeniería Civil, Universidad Católica de la Santísima Concepción, Chile, [pcastro@ing.ucsc.cl](mailto:pcastro@ing.ucsc.cl).

<sup>2</sup> Profesor Guía, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Católica de la Santísima Concepción. Chile, [fgonzalez@ucsc.cl](mailto:fgonzalez@ucsc.cl).

<sup>3</sup> Profesor Revisor, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Católica de la Santísima Concepción. Chile, [francescferraro@ucsc.cl](mailto:francescferraro@ucsc.cl).



## 1.0 INTRODUCCIÓN

Hoy día en Chile, cerca del 25 % de la energía generada es utilizada en el sector residencial, siendo aproximadamente el 56% utilizado en calefacción de viviendas<sup>4</sup>, es por ese motivo que es clave lograr acondicionar térmicamente las viviendas, ya que, el mal acondicionamiento conlleva a tener un déficit de confort térmico, es decir mucho frío en invierno y mucho calor en verano, produciendo un alto consumo de energía<sup>5</sup>.

Una vivienda bien acondicionada puede mejorar fundamentalmente su desempeño térmico, su confort interior, llegando así a lograr una disminución de energía de hasta un 70%<sup>5</sup>.

En la primera década del siglo XX en Chile, por primera vez se implementaron dos etapas de mejora térmica en las viviendas, de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (O.G.U.C), correspondiendo a la aislación térmica de techumbre y una segunda etapa implementada durante el 2007, que amplió los requisitos a la envolvente completa de la vivienda<sup>5</sup>.

Desde el 2013, existe una tercera parte que implemento MINVU y MINERGI, pero que es voluntaria, la cual se basa en la Calificación y Etiquetado Energético de Viviendas Nuevas, que indican el desempeño y eficiencia energética de una vivienda, logrando una calificación de 7 niveles, en donde: A, mayor eficiencia y G, cual corresponde a una vivienda de menos eficiencia<sup>5</sup>.

El objetivo de este informe es analizar la potencia de calefacción, para evaluación energética y dar posibles soluciones constructivas, para lograr una reducción del consumo energético del edificio de educación de la Universidad Católica de la Santísima Concepción, utilizando diferentes fórmulas empíricas, las cuales determinaran las cargas internas y externas que se producen en el edificio, durante los meses más fríos del año (junio, julio, agosto) mediante la utilización del office Excel y software Revit 2019.

## 2.0 ANTECEDENTES

Para llevar a cabo el análisis, se debió realizar una recopilación de antecedentes, ya que, es de suma importancia tener conocimientos de esto. Esta recopilación estará basada en los siguiente:

- Ubicación del Edificio.
- Planos arquitectónicos y EETT arquitectónica.
- Condiciones exteriores e interiores (climatológicas).
- Uso del edificio (oficina, laboratorios, salas, etc).
- Uso diario del edificio.
- Entre otras

### 2.1 Área de estudio

El área de estudio corresponde a la facultad de Educación, llamada “San Juan Bosco”, el cual se ubica en las dependencias de la Universidad Católica de la Santísima Concepción, Campus San Andrés, con dirección Av. Alonso de Ribera 2850, Concepción, región del Bío Bío, Chile, con coordenadas 36°47'53.26"S, 73° 3'14.45"O, tal como se puede apreciar en la figura 1.

El edificio de educación cuenta con una superficie de 938 m<sup>2</sup> aproximadamente.

<sup>4</sup> “Estudio de usos finales y curvas de oferta de conservación de la energía en el sector residencial de Chile”, MINENERGÍA, CDT, septiembre 2010.

<sup>5</sup> “Manual de acondicionamiento térmico, criterios de intervención”, CChC, 2015.

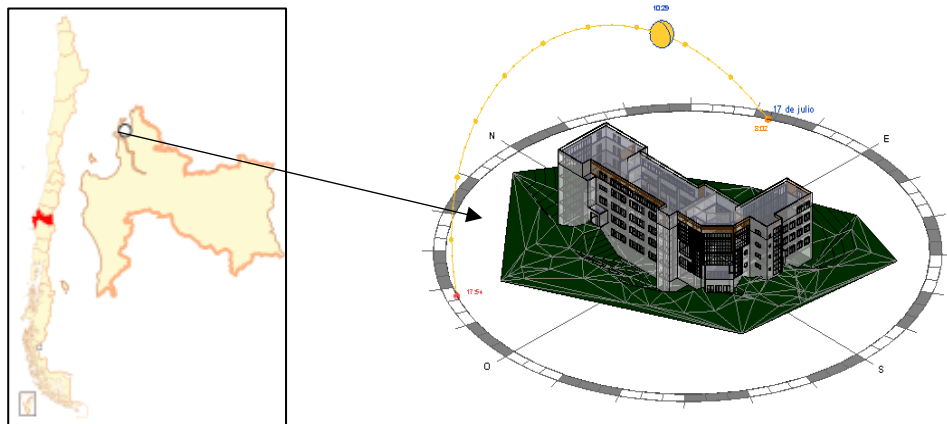


Figura 1: Ubicación edificio San Juan Bosco, modelo en software Revit 2019, con camino del sol activado durante el mes de junio. Fuente: Elaboración propia.

## 2.2 Condiciones de diseño

Para efectos de cálculo y simplificación de estos, se deberán implementar algunas condiciones iniciales, bajo ciertos criterios, expresados en las tablas 1 y 2.

Tabla 1: Condiciones de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) y Humedad Relativa (%) en el interior del edificio<sup>6</sup>.

Temperatura Confort ( $^{\circ}\text{C}$ )	Humedad Relativa interior (%)
19	60

Tabla 2: Condiciones de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )<sup>7</sup> y Humedad Relativa (%)<sup>8</sup> en el exterior del edificio.

Mes	Junio	Julio	Agosto
Temperatura promedio por mes ( $^{\circ}\text{C}$ )	8,20	7,32	6,35
Temperatura promedio ( $^{\circ}\text{C}$ )	7,3		
Temperatura suelo ( $^{\circ}\text{C}$ ) <sup>24</sup>	13		

Mes	Junio	Julio	Agosto
Humedad relativa por mes (%)	88	86	85
Humedad relativa promedio (%)	86		

## 3.0 METODOLOGÍA

### 3.1 Balance térmico

Para lograr determinar las condiciones térmicas del edificio, se deberá realizar un balance térmico, el cual este sujeto al diferencial de temperaturas entre el exterior y la temperatura confort que mantiene el recinto, por ende, dependerán netamente de las pérdidas y ganancias de calor que presenta.

<sup>6</sup> “Acondicionamiento Térmico de Edificios”, Buenos Aires, Díaz & Barreneche, 2005

<sup>7</sup> <https://www.meteored.cl/tiempo-en-Concepcion-America+Sur-Chile-Biobio-SCIE-sactual-18576.html>

<sup>8</sup> [https://www.weather-atlas.com/es/chile/concepcion-clima#humidity\\_relative](https://www.weather-atlas.com/es/chile/concepcion-clima#humidity_relative)

<sup>24</sup> “Metodología para estimar la eficiencia en transferencia de calor en intercambiadores tierra-aire e influencia del tipo de suelo, aplicado al intercambiador de la casa central de la UCSC”, B.Zambrano Medina, 2019.

Para realizar el balance térmico, se deberán realizar una serie de cálculos que involucran las variables expresadas en la ecuación 1 y de una forma aclaratoria se podrá visualizar la figura 2.

*Ecuación 1: Balance Térmico Total<sup>9</sup>*

$$Q_{total} = Q_{sensible} + Q_{latente} = Q_s + Q_i + Q_c + Q_v$$

Donde:

$Q_{total}$  : Balance térmico total (kW).

$Q_{sensible}$  : Carga sensible total (kW).

$Q_{latente}$  : Carga latente total (kW).

$Q_s$  : 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 de ventilación (kW).

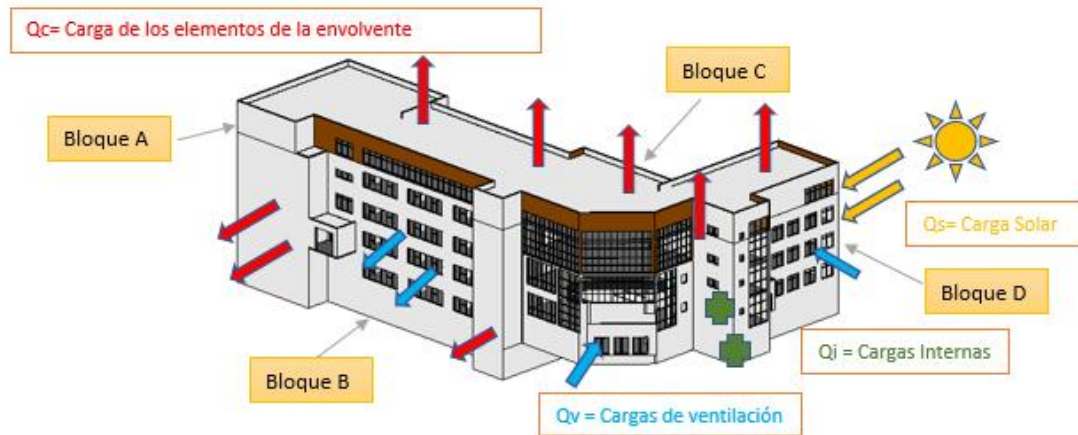


Figura 2: Balance térmico edificio San Juan Bosco, modelo en software Revit 2019  
Fuente: Elaboración propia.

### 3.1.1 Cargas Sensibles, $Q_{sensible}$

El cálculo que se debe realizar para obtener las cargas sensibles se expresa en la ecuación 2.

*Ecuación 2: Cargas térmicas sensibles<sup>6</sup>*

$$Q_{sensible} = Q_{sr} + Q_{str} + Q_c + Q_{iii} + Q_{iid} + Q_{ips} + Q_{ie} + Q_{vs}$$

Donde:

$Q_{sr}$  y  $Q_{str}$  : Cargas solares (kW).

$Q_c$  : Cargas de elementos de la envolvente (kW).

$Q_{iii}$  y  $Q_{iid}$  : Cargas internas de iluminación (kW).

$Q_{ips}$  : Cargas internas sensibles por ocupante (kW).

$Q_{ie}$  : Cargas internas por artefacto (kW).

$Q_{vs}$  : Cargas sensibles de ventilación (kW).

<sup>6</sup> "Acondicionamiento Térmico de Edificios", Buenos Aires, Díaz & Barreneche, 2005

<sup>9</sup> "Balance Térmico", Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ingeniería.

### 3.1.1.1 Balance térmico de cargas solares, $Q_s$ .

#### -Carga solar directa, $Q_{sr}$ .

La radiación solar directa, se obtiene de forma directa, a través, de superficies translúcidas (vidrio), generando un aumento de temperaturas en el interior y, por ende, un aumento de calor en el edificio.

*Ecuación 3: Carga solar directa<sup>7</sup>*

$$Q_{sr} = S * R * \theta$$

Donde:

S: Superficie translúcida (vidrio) expuesta a la radiación ( $m^2$ ).

R: Factor de radiación solar que atraviesa la superficie translúcida ( $W/m^2$ ).

$\theta$ : Coeficiente de ganancia solar, el cual depende del tipo de vidrio.

#### -Carga solar indirecta, $Q_{srt}$

La radiación solar indirecta, es la energía absorbida por los elementos opacos, es decir, muros y techos y produce un aumento de calor en el edificio.

*Ecuación 4: Carga solar indirecta<sup>7</sup>*

$$Q_{srt} = U * S * R * \alpha * R_{so}$$

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 ( $W/m^2$ ).

$\alpha$ : Coeficiente de absorción<sup>10</sup> (%).

$R_{so}$ : Resistencia de la película exterior de aire ( $m^2K/W$ ).

#### Consideraciones en los cálculos de $Q_s$

- Para llevar a cabo el procedimiento de cálculo de la transmisión térmica, se tomó como referencia lo entregado en la Nch 853<sup>11</sup> y lo entregado en el Manual de Acondicionamiento Térmico<sup>5</sup>.
- El coeficiente de ganancia solar se define como la radiación solar incidente, ganando calor al interior del recinto, a través de los vidrios del edificio.

*Tabla 3: Coeficiente de ganancia solar<sup>12</sup>.*

<i>Ventanas de vidrio</i>	<i>Factor</i>
<i>Simple claro</i>	0,86

- La radiación solar incidente y directa, se obtienen de un informe entregado en la página del ministerio de energía en colaboración con la Universidad de Chile. Este informe nos entrega los datos durante todo el año que se requiera estudiar, pero a modo de estudio, se analizaron los meses más fríos, es decir: junio, julio y agosto, en un total de 24 hrs<sup>13</sup>.

<sup>5</sup>“Manual de acondicionamiento térmico, criterios de intervención”, CChC, 2015.

<sup>7</sup> <https://www.meteored.cl/tiempo-en-Concepcion-America+Sur-Chile-Biobio-SCIE-sactual-18576.html>

<sup>10</sup>“Manual de diseño para edificaciones energéticamente eficientes en el trópico”, Caracas, M. Sosa, 2004.

<sup>11</sup>“NCh 853 of 2007, Acondicionamiento Térmico”, INN-Chile.

-Del total de 24 hrs se consideró, solo las horas por orientación en la que el sol recorría el edificio:

- ❖ *Este*: 7:00 hasta 11:00 hrs.
- ❖ *Norte*: 12:00 hasta 14:00 hrs.
- ❖ *Oeste*: 15:00 hasta 18:00 hrs, pero debido a la infraestructura existente frente al edificio por la orientación dicha, solo se consideró 2 hrs de radiación solar, ya que esta infraestructura produce sombra sobre el edificio en estudio.
- ❖ *Sur*: En la parte sur del edificio, se percibe luz solar, no así la radiación solar, es por eso, que se considera fachada sur como nula.

*Tabla 4: Radiación solar Directa e Incidente, según orientación del edificio<sup>13</sup>.*

<i>Promedio meses más fríos (W/m<sup>2</sup>)</i>	<i>Directa</i>	<i>Este</i>	<i>Norte</i>	<i>Oeste</i>	<i>Sur</i>
	125,3	93,97	93,97	62,65	-

### 3.1.1.2 Balance térmico de cargas de los elementos de la envolvente, $Q_c$ <sup>7</sup>.

La transmitancia de un elemento es el flujo de calor que pasa por unidad de superficie. Este parámetro es fundamental para el cálculo del balance de la envolvente, pues involucra a muros, ventanas, puertas, techumbre y piso de la estructura.

*Ecuación 5: Carga de los elementos de la envolvente*

$$Q_c = U * S * (t_{ext} - t_{int})$$

Donde:

U: Transmitancia térmica (W/m<sup>2</sup>K).

S: Superficie expuesta a la diferencia de temperatura (m<sup>2</sup>).

t<sub>ext</sub>: Temperatura del ambiente al exterior del recinto (K)<sup>7</sup>.

t<sub>int</sub>: Temperatura de diseño, dada por el confort térmico al interior del recinto (K)<sup>6</sup>.

Consideraciones en los cálculos de  $Q_c$ .

Para determinar el  $Q_c$  del radier del edificio, se tomó como “t<sub>ext</sub>” la temperatura del suelo.

### 3.1.1.3 Balance térmico de las cargas internas de iluminación, $Q_{ii}$ <sup>6</sup>.

Las cargas internas producidas por iluminación constituyen una fuente de calor sensible, en la que considera dos tipos de lámparas: incandescentes y de descarga.

-Cargas internas sensibles de iluminación para lámparas incandescentes,  $Q_{iii}$ <sup>6</sup>

*Ecuación 6: Carga internas sensibles de iluminación para lámparas incandescentes*

$$Q_{iii} = n * P_{lám.incanscentes}$$

Donde:

n: Número de lámparas de cada tipo.

P<sub>lám.incandescentes</sub>: Potencia de las lámparas incandescentes (W).

<sup>6</sup> “Acondicionamiento Térmico de Edificios”, Buenos Aires, Díaz & Barreneche, 2005

<sup>7</sup> [https://www.meteored.cl/tiempo-en\\_Concepcion-America+Sur-Chile-Biobio-SCIE-sactual-18576.html](https://www.meteored.cl/tiempo-en_Concepcion-America+Sur-Chile-Biobio-SCIE-sactual-18576.html)

<sup>12</sup> <https://www.fau.ucv.ve/idec/racionalidad/Paginas/Manualventanas.html>

<sup>13</sup> <http://www.minenergia.cl/exploradorsolar/>

### -Cargas internas sensibles de iluminación para lámparas de descarga, $Q_{iid}$ <sup>6</sup>

Ecuación 7: Carga internas sensibles de iluminación para lámparas de descarga

$$Q_{iid} = 1,25 * n * P_{lám.descarga}$$

Donde:

n: Número de lámparas de cada tipo por su potencia respectiva.

$P_{lám.incandescentes}$ : Potencia de las lámparas de descarga (W).

#### Consideraciones en los cálculos de $Q_{ii}$

Se considerará solo un 20% del total de lámparas, debido a que aproximadamente solo un 20% se encuentra prendida durante la jornada escolar<sup>20</sup>.

Tabla 5: Tipo y cantidad de lámparas.

Tipo de lámpara	n	n (20%)
Tubos Led	253	51

#### 3.1.1.4 Cargas internas sensibles por ocupante, $Q_{ips}$ <sup>6</sup>.

Previamente se deberá conocer las distintas cargas térmicas que origina la persona, para calcular la carga sensible que aportan<sup>6</sup>:

- ❖ *Conducción*, la cual es originada por el contacto entre el cuerpo con los otros elementos que le rodea.
- ❖ *Convección*, se crean pequeñas corrientes de convección que aporta el calor al aire, debido a que la piel se encuentra a una mayor temperatura que el aire que la rodea.
- ❖ *Radiación*, se produce debido a que la temperatura media del cuerpo es superior a la de los objetos que la rodean.
- ❖ *Respiración*, se produce por el aporte de calor, debido al aire exhalado que se encuentra a mayor temperatura, además se produce un aporte de vapor de agua que aumentara la humedad relativa del aire.



Figura 3: Cargas térmicas que origina una persona.<sup>6</sup>

<sup>6</sup> "Acondicionamiento Térmico de Edificios", Buenos Aires, Díaz & Barreneche, 2005.

<sup>20</sup> Datos entregados por auxiliares de la facultad de Educación de la Universidad Católica de las Santísimas Concepción.

Es por eso, que la carga por ocupación tiene una carga sensible y una latente.

**-Calor sensible por ocupante (Q<sub>ips</sub>).**

Es producto de la suma del calor originado por la radiación, convección y conducción.

*Ecuación 8: Cargas internas sensibles por ocupante*

$$Q_{ips} = n * C_{sen, persona}$$

Donde:

n: Número de personas, según actividad que realice<sup>20</sup>.

C<sub>sen, persona</sub>: Calor emitido por los ocupantes dependiendo de la actividad que realicen (W).

**Consideraciones en los cálculos de Q<sub>ips</sub>**

Considerando que n, será la cantidad máxima de personas que puedan existir realizando esa actividad, se considerará solo un 40% de su totalidad<sup>20</sup>.

*Tabla 6: Cargas sensible por persona, según la actividad que esté realizando.*

<i>Actividad</i>	<i>n</i>	<i>n (40%)</i>	<i>Carga Sensible (W)<sup>14</sup></i>
<i>Sentado, trabajo ligero</i>	200	80	40
<i>Oficinista, trabajo ligero</i>	35	14	50
<i>Persona de pie</i>	400	160	60

**3.1.1.5 Cargas internas por artefacto, Q<sub>ie</sub><sup>6</sup>.**

Es la carga sensible total atribuida a los equipos electrónicos existentes en el edificio.

*Ecuación 9: Cargas internas por artefactos*

$$Q_{ie} = \sum n * C_{artefacto}$$

Donde:

n: Número de artefactos eléctricos que existen en el edificio<sup>20</sup>.

C<sub>sen, persona</sub>: Carga térmica de cada artefacto estudiado (W)<sup>18</sup>.

**Consideraciones para el cálculo de Q<sub>ie</sub>**

Para el cálculo de las cargas internas por artefacto, se considera el 5% de su potencia residual (W).

<sup>6</sup> "Acondicionamiento Térmico de Edificios", Buenos Aires, Díaz & Barreneche, 2005

<sup>14</sup> <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn255.html>

<sup>18</sup> [http://www.arquinstal.com.ar/2016/n2\\_08\\_2016\\_baltermver.pdf](http://www.arquinstal.com.ar/2016/n2_08_2016_baltermver.pdf)

<sup>20</sup> Datos entregados por auxiliares de la facultad de Educación de la Universidad Católica de las Santísima Concepción.

Tabla 7: Tipo y cantidad de artefactos en el edificio.

Tipo de artefacto	n
Microondas	3
Conservadora	2
Cafetera	2
Pantallas Led	3
Hervidor	5
Computador	130
Data	40
Fotocopiadora	3
Impresora	5

### 3.1.1.6 Carga sensible de ventilación, Qvs<sup>6</sup>.

Las cargas sensibles de ventilación son producto del ingreso de aire exterior al edificio, produciendo dentro de este una renovación del aire interior y expulsándolo hacia el exterior.

Ecuación 10: Cargas sensibles de ventilación

$$Q_{ips} = C_{e,aire} * V_{infiltración} * \rho * \Delta T$$

Donde:

$C_{e,aire}$ : Calor específico del aire (1012 J/Kg°C)<sup>6</sup>.

\*  $V_{infiltración}$  : Caudal de aire de ventilación (m<sup>3</sup>/s).

$\rho$ : Densidad de aire (1.18 Kg/m<sup>3</sup>)<sup>6</sup>.

$\Delta T$ : Diferencia de temperatura entre el ambiente exterior e interior (K).

\*El caudal de aire de ventilación ( $V_{infiltración}$ ), es producto del uso que se le dé a las ventanas y puertas del edificio, ubicadas alrededor de la envolvente de este, además de la orientación que estas tengan y la velocidad del viento.

Ecuación 11: Caudal de aire de ventilación

$$V_{infiltración} = A * V_{viento}$$

Donde:

A: Área por el cual entra el aire (m<sup>2</sup>)

$V_{viento}$ : Velocidad del viento (m/s)<sup>15</sup>

#### Consideraciones para el cálculo de Qvs

- Se considera un total de 12 hrs de jornada escolar.
- Para las ventanas:
  - ❖ Se considerará solo el 15% del área total de abertura.
  - ❖ De la totalidad de ventanas en el edificio, solo un 10% se abrirá.
  - ❖ Se mantendrán abiertas por un periodo de 3 hrs.
- Para las puertas:
  - ❖ Se abrirán en su totalidad.
  - ❖ De su totalidad, se consideran todas abiertas.
  - ❖ Se mantendrán abiertas por un periodo de 4 hrs.

<sup>6</sup> "Acondicionamiento Térmico de Edificios", Buenos Aires, Díaz & Barreneche, 2005

<sup>15</sup> <http://walker.dgf.uchile.cl/Explorador/Eolico2/>

- La velocidad del viento se obtiene de un informe entregado en la página del explorador de energía eólica de la Universidad de Chile. Considerando la información entregada, solo para los meses de estudio (junio, julio, agosto)<sup>15</sup>.

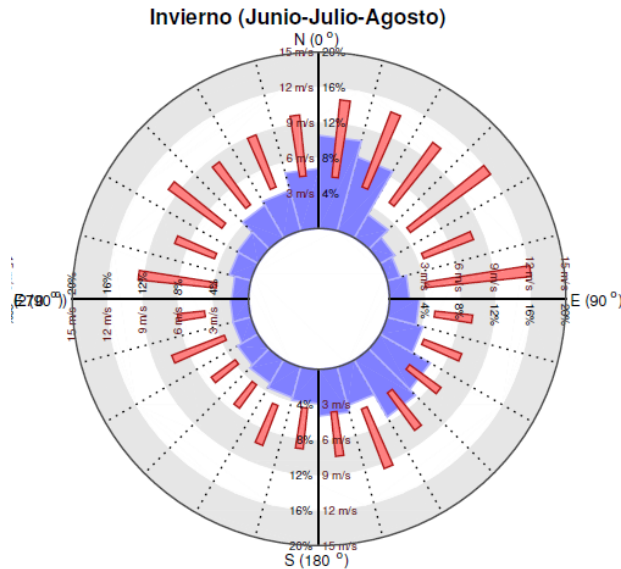


Figura 4: Rosa de los vientos, de los meses estudiados (junio, julio, agosto).

Tabla 8: Promedio de velocidad de viento por orientación.

Velocidad del viento (m/s)	Este	Norte	Oeste	Sur
	9.5	10.15	7.75	7.5

### 3.1.2 Cargas Latente, $Q_{latente}$

El cálculo que se debe realizar para obtener las cargas latentes se expresa en la ecuación 12.

Ecuación 12: Cargas térmicas Latentes

$$Q_{latente} = Q_{ipl} + Q_{vl}$$

Donde:

$Q_{ipl}$  : Carga latente por ocupante (kW).

$Q_{vl}$  : Cargas de elementos de la envolvente (kW).

#### 3.1.2.1 Carga latente por ocupante, $Q_{ipl}$ <sup>6</sup>

Es producto de la suma del calor originado por la transpiración y respiración.

Ecuación 13: Cargas latentes por ocupante

$$Q_{ipl} = n * C_{lat.persona}$$

Donde:

n: Número de personas , según actividad que realice<sup>20</sup>.

$C_{lat, persona}$ : Calor emitido por los ocupantes dependiendo de la actividad que realicen (W).

<sup>6</sup> "Acondicionamiento Térmico de Edificios", Buenos Aires, Díaz & Barreneche, 2005

<sup>15</sup> <http://walker.dgf.uchile.cl/Explorador/Eolico2/>

<sup>20</sup> Datos entregados por auxiliares de la facultad de Educación de la Universidad Católica de las Santísima Concepción.

Tabla 9: Cargas latentes por persona, según la actividad que esté realizando<sup>14</sup>.

Actividad	n	n (40%)	Carga Latente (W)
Sentado, trabajo ligero	200	80	60
Oficinista, trabajo ligero	35	14	60
Persona de pie	400	160	65

### 3.1.2.2 Carga latente de ventilación, $Q_{vl}$ <sup>6</sup>

Las cargas latentes de ventilación son producidas por infiltraciones y ventilaciones de aire exterior.

Ecuación 14: Cargas latentes de ventilación

$$Q_{ipl} = V_r * 0.84 * \Delta W$$

Donde:

$V_r$ : Caudal de aire infiltrado y ventilación ( $m^3/s$ ).

$\Delta W$ : Diferencia de humedad entre el exterior e interior.

Ecuación 15: Cargas latentes de ventilación

$$V_r = V * R. A. H$$

Donde:

V: Volumen del recinto ( $m^3$ ).

R.A.H: Número de renovación por hora, según el tipo de recinto que se esté analizando ( $1/h$ )<sup>16</sup>.

## 3.2 Carga térmica de la caldera

La caldera que se encuentra en el edificio San Juan Bosco tiene las siguientes características:

Tabla 10: Características de la caldera existente en el edificio San Juan Bosco.

Modelo	Potencia Útil (kW)	Tipo de combustible	Consumo eléctrico [kW]	Consumo gas ( $m^3$ )	Horas de funcionamiento <sup>23</sup>
Super RAC 290	203.7	gas	1,25	192	10,5

## 4.0 RESULTADOS

### 4.1 Balance térmico

Mediante las fórmulas y acotaciones mencionadas en el apartado 3.0, se obtuvieron los siguientes resultados

#### 4.1.1 Cargas Sensibles

##### 4.1.1.1 Cargas Solares, $Q_s$ .

<sup>6</sup> "Acondicionamiento Térmico de Edificios", Buenos Aires, Díaz & Barreneche, 2005

<sup>14</sup> <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn255.html>

<sup>16</sup> [https://www.casals.com/assets/uploads/editor/file/renovacion\\_de\\_aire\\_en\\_locales\\_tipicos\\_casals.pdf](https://www.casals.com/assets/uploads/editor/file/renovacion_de_aire_en_locales_tipicos_casals.pdf)

<sup>23</sup> Administrador de la calefacción de la Universidad Católica de la Santísima Concepción.

### -Carga Solar Directa, Qsr.

Para llevar a cabo el cálculo de la carga solar directa, se deben tener en cuentas las consideraciones realizadas en el numeral 3.1.1.1. Además, tener presente las áreas vidriadas por orientación, ya que, es fundamental saber la carga solar incidente que le llega al edificio.

Tabla 11: Cargas solares directas del edificio.

<b>Bloque</b>	<b>Este (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Norte (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Oeste (m<sup>2</sup>)</b>
Bloque A	82,17	206,22	22,35
Bloque B	299,83	-	152,35
Bloque C	66,42	-	149,83
Bloque D	16,20	243,38	3,53
Total (m <sup>2</sup> )	464,62	449,60	328,06
Qsr Total (W)	37549,20	36335,00	17675,00
<b>Qsr Total (kW)</b>	<b>91,56</b>		

Como se puede apreciar en la tabla 11, la carga solar directa en el edificio es de 91,56 kW.

### -Cargas Solares Indirectas, Qsrt.

Para llevar a cabo el cálculo de las cargas solares indirectas, se deberá tener presente las consideraciones realizadas en el numeral 3.1.1.1.

Se considero la resistencia de la película exterior de aire (Rso)<sup>6</sup> igual a 0,055 (m<sup>2</sup>K/W), para datos analizados.

Tabla 12: Carga solar indirecta del edificio.

<b>Elemento opaco</b>	<b>U (W/m<sup>2</sup>K)</b>	<b>Orientación</b>	<b>Este</b>	<b>Norte</b>	<b>Oeste</b>
Muro de Hormigón	3,07	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	582,3	194,58	570,92
Muro de Metalcon con volcanita	0,43		186,9	95,44	157,76
<b>Qsrt (kW)</b>			8,1	2,78	5,28
Techumbre	0,409	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	938		
<b>Qsrt (kW)</b>			2,21		
<b>Qsrt total (kW)</b>			<b>18,04</b>		

Como se puede apreciar en la tabla 12, la carga solar indirecta en el edificio es de 18,04 kW.

#### 4.1.1.2 Cargas de los elementos de la envolvente, Qc.

Para llevar a cabo el cálculo de las cargas de los elementos de la envolvente, se deberá tener presente las consideraciones realizadas en el numeral 3.1.1.2.

<sup>6</sup> "Acondicionamiento Térmico de Edificios", Buenos Aires, Díaz & Barreneche, 2005

Tabla 13: Carga de los elementos de la envolvente del edificio.

<i>Elementos de la envolvente</i>						
<i>Superficie (m<sup>2</sup>)</i>	<i>Muro de hormigón</i>	<i>Muro de Metalcon con volcanita</i>	<i>Áreas vidriadas</i>	<i>Techumbre (Techo más cielo)</i>		<i>Radier</i>
<i>U (W/m<sup>2</sup>K)</i>	3,068	0,43	5,763	0,409	7,081	3,205
<i>Qc (kW)</i>	-55,11	-2,71	-99,41	-4,47	-77,47	-16,39
<b><i>Qc total (kW)</i></b>	-255,56					

Como se puede apreciar en la tabla 13, la carga interna de los elementos de la envolvente del edificio es de -255,56 kW.

#### 4.1.1.3 Cargas internas de iluminación, Qii.

Se debe mencionar que el edificio no cuenta con lámparas incandescentes, por lo que no se considera para realizar los cálculos, es decir, Qiii es igual a 0.

Según los antecedentes mencionados en el numeral 3.1.1.3

Tabla 14: Carga internas de iluminación incandescentes del edificio.

<i>Tipo de Lámpara</i>	<i>n</i>	<i>Potencia (W)<sup>17</sup></i>	<i>Potencia Total (KW)</i>
<i>Tubos Led</i>	51	18	11,39

Como se puede apreciar en la tabla 14, la carga interna de iluminación incandescentes del edificio es de 11,39 kW.

#### 4.1.1.4 Cargas internas sensibles por ocupante, Qips.

Para llevar a cabo el cálculo de las cargas internas sensibles por ocupante según su actividad, se deberá tener presente las consideraciones realizadas en el numeral 3.1.1.4.

Tabla 15: Carga sensibles por ocupante del edificio.

<b>Cargas por ocupante</b>	<b>n</b>	<b>n (%)</b>	<b>Carga Sensible (W)</b>	<b>Qips total (kW)</b>
<i>Sentado trabajo ligero (instituto)</i>	200	80	60	4,8
<i>Oficinista, actividad ligera</i>	35	14	60	0,84
<i>Persona de pie</i>	400	160	65	10,4
<b>Total (kW)</b>				16,04

Como se puede apreciar en la tabla 15, la carga sensible por ocupante total dentro del edificio es de 16,04 kW.

#### 4.1.1.5 Cargas internas por artefacto, Qie.

Para llevar a cabo el cálculo de las cargas interna de los artefactos que se encuentran en el edificio, se deberá tener presente las consideraciones realizadas en el numeral 3.1.1.5.

Tabla 16: Carga internas por artefacto del edificio.

Artefactos eléctricos	n	Potencia (W)	5% Pot. Residual (W)	Total (W)
Microondas	3	1100	55	165
Congeladora	2	340	17	34
Cafetera	2	1600	80	160
Pantalla Led	3	250	12,5	37,5
Hervidor	5	2000	100	500
Computador	130	300	15	1950
Data	40	700	35	1400
Fotocopiadora	3	500	25	75
Impresora	5	700	35	175
<b>Total (kW)</b>				<b>4,5</b>

Como se puede apreciar en la tabla 16, la carga interna total de los artefactos del edificio es de 4,5 kW.

#### 4.1.1.6 Carga sensible de ventilación, Qvs.

El análisis se realizará en las orientaciones este, norte y oeste, debido a que, en la orientación sur del edificio, la protege el edificio aledaño (Edificio de ingles), estando a una distancia de 2.0 metros, lo cual la entrada de viento se estima nula. Además, se deberán tener en consideración las acotaciones realizadas en el numeral 3.1.1.6.

Tabla 17: Carga sensibles de ventilación para ventanas del edificio.

<b>Ventanas</b>				
Velocidad del Viento (m/s)	Norte	Sur	Este	Oeste
	10,15	7,5	9,5	7,75
Área (m <sup>2</sup> )	67,44	-	56,63	46,15
V(m <sup>3</sup> /s)	684,51	-	538,07	357,65
V. usado(m <sup>3</sup> /s)	68,45	-	53,81	35,77
Qvs (W)	-239.094,84	-	-187.943,45	-124.925,06
<b>Qvs total (kW)</b>	<b>-45,81</b>			

Tabla 18: Carga sensibles de ventilación para puertas del edificio.

<b>Puertas</b>				
Velocidad del Viento (m/s)	Norte	Sur	Este	Oeste
	10,15	7,5	9,5	7,75
Área (m <sup>2</sup> )	-	-	4,86	20,4
V(m <sup>3</sup> /s)	-	-	46,17	158,1
V. usado(m <sup>3</sup> /s)	-	-	46,17	158,10
Qvs (W)	-	-	-161.268,02	-552.230,34
<b>Qvs total (kW)</b>	<b>-237,83</b>			

Tabla 19: Tabla resumen de la carga sensible de ventilación de puertas y ventanas del edificio.

<b><math>Q_{vs}</math> (kW)</b>	
Ventanas	-45,81
Puertas	-237,83
<b><math>Q_{vs}</math> (kW) total</b>	<b>-283,65</b>

Como se puede apreciar en la tabla 19, la carga de ventilación del edificio es de -283,65 kW.

## 4.1.2 Cargas Latentes

### 4.1.2.1 Carga latente por ocupante, $Q_{ipl}$

Para llevar a cabo el cálculo de las cargas internas latentes por ocupante según su actividad, se deberá tener presente las consideraciones realizadas en el numeral 3.1.2.1.

Tabla 20: Tabla de carga latente por ocupante del edificio.

<b>Cargas por ocupante</b>	<b><math>n</math></b>	<b><math>n</math> (%)</b>	<b>Carga Latente (W)</b>	<b><math>Q_{ipl}</math> total (kW)</b>
Sentado trabajo ligero (instituto)	200	80	40	2,4
Oficinista, actividad ligera	35	14	50	3
Persona de pie	400	160	60	3,9
<b>Total (kW)</b>	<b>9,3</b>			

Como se puede apreciar en la tabla 20, la carga total latente por ocupante en el edificio es de 9.3 kW.

### 4.1.2.2 Carga latente de ventilación, $Q_{vl}$

Para llevar a cabo el cálculo de las cargas latente de ventilación, se deberá tener presente las consideraciones realizadas en el numeral 3.1.2.2.

Tabla 21: Tabla de carga latente de ventilación del edificio.

<b>Parámetros</b>	<b>Bloque A</b>	<b>Bloque B</b>	<b>Bloque C</b>	<b>Bloque D</b>
Altura (m)	23,00	23,00	19,1	19,1
Área sup (m <sup>2</sup> )	244,19	299,10	171,46	182,26
Vol (m <sup>3</sup> )	5616,46	6879,32	3274,94	3481,24
R.A.H (1/s)	0,0019			
Vr(m <sup>3</sup> /s)	10,92	13,38	6,37	6,77
$\Delta W$	-0,26			
$Q_{vl}$ (W)	-2.39	-2.92	-1.39	-1.48
<b><math>Q_{vl}</math> Total (kW)</b>	<b>-8,18</b>			

Como se puede apreciar en la tabla 21, la carga total latente de ventilación en el edificio es de -8,18 kW.

## 4.2 Balance térmico total

Finalmente, de acuerdo con los análisis realizados en el numeral 3.0 y 4.1, se da como resultado final la suma de todas las cargas, es decir, cargas sensibles más cargas latentes, obteniendo como resultado el balance térmico total del edificio.

A continuación, en la tabla 22, se muestra un resumen de todas las cargas analizadas y el resultado final del balance térmico del edificio.

Tabla 22: Tabla resumen del total de cargas del edificio.

Tipo de carga		Carga Total (kW)
<i>Sensible</i>		
Carga Solar	Directa	91,56
	Indirecta	18,40
Carga de los elementos de la envolvente		-255,56
Cargas internas de iluminación		11,39
Cargas por ocupante		16,04
Cargas internas por artefacto		4,50
Cargas de ventilación		-283,65
<i>Latente</i>		
Cargas por ocupante		9,3
Cargas de ventilación		-8,18
<b>Balance Térmico Total (kW)</b>		<b>-396,20</b>
<b>Balance Térmico Total (kW/m<sup>2</sup>)</b>		<b>-0,42</b>

## 4.3 Gastos operacionales asociados a las calderas

Como se mencionó en el numeral 3.2, el edificio San Juan Bosco cuenta con una caldera modelo Super Rac 290, con una potencia nominal de 291 kW, pero que trabaja a un rendimiento de un 70%<sup>23</sup> (Potencia útil de 203,7 kW) para la calefacción del edificio, en época de invierno (junio, julio, agosto).

Se llevará a cabo un cálculo de los gastos operacionales (tabla 24) por un mes (20 días), teniendo en cuenta que esta tiene un funcionamiento de 10,5 hrs de lunes a viernes<sup>23</sup>, y además considerando los precios de la electricidad (\$/kWh) y del gas natural (\$/m<sup>3</sup>) a la fecha. (tabla 23).

Consideraciones: El precio del gas natural que factura la universidad, es inferior, como no se pudo acceder a esa información, por lo que se tomó como referencia el precio del gas a la fecha.

Tabla 23: Precios de electricidad y gas natural<sup>21</sup>.

Electricidad (\$/kWh)	Gas Natural (\$/m <sup>3</sup> )
126	570

Tabla 24: Gasto mensual de la caldera Super Rac 290

Modelo	Consumo		Horas de funcionamiento
Super Rac 290	Eléctrico (kWh)	Gas (m <sup>3</sup> )	10,5
Consumo de la caldera	1,25	192	
Gasto Diario	\$ 1.654	\$ 109.723	
<b>Gasto Mensual</b>	<b>\$ 2.227.535</b>		

<sup>21</sup> <https://www.gassur.cl/Tarifas/comparacion-precios>

<sup>23</sup> Administrador de la calefacción de la Universidad Católica de la Santísima Concepción.

Como se puede apreciar en la tabla 24, el gasto mensual de la caldera del edificio San Juan Bosco, es de un total de \$2.227.535, considerando que esta tiene un uso en los meses más fríos del año.

#### 4.4 Modelo energético facultad de Educación, Software Revit 2019

El análisis que se realizara del edificio de educación en el software Revit Insight, que es una nueva implementación del software.

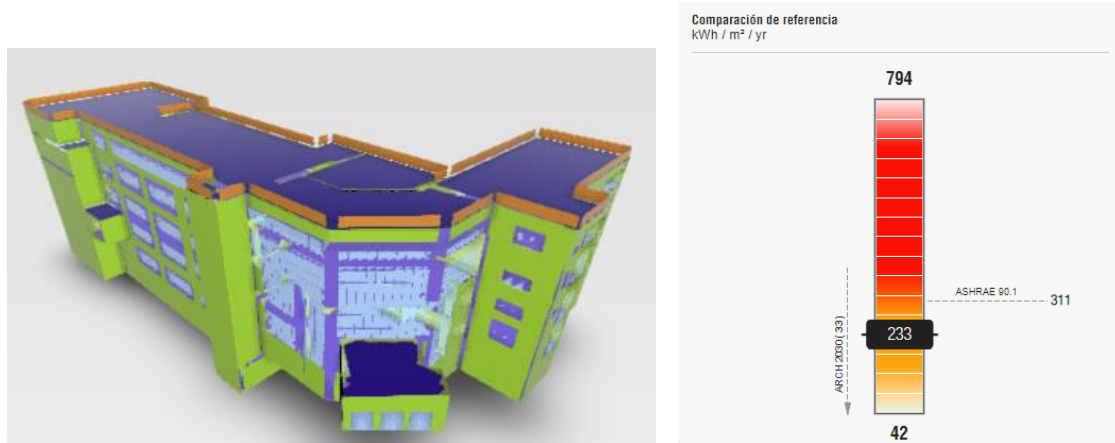


Figura 5: Modelo del edificio y comparación de referencia, en el software Revit Insight 2019.

Como se puede apreciar la figura 5, el edificio tiene un consumo energético de 233 kWh/m<sup>2</sup>/año, el cual está bajo el máximo consumo que debería tener según la ASHRAE 90.1, pero del cual aun es un consumo muy alto. Se debe tener en consideración que el análisis que realiza este software no representa las cargas causadas por la ventilación, que es una variable que tiene un impacto considerable en el análisis de demanda térmica, como lo habíamos señalado anteriormente.

#### 5.0 PROPUESTA DE SOLUCIONES.

Como solución al balance térmico total del edificio, se busca reducir considerablemente el requerimiento de energía. Es por ese motivo, que existen hoy en día un sinnúmero de soluciones constructivas en el mercado. Por lo tanto, como primer foco de análisis, se debe poner énfasis en aquellas cargas donde existen una mayor demanda de energía, para así poder encontrar las posibles soluciones constructivas.

Analizando la tabla 22 del numeral 4.2, el análisis estará basado en encontrar soluciones para los elementos que conforman la envolvente del edificio, y la ventilación sensible, debido a que estas abarcan el 52% y 47% respectivamente del consumo total.

#### 5.1 Posible solución para la carga sensible de ventilación

##### ❖ Puertas mamparas más cortinas de aire

Como se puede apreciar en la figura 2 (numeral 3.1), en el bloque C (oeste) existe un estilo de entrada mampara, la cual está compuesta por puertas de aluminio estilo vaivén, a una distancia de 3,0 metros entre ellas, por la cual al momento de abrir las puertas, estas no garantizan que al abrir las segundas puertas de acceso, se hayan cerrado las primeras, es por ese motivo que se proponen ampliar la distancia entre puertas, a un mínimo de 4,0 metros, para que al momento de abrirlas, no se produzca una pérdida de aire considerable.

En la entrada principal del bloque A, se propone la instalación de entrada diseñada para el bloque C, además de instalaciones de cortinas de aire, en las puertas de acceso al edificio.

Se debe tener en consideración, que la propuesta no impide la entrada de aire a un 100%, es por ese motivo que se estimó una pérdida de aire de un 5% para orientación oeste y de un 10% para la orientación este, del edificio.

Tabla 25: Comparación de Carga total del edificio, aplicando solución.

Tipo de carga		Carga Total (kW)	Carga Total con solución (kW)
<i>Sensible</i>			
<i>Carga Solar</i>	<i>Directa</i>	91,56	91,56
	<i>Indirecta</i>	18,40	18,40
<i>Carga de los elementos de la envolvente</i>		-255,56	-255,56
<i>Cargas internas de iluminación</i>		11,39	11,39
<i>Cargas por ocupante</i>		16,04	16,04
<i>Cargas internas por artefacto</i>		4,50	4,50
<i>Cargas de ventilación</i>		-283,65	-104,13
<i>Latente</i>			
<i>Cargas por ocupante</i>		9,3	9,3
<i>Cargas de ventilación</i>		-8,18	-8,18
<b>Balance Térmico Total (kW)</b>		-396,20	-216,68
<b>Balance Térmico Total (kW/m<sup>2</sup>)</b>		-0,42	-0,23

Al implementar la solución planteada, existe un cambio de carga de ventilación sensible, tal como, se ve en la tabla 25, logrando una disminución de un 45% de la carga total en el edificio.

Al realizar un análisis de precio unitario (numeral 9.0) para la implementación de la solución planteada, se estima una inversión de \$7.343.282

## 5.2 Posibles soluciones para la envolvente del edificio

Al implementar las soluciones para los materiales de la envolvente, se ve también afectadas otras componentes, de las cuales se mostrarán en las tablas finales, por solución planteada.

### ❖ Sistema EIFS (Sistema de aislamiento térmico exterior)

Como primera solución para la envolvente, se propone implementar el sistema EIFS " Sistema de aislamiento térmico exterior" al muro de hormigón, el cual es un sistema que nace como una solución para ahorrar consumo de energía propia de la edificación. Esta solución consiste en un simple revestimiento de muro, que se aplica solo por los paramentos exteriores, como envolvente, logrando con esta instalación una disminución de los costos de consumo energético de calefacción, en días de invierno y uso del aire acondicionado en los días de calor, y que naturalmente va a depender del espesor de esta aislación (a mayor espesor mayor ahorro).

Tabla 26: Comparación de Carga total del edificio, aplicando solución.

Tipo de carga		Carga Total (kW)	Carga Total con solución (kW)
<i>Sensible</i>			
Carga Solar	Directa	91,56	91,56
	Indirecta	18,40	5,57
Carga de los elementos de la envolvente		-255,56	-209,68
Cargas internas de iluminación		11,39	11,39
Cargas por ocupante		16,04	16,04
Cargas internas por artefacto		4,50	4,50
Cargas de ventilación		-283,65	-283,65
<i>Latente</i>			
Cargas por ocupante		9,3	9,3
Cargas de ventilación		-8,18	-8,18
<b>Balance Térmico Total (kW)</b>		-396,20	-363,15
<b>Balance Térmico Total (kW/m<sup>2</sup>)</b>		-0,42	-0,39

Como se logra apreciar en la tabla 26, al implementar la solución planteada existe un cambio en la carga solar indirecta y la carga de los elementos de la envolvente, logrando una disminución de un 8% en la carga total en el edificio.

Al realizar un análisis de precio unitario (numeral 9.0) para la implementación de la solución planteada, se estima una inversión de \$16.575.281.

#### ❖ Ventanas Termopanel

Como segunda opción, y debido a la gran demanda que existe de ventanas, se recomienda realizar un cambio de ventanas, en el edificio. Este cambio de ventanas será reemplazar dichas ventanas, por unas de alta eficiencia energética, lo que nos dará como resultado una mayor aislación térmica, reduciendo hasta un 50% las pérdidas energéticas a través de estas, debido que estas ventanas cuentan con una cámara de aire entre los cristales.

Tabla 27: Comparación de Carga total del edificio, aplicando solución.

Tipo de carga		Carga Total (kW)	Carga Total con solución (kW)
<i>Sensible</i>			
Carga Solar	Directa	91,56	80,91
	Indirecta	18,40	18,40
Carga de los elementos de la envolvente		-255,56	-187,47
Cargas internas de iluminación		11,39	11,39
Cargas por ocupante		16,04	16,04
Cargas internas por artefacto		4,50	4,50
Cargas de ventilación		-283,65	-283,65
<i>Latente</i>			
Cargas por ocupante		9,3	9,3
Cargas de ventilación		-8,18	-8,18
<b>Balance Térmico Total (kW)</b>		-396,20	-338,75
<b>Balance Térmico Total (kW/m<sup>2</sup>)</b>		-0,42	-0,36

Como se logra apreciar en la tabla 27, al implementar la solución planteada existe un cambio en la carga solar directa y la carga de los elementos de la envolvente, logrando una disminución de un 14% en la carga total en el edificio.

Al realizar un análisis de precio unitario (numeral 8.0) para la implementación de la solución planteada, se estima una inversión de \$116.493.984.

### 5.3 Propuesta de soluciones según el Software Revit 2019.

- ❖ Como primera posible solución para disminuir el consumo energético del edificio de educación, se planteó realizar un cambio de vidrio (Trp LoE), en las orientaciones, norte, oeste y este.

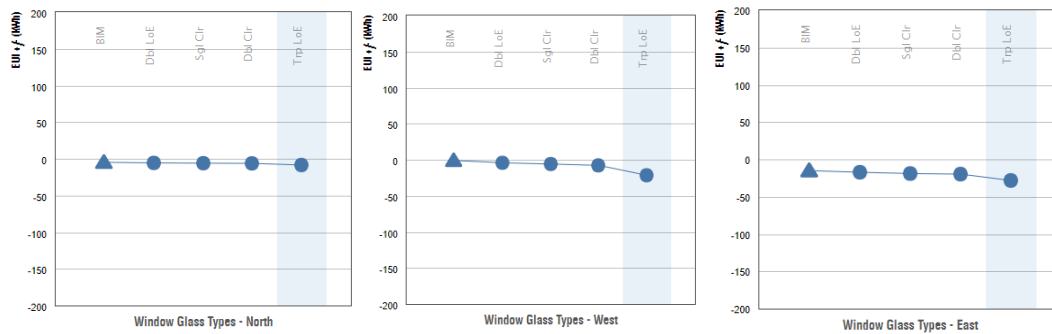


Figura 6: Cambio de vidrio en el software Revit Insight 2019.

Al implementar esta solución mediante el software se ve una disminución de consumo energético total de un 9%, tal como se puede apreciar en la figura 7.

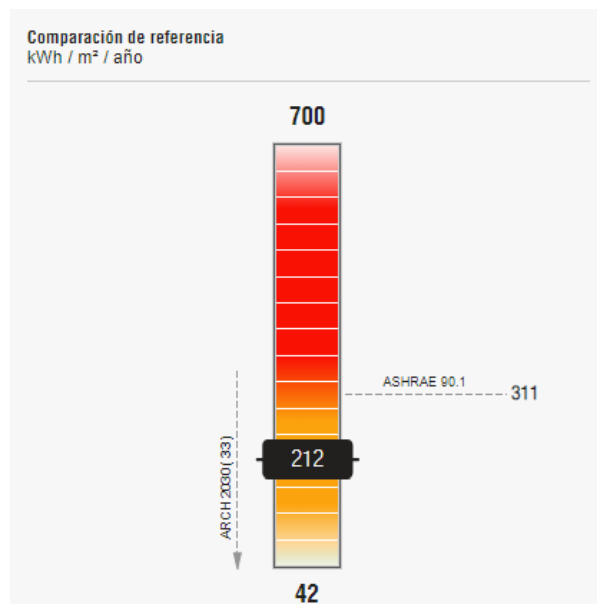


Figura 7: Comparación de referencia con solución, en el software Revit Insight 2019

- ❖ La segunda solución para disminuir el consumo energético del edificio de educación, se planteó realizar una instalación de persianas (figura 8), en las orientaciones, norte, oeste y este a 2/3 de altura.

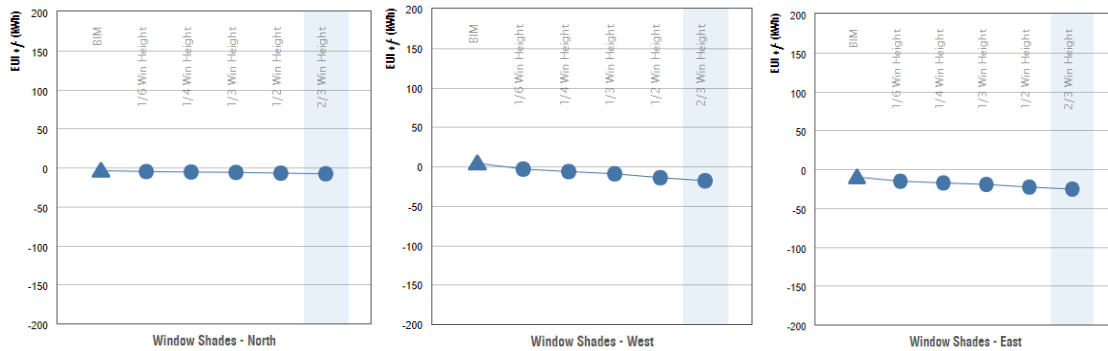


Figura 8: Instalación de persianas en el software Revit Insight 2019

Al implementar esta solución mediante el software se ve una disminución de consumo energético total de un 7%, tal como se puede apreciar en la figura 9.

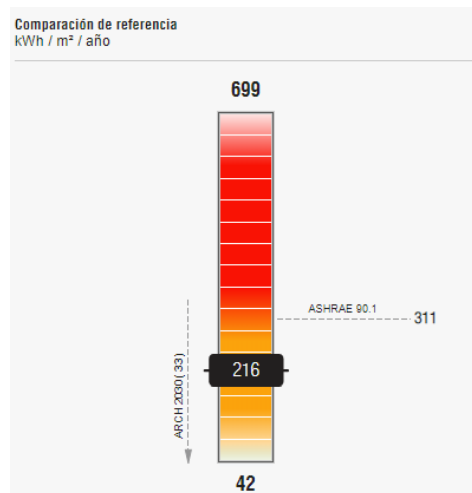


Figura 9: Comparación de referencia con solución, en el software Revit Insight 2019.

## 6.0 ANÁLISIS DE RENTABILIDAD

El beneficio que presenta la instalación de puertas mamparas más cortinas de aire, se obtiene en la forma de ahorro energético del edificio. Este ahorro energético, se produce cuando se logra obtener una energía térmica a un menor precio, que con tecnologías tradicionales<sup>25</sup>.

La metodología tradicional para evaluar este ahorro energético y económico es el VAN (valor neto), el cual representa el beneficio o pérdida total del proyecto<sup>25</sup>.

Ecuación 16: Calculo del VAN.

$$VAN = Inversión + \sum_{t=1}^{t=T} \frac{FCt}{(1+r)^t}$$

Donde:

t: Tiempo estimado (se consideró 6 años)

r: Tasa de descuento al año (8%)<sup>25</sup>.

FCt: Son los flujos de cajas netos en cada año.

<sup>25</sup> “Estudio de Factibilidad para la implementación de un sistema de climatización con bomba de calor geotérmica en la facultad de ingeniería de la UCSC”, A.Vidal Lepe, 2017.

El TIR (Valor de la tasa interna de retorno), corresponde a aquella tasa de descuento que hace que el VAN, sea igual a cero.

Tabla 28: Análisis del VAN y TIR, para la instalación de mamparas y cortinas de aire.

Año	Ahorro anual	Ahorro acumulado	VAN	TIR
		\$-7.343.282		
1	\$2.953.789	\$-4.389.493	3.192.735	14%
2	\$2.953.789	\$-1.435.704		
3	\$2.953.789	\$1.518.086		
4	\$2.953.789	\$4.471.875		
5	\$2.953.789	\$7.425.664		
6	\$2.953.789	\$10.379.454		

## 7.0 CONCLUSIONES

Luego de realizar el análisis correspondiente al edificio de educación “San Juan Bosco”, se puede observar mediante los cálculos, que no es un edificio que presenta las condiciones óptimas de confort en su interior y debido a que en la actualidad no existe un manual de acondicionamiento térmico para edificios, se tomó como referencia el manual de acondicionamiento térmico para viviendas.

Los muros perimetrales de hormigón armado tienen una transmitancia térmica  $U=3.068$  ( $W/m^2K$ ) y según el manual de aplicaciones de la reglamentación térmica<sup>22</sup>, debe tener como máximo  $U=1.7$  ( $W/m^2K$ ), por lo que se concluye que este muro no cuenta con las condiciones óptimas que menciona dicho manual. La nueva estructura del edificio realizada el 2018, cumple con lo mencionado en el manual de aplicación de la reglamentación térmica, ya que este muro tiene  $U=0.43$  ( $W/m^2K$ ).

Según los cálculos del balance térmico (numeral 4.1), es evidente lograr diferenciar en donde se produce las mayores pérdidas de energía. Estas pérdidas, son a través de la infiltración de aire por puertas y ventanas (52% de las pérdidas totales) y mediante la envolvente de los elementos (47% de las pérdidas totales). Dado esto, se debió proponer soluciones, para lograr disminuir el requerimiento de energía, y así poder llegar a obtener un ambiente confort dentro del edificio.

Al realizar el análisis de las propuestas de soluciones para el edificio San Juan Bosco (numeral 5.0), se priorizo la demanda producida por la infiltración de aire por puertas y ventanas, ya que, esta abarca el 54% de las pérdidas totales. Como solución, se propuso la ampliación de las puertas mamparas en el bloque C. Además de la instalación puertas mamparas en el bloque A e instalación de cortinas de aire en las entradas principales del edificio, debido a que es la solución más eficiente. Se estima una infiltración de aire mínima de un 5% en la orientación oeste y 10% en la orientación este.

Finalmente, se tiene que, al implementar la solución propuesta, se reduce la carga total del edificio en un 45%. Esta solución tiene un costo de \$7.343.282, pero dado que la universidad gasta mensualmente (20 días) \$2.227.535, el gasto se reduce a \$1.242.939 mensuales, logrando un ahorro de \$984.596 al mes.

Según el análisis realizado en el numeral 6.0, la inversión realizada para la instalación de puertas mamparas y cortinas de aire, es un proyecto rentable ( $VAN>0$ ), ya que, la inversión se recuperaría en 3 años aproximadamente, de donde, además se concluye que, para un periodo de 6 años, el banco como tasa máxima de interés que podría cobrar sería de un 14 %, para que este proyecto siga siendo rentable.



## 8.0 REFERENCIAS

- <sup>4</sup> “Estudio de usos finales y curvas de oferta de conservación de la energía en el sector residencial de Chile”, MINENERGÍA, CDT, septiembre 2010.
- <sup>5</sup> “Manual de acondicionamiento térmico, criterios de intervención”, CChC, 2015.
- <sup>6</sup> “Acondicionamiento Térmico de Edificios”, Buenos Aires, Díaz & Barreneche, 2005
- <sup>7</sup> [https://www.meteored.cl/tiempo-en\\_Concepcion-America+Sur-Chile-Biobio-SCIE-sactual-18576.html](https://www.meteored.cl/tiempo-en_Concepcion-America+Sur-Chile-Biobio-SCIE-sactual-18576.html)
- <sup>8</sup> [https://www.weather-atlas.com/es/chile/concepcion-clima#humidity\\_relative](https://www.weather-atlas.com/es/chile/concepcion-clima#humidity_relative)
- <sup>9</sup> “Balance Térmico”, Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ingeniería.
- <sup>10</sup> “Manual de diseño para edificaciones energéticamente eficientes en el trópico”, Caracas, M. Sosa, 2004.
- <sup>11</sup> “NCh 853 of 2007, Acondicionamiento Térmico”, INN-Chile.
- <sup>12</sup> <https://www.fau.ucv.ve/idec/racionalidad/Paginas/Manualventanas.html>
- <sup>13</sup> <http://www.minenergia.cl/exploradorsolar/>
- <sup>14</sup> <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn255.html>
- <sup>15</sup> <http://walker.dgf.uchile.cl/Explorador/Eolico2/>
- <sup>16</sup> [https://www.casals.com/assets/uploads/editor/file/renovacion\\_de\\_aire\\_en\\_locales\\_tipicos\\_casals.pdf](https://www.casals.com/assets/uploads/editor/file/renovacion_de_aire_en_locales_tipicos_casals.pdf)
- <sup>17</sup> [http://www.newscenter.philips.com/pwc\\_nc/main/shared/assets/Downloadablefile/PR2014/Folieto\\_LED\\_2014.pdf](http://www.newscenter.philips.com/pwc_nc/main/shared/assets/Downloadablefile/PR2014/Folieto_LED_2014.pdf)
- <sup>18</sup> [http://www.arquinstal.com.ar/2016/n2\\_08\\_2016\\_baltermver.pdf](http://www.arquinstal.com.ar/2016/n2_08_2016_baltermver.pdf)
- <sup>20</sup> Datos entregados por auxiliares de la facultad de Educación de la Universidad Católica de las Santísima Concepción.
- <sup>21</sup> <https://www.gassur.cl/Tarifas/comparacion-precios>
- <sup>22</sup> [http://admminvuv57.minvu.cl/opensite\\_20070417155724.aspx](http://admminvuv57.minvu.cl/opensite_20070417155724.aspx)
- <sup>23</sup> Administrador de la calefacción de la Universidad Católica de la Santísima Concepción.
- <sup>24</sup> “Metodología para estimar la eficiencia en transferencia de calor en intercambiadores tierra-aire e influencia del tipo de suelo, aplicado al intercambiador de la casa central de la UCSC”, B.Zambrano Medina, 2019.
- <sup>25</sup> “Estudio de Factibilidad para la implementación de un sistema de climatización con bomba de calor geotérmica en la facultad de ingeniería de la UCSC”, A.Vidal Lepe, 2017.

## 9.0 ANEXOS

### *Análisis de precio unitario (APU) para sistema EIFS, en muros de Hormigón.*

Análisis precio Unitario											
Nombre	Sistema EIFS (muro Hormigon)										
Unidad	\$/m2										
Fecha	24-11-2019										
Cantidad (m2)	1535,18										
Item	Unidad	Rendimiento unitario	Unidad	Rendimiento en conjunto	Unidad	1/Rendimiento	Unidad	P.U	Unidad	P.Total	Unidad
Equipos											
										Total equipos	
<b>Mano de obra</b>		<b>Rendimiento unitario</b>	<b>Unidad</b>	<b>Rendimiento Conjunto</b>	<b>Unidad</b>	<b>1/Rendimiento</b>	<b>Unidad</b>	<b>P.U</b>	<b>Unidad</b>	<b>P.Total</b>	<b>Unidad</b>
Maestro	día	30	m2/día	45	m2/día	0,03	día/m2	35000	\$/día	1166,7	\$/m2
Ayudante	día	15	m2/día	45	m2/día	0,07	día/m3	25000	\$/día	1666,7	\$/m2
										Total mano de obra	2833,3 \$/m2
										Leyes sociales (25%)	708,3 \$/m2
										Total mano de obra	3541,7 \$/m2
<b>Materiales</b>		<b>Rendimiento unitario</b>	<b>Unidad</b>	<b>Rendimiento Conjunto</b>	<b>Unidad</b>	<b>1/Rendimiento</b>	<b>Unidad</b>	<b>P.U</b>	<b>Unidad</b>	<b>P.Total</b>	<b>Unidad</b>
Plancha de poliestileno expandido de alta densidad	un	10	m2/un			0,100	un/m2	3090	\$/un	309	\$/m2
Adehivo Propasta E	un	20	m2/un			0,050	un/m2	28390	\$/un	1420	\$/m2
Malla de Fibra de Vidrio	kg	14,2	m2/kg			0,070	kg/m2	31550	\$/kg	2222	\$/m2
Adehivo Propasta E	un	20	m2/un			0,050	un/m2	28390	\$/un	1420	\$/m2
pasta texturizada precolorada ProFinish	un	13	m2/un			0,076923077	un/m2	20020	\$/un	1540	\$/m2
										5% perdida	345,49 \$/m2
										Total de materiales	7255,3 \$/m2
										Total	10797,0 \$/m2
										<b>Presupuesto Final</b>	<b>\$ 16.575.281</b>

### *Análisis de precio unitario (APU) para instalación de mamparas en el bloque A.*

Análisis precio Unitario											
Nombre	Puertas Bloque A										
Unidad	\$/m2										
Fecha	24-11-2019										
Cantidad (m3)	9,24										
Item	Unidad	Rendimiento unitario	Unidad	Rendimiento en conjunto	Unidad	1/Rendimiento	Unidad	P.U	Unidad	P.Total	Unidad
Equipos											
Betonera	un	0,125	m3/un			8	un/m3	20000	\$/un	160000	\$/m3
										Total equipos	160000 \$/m3
<b>Mano de obra</b>		<b>Rendimiento Unitario</b>	<b>Unidad</b>	<b>Rendimiento Conjunto</b>	<b>Unidad</b>	<b>1/Rendimiento</b>	<b>Unidad</b>	<b>P.U</b>	<b>Unidad</b>	<b>P.Total</b>	<b>Unidad</b>
Maestro	día	3	m3/día	4,5	m3/día	0,33	día/m3	35000	\$/día	11666,7	\$/m3
Ayudante	día	1,5	m3/día	4,5	m3/día	0,67	día/m3	25000	\$/día	16666,7	\$/m3
										Total mano de obra	28333,3 \$/m3
										Leyes sociales (25%)	7083,3 \$/m3
										Total mano de obra	35416,7 \$/m3
<b>Materiales</b>		<b>Rendimiento Unitario</b>	<b>Unidad</b>	<b>Rendimiento Conjunto</b>	<b>Unidad</b>	<b>1/Rendimiento</b>	<b>Unidad</b>	<b>P.U</b>	<b>Unidad</b>	<b>P.Total</b>	<b>Unidad</b>
Cemento	kg	7	m3/kg			0,143	kg/m3	3490	\$/kg	499	\$/m3
Gravilla	kg	0,84	m3/kg			1,190	kg/m3	10490	\$/kg	12488	\$/m3
Arena	kg	0,56	m3/kg			1,786	kg/m3	15900	\$/kg	28393	\$/m3
Agua	lt	0,008	m3/lt			125,0	lt/m3	353,98	\$/lt	44248	\$/m3
										5% perdida	4281,35 \$/m3
										Total de materiales	89908,4 \$/m3
										Total	285325,0 \$/m3
										<b>Presupuesto Final</b>	<b>\$ 2.635.627</b>



### Análisis de precio unitario (APU) para ampliación de mamparas bloque C.

Análisis precio Unitario											
Nombre	Ampliación Mampara Bloque C (1m)										
Unidad	\$/m3										
Fecha	24-11-2019										
Cantidad (m3)	3,52										
Item	Unidad	Rendimiento unitario	Unidad	Rendimiento en conjunto	Unidad	1/Rendimiento	Unidad	P.U	Unidad	P.Total	Unidad
Equipos											
Betonera	un	0,125	m3/un			8	un/m3	20000	\$/un	160000	\$/m3
										Total equipos	160000 \$/m3
Mano de obra		Rendimiento Unitario	Unidad	Rendimiento Conjunto	Unidad	1/Rendimiento	Unidad	P.U	Unidad	P.Total	Unidad
Maestro	día	3	m3/día	4,5	m3/día	0,33	día/m3	35000	\$/día	11666,7	\$/m3
Ayudante	día	1,5	m3/día	4,5	m3/día	0,67	día/m3	25000	\$/día	16666,7	\$/m3
										Total mano de obra	28333,3 \$/m3
										Leyes sociales (25%)	7083,3 \$/m3
										Total mano de obra	35416,7 \$/m3
Materiales		Rendimiento Unitario	Unidad	Rendimiento Conjunto	Unidad	1/Rendimiento	Unidad	P.U	Unidad	P.Total	Unidad
Cemento	kg	7	m3/kg			0,143	kg/m3	3490	\$/kg	499	\$/m3
Gravilla	kg	0,84	m3/kg			1,190	kg/m3	10490	\$/kg	12488	\$/m3
Arena	kg	0,56	m3/kg			1,786	kg/m3	15900	\$/kg	28393	\$/m3
Agua	lt	0,008	m3/lt			125,0	lt/m3	353,98	\$/lt	44248	\$/m3
										5% perdida	4281,35 \$/m3
										Total de materiales	89908,4 \$/m3
										Total	285325,0 \$/m3
										<b>Presupuesto Final</b>	<b>\$ 1.004.995 \$</b>

### Análisis de precio unitario (APU) para instalación de ventanas Termopanel.

Análisis precio Unitario											
Nombre	Ventanas Termopanel										
Unidad	\$/m2										
Fecha	24-11-2019										
Cantidad (m3)	1414,55										
Item	Unidad	Rendimiento unitario	Unidad	Rendimiento en conjunto	Unidad	1/Rendimiento	Unidad	P.U	Unidad	P.Total	Unidad
Equipos											
Mano de obra		Rendimiento Unitario	Unidad	Rendimiento Conjunto	Unidad	1/Rendimiento	Unidad	P.U	Unidad	P.Total	Unidad
Maestro	día	12	m2/día	18	m2/día	0,08	día/m2	35000	\$/día	2916,7	\$/m2
Ayudante	día	6	m2/día	18	m2/día	0,17	día/m2	25000	\$/día	4166,7	\$/m2
										Total mano de obra	7083,3 \$/m2
										Leyes sociales (25%)	1770,8 \$/m2
										Total mano de obra	8854,2 \$/m2
Materiales		Rendimiento Unitario	Unidad	Rendimiento Conjunto	Unidad	1/Rendimiento	Unidad	P.U	Unidad	P.Total	Unidad
ventana Termopanel	m2	1	m2/m2			1,000	m2/m2	40000	\$/un	70000	\$/m2
										5% perdida	3500,00 \$/m2
										Total de materiales	73500,0 \$/m2
										Total	82354,2 \$/m2
										<b>Presupuesto Final</b>	<b>\$ 116.493.984 \$</b>

### Análisis de precio unitario (APU) para instalación de cortinas de aire.

Análisis precio Unitario											
Nombre	cortinas de aire										
Unidad	\$/m2										
Fecha	24-11-2019										
Cantidad (m3)	13,20										
Item	Unidad	Rendimiento unitario	Unidad	Rendimiento en conjunto	Unidad	1/Rendimiento	Unidad	P.U	Unidad	P.Total	Unidad
Equipos											
Mano de obra		Rendimiento Unitario	Unidad	Rendimiento Conjunto	Unidad	1/Rendimiento	Unidad	P.U	Unidad	P.Total	Unidad
Maestro	día	6	m3/día	9	m3/día	0,17	día/m3	35000	\$/día	5833,3	\$/m3
Ayudante	día	3	m3/día	9	m3/día	0,33	día/m3	25000	\$/día	8333,3	\$/m3
										Total mano de obra	14166,7 \$/m3
										Leyes sociales (25%)	3541,7 \$/m3
										Total mano de obra	17708,3 \$/m3
Materiales		Rendimiento Unitario	Unidad	Rendimiento Conjunto	Unidad	1/Rendimiento	Unidad	P.U	Unidad	P.Total	Unidad
Cortinas de aire	m2	1	m2/m2			1,000	m2/m2	120000	\$/un	120000	\$/m2
										5% perdida	6000,00 \$/m2
										Total de materiales	126000,0 \$/m2
										Total	143708,3 \$/m2
										<b>Presupuesto Final</b>	<b>\$ 1.896.950 \$</b>