

CÁLCULO DE POTENCIA DE CALEFACCIÓN DEL EDIFICIO MONSEÑOR SERGIO VALECH (EX MUTUAL DE SEGURIDAD) DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE LA SANTÍSIMA CONCEPCIÓN PARA EVALUACIÓN ENERGÉTICA ESTÁNDAR PASSIVHAUS.

G. Chinetti Alcaino¹, F. González Monsalve², F. Ferraro Castillo³.

RESUMEN:

En el hogar el consumo de energía se utiliza para calefaccionar o refrigerar los espacios que se utilizan de forma mayoritaria, con el fin de alcanzar el confort térmico. La vivienda en su interior pierde o gana calor dependiendo de las condiciones del ambiente exterior, esto hace que la temperatura en la vivienda aumente o disminuya.

Chile cuenta con una reglamentación térmica que obliga a construir con estándares mínimos de aislación térmica en toda la envolvente de una vivienda, pero hoy en día no solo se busca cumplir con estas exigencias, sino que, además, se desea alcanzar el confort térmico dentro de las viviendas implementando soluciones existentes o innovadoras al menor costo posible. Es por esto, que la motivación del presente estudio, se basa en querer proponer la reducción del consumo energético, hasta en un 80%, basándose en los estándares de Passivhaus.

El presente estudio, realiza el cálculo de la demanda energética del edificio Monseñor Valech, ubicado en las dependencias de la Universidad Católica de la Santísima Concepción, con el fin de proponer soluciones constructivas que permitan reducir el gasto energético presente en la edificación y a su vez, el consumo primario de energía.

De acuerdo a los cálculos realizados el requerimiento de energía es de 113 KW y la mayor pérdida de energía está asociada a los elementos que conforman la envolvente y a las cargas de ventilación, representando un 54% y 46% de las pérdidas totales respectivamente. Es por esto, que se busca mitigar las pérdidas generadas por estas cargas, proponiendo una solución que combina la implementación de un sistema de aislación exterior tipo EIFS y la modificación de las ventanas actuales por termopaneles Low-E.

Al aplicar esta solución, se logra reducir el requerimiento energético en un 20% (-90.6 KW), valor por debajo del propuesto para estándares Passivhaus, sin embargo, la solución propuesta consigue un ahorro mensual de calefacción de \$ 378.400, y recuperando la inversión de esta en aproximadamente 8 años.

PALABRAS CLAVES: Confort térmico; Demanda energética; Eficiencia energética;

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

ABSTRACT:

Home energy is used to heat or cool spaces used majority form, in order to achieve thermal comfort. Inside housing loses or gains heat depending on the conditions of the outside environment, making the temperature in the House to increase or decrease.

Chile has thermal regulation which obliges build to minimum standards of thermal insulation in all the envelope of a building, but today not only seeks to comply with these demands, but it is also desired to achieve thermal comfort within dwellings existing or innovative solutions at the lowest possible cost. That is why, the motivation of this study, is based on wanting to achieve the reduction of energy consumption, up to 80%, based on the passive house standards.

This study, carried out the calculation of energy demand of the building Bishop Valech, located on the premises of the Catholic University of the Holy conception, in order to propose constructive solutions that will reduce the energy expenditure present in the building and at the same time, primary energy consumption.

According to calculations the energy requirement is - 113 kW and greater energy loss is associated with the elements that make up the envelope and loads of ventilation, representing a 54% and 46% of total losses respectively. Because of this, seeking to mitigate the losses generated by these charges, proposing a solution that combines the implementation of a system of external insulation type EIFS and the modification of the current Low-E thermopanel windows.

By applying this solution, is achieved to reduce the energy requirement by 20% (- 90.6 KW), value below the proposed for Passivhaus standards, however, the proposed solution gets a monthly savings of \$378.400 heating, and payback of this approximately 8 years.

Keywords: Thermal comfort; Energy demand; Energy efficiency;

1 INTRODUCCIÓN.

La vivienda, hoy en día, es uno de los espacios de descanso, recogimiento y congregación más utilizado por las personas, por tal motivo, es necesario que esta cumpla con ciertos estándares mínimos de confort ambiental para así poder tener una experiencia grata al momento de hacer uso de esta. Actualmente, muchos de los hogares de este país no cumplen con esos estándares mínimos de confort, y el consumo energético necesario para obtenerlo se vuelve muy alto, afectando así la economía de las familias. Se define una vivienda con un confort ambiental ideal, aquella que mantiene las condiciones de confort interior el mayor tiempo posible, e idealmente, con un mínimo consumo de energía.

La eficiencia energética en el hogar consiste en la reducción de consumo de energía sin disminuir nuestra calidad de vida y protegiendo el medio ambiente, es decir, que trata de mantener nuestro ritmo de vida y de producción disminuyendo la energía necesaria. En el hogar el consumo de energía se utiliza para calefaccionar o refrigerar los espacios que se utilizan de forma mayoritaria, con el fin de alcanzar el confort térmico, el que se define como aquel estado en que las personas expresan satisfacción con el ambiente que lo rodea, sin preferir condiciones de mayor o menor temperatura.

La vivienda en su interior pierde o gana calor dependiendo de las condiciones del ambiente exterior, esto hace que la temperatura en la vivienda aumente o disminuya.

El ser humano siempre busca que esta temperatura sea lo más agradable para él, lograr o mantener esta temperatura requiere energía en calefacción o refrigeración según sea las condiciones del ambiente exterior.

La aislación térmica es uno de los métodos para lograr esto en la vivienda. En Chile, desde el año 2000, cuenta con una reglamentación térmica que fija los valores mínimos de las resistencias térmicas, en una primera etapa en la techumbre y, ya desde el año 2007 en pisos, muros y techumbre, esto con el fin de optimizar o reducir el consumo de energía en calefacción.

2 OBJETIVO.

El presente estudio tiene como objetivo principal proponer soluciones para reducir el consumo energético del edificio Monseñor Sergio Valech, ubicado en las dependencias de la Universidad Católica de la Santísima Concepción, bajo los estándares Passive House (Passivhaus), implementando soluciones constructivas que puedan aportar a la disminución de la demanda energética. Para ello, es necesario determinar el balance térmico del edificio de forma analítica, utilizando formulas empíricas, las cuales determinan las potencias de cargas internas y externas que se producen en el edificio; todo esto, con el fin de determinar los puntos más relevantes donde se produce pérdida de energía; tomando en cuenta los meses más fríos del año en la ciudad de concepción, lugar donde se emplaza la edificación anteriormente mencionada. Además, se pretende realizar un análisis energético por medio del software Revit 2017, con el fin de comparar los resultados arrojados por dicho programa con los obtenidos mediante cálculo. Determinando así, las pérdidas de energía más significativas y en base a estas, presentar las soluciones que puedan aportar a la disminución de la demanda energética.

3 METODOLOGIA.

Para comenzar el estudio y cálculo de las cargas térmicas que interactúan en el edificio, se deben tener en cuenta principalmente:

- Ubicación exacta del edificio.
- Condiciones exteriores, condiciones climatológicas.
- Condiciones interiores del proyecto (uso del local).
- Planos arquitectónicos.
- Especificación de los materiales de construcción.
- Número aproximado de personas que utilizan el recinto.
- Artefactos: computadores, impresoras, proyectores, etc.
- Tipo de iluminación: número de bombillas, tubos, etc.

3.1 Área de estudio

El edificio Monseñor Valech, se ubica en las dependencias de la Universidad Católica de la Santísima Concepción, Campus San Andrés, con dirección Avenida Alonso Ribera 2850, Concepción, Región del Bío Bio, Chile. Dado que la edificación en estudio solo cuenta con un piso, la superficie total del área de estudio es de aproximadamente 3395.39 m².

La ubicación del edificio es -36.797109, -73.060864, además esta se encuentra a una altitud de 53 msnm.

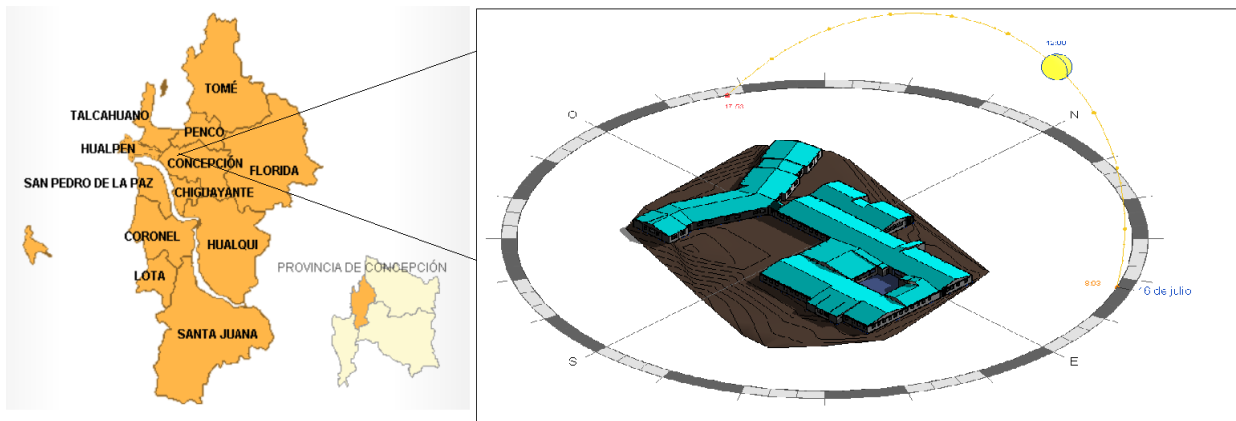


Figura 1: Ubicación Edificio Monseñor Valech, modelo en software Revit con camino al sol activado.

Fuente: Elaboración propia

3.2 Balance térmico

El balance de energía o balance de térmico, relaciona en forma directa el confort térmico de una vivienda con las ganancias y pérdidas de calor que esta puede sufrir, mientras mayores sean las ganancias, el sistema tenderá a calentarse y mientras mayores sean las pérdidas, este tenderá a enfriarse, generando situaciones de desconfort, por lo que usualmente es necesario hacer uso de sistemas que permitan mantener un balance térmico constante.

La **Ecuación 1** muestra la relación entre los distintos factores, que relacionan las ganancias y pérdidas de un recinto. El detalle de estos factores se muestra más adelante.

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

Ecuación 1

Donde:

Q_s : Balance térmico de cargas solares. [KW]

Q_i : Balance térmico de cargas internas. [KW]

Q_c : Balance térmico de cargas de elementos que componen la envolvente. [KW]

Q_v : Balance térmico de cargas de ventilación. [KW]

La ecuación anterior se puede visualizar de forma ilustrativa en la figura siguiente (**Figura 2**).

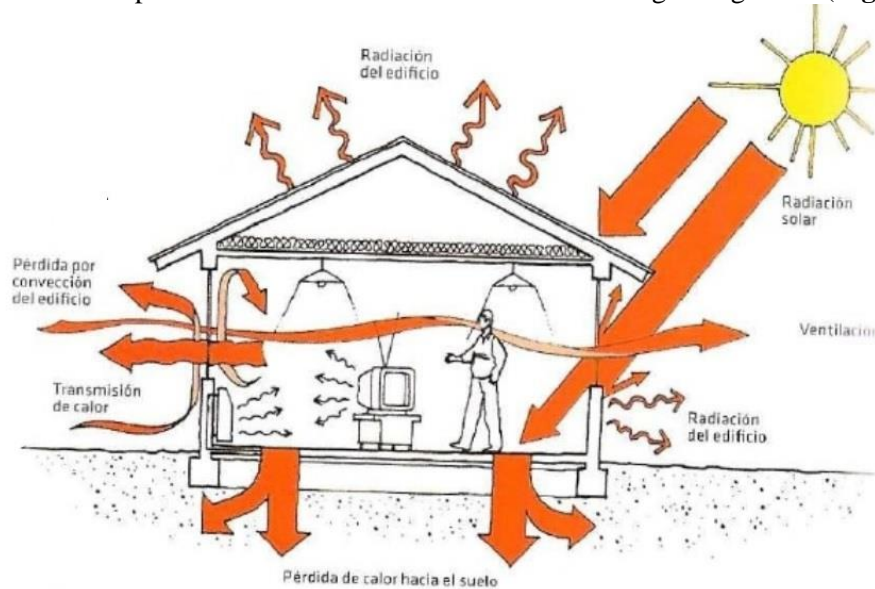


Figura 2: Interacción de cargas de energía alrededor de una vivienda

Fuente: Elaboración propia

a) Balance térmico de cargas solares (Q_s).

Gran parte de las ganancias de energía que adquiere una edificación son por parte de la radiación emitida por el sol, estas se obtienen de forma directa (Q_{sr}), a través de la luz incidente en las ventanas y de forma indirecta (Q_{str}), por medio de las superficies expuestas al exterior de la edificación (muros, cubiertas, puertas). Debido a lo anterior, es importante no solo la ubicación de la vivienda, sino que principalmente su orientación, con tal que, siguiendo el recorrido del sol, para así maximizar las ganancias solares por medio de las ventanas.

i) Carga solar directa. Q_{sr}

la carga solar atraviesa las superficies transparentes, o sea en este caso ventanas, aportando con luz y calor en el interior de la vivienda, calentando el lugar, como resultado la temperatura del ambiente interior aumenta. Esta carga solar se obtiene de la ecuación 2 siguiente:

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

Ecuación 2

Donde:

Q_{sr} : Carga térmica por radiación a través del cristal [KW].

S : Superficie del cristal expuesta a la radiación [m^2].

R : Radiación solar que atraviesa la superficie del cristal [W/ m^2].

θ : Coeficiente de ganancia solar.

- Radiación solar que atraviesa la superficie del cristal (R).

Los datos de la radiación solar incidente en la superficie del cristal del edificio, fueron extraídos de la página web <http://walker.dgf.uchile.cl/Explorador/Solar3/> habilitada por el Ministerio de Energía de Chile en conjunto con la Universidad de Chile.

- Coeficiente de ganancia solar o SHGC (θ).

Este coeficiente, expresa las ganancias solares a través de un acristalamiento, con relación a la radiación solar incidente, esto quiere decir, el porcentaje de ganancia de calor absorbida tanto por el cristal y marco de una ventana. Se trata de un valor adimensional que se expresa de manera fraccional. En la Tabla 1, muestra el coeficiente de ganancia solar para distintos tipos de ventanas.

Tabla 1: Coeficiente de Ganancia solar para distintos tipos de Ventanas
 Fuente: “Norma ISO 15099:2003”.

Característica Ventana	Factor
Vidrio Simple color claro	0.86
Vidrio simple doble	0.76
Vidrio simple color verdoso/gris	0.72
Vidrio simple doble color verdoso/gris	0.62
Vidrio incoloro con capa metálica	0.38 – 0.17
Doble alta ganancia solar Low-E	0.71

ii) Carga solar indirecta (Muros y Cubierta) Q_{str} .

Debido a la interacción directa de los muros exteriores que conforman la edificación y la cubierta de esta, parte de la radiación solar emitida es captada por estos elementos y un porcentaje de esta, es incorporada hacia el interior de la edificación. La forma de calcular este tipo de carga, se muestra en la ecuación siguiente:

$$Q_{str} = U * S * (R * \alpha * R_{so}).$$

Ecuación 3

Donde:

Q_{str} : Carga por transmisión solar a través de muros y techumbre. [KW]

U: Transmitancia térmica del elemento. [$W/m^2 \cdot ^\circ K$]

S: Superficie del elemento expuesta a la diferencia de temperaturas. [m^2]

R: Radiación solar total incidente. [W/m^2]

α : Absortancia del material. [0-1]

R_{so} : Resistencia térmica de una superficie al exterior de un edificio. [$m^2 \cdot ^\circ K / W$]

b) Balance térmico de cargas de elementos que componen la envolvente (Q_c).

Las pérdidas de calor por transmisión en régimen estacionario debido a cada elemento que componen el contorno del edificio (muros, cubiertas, ventanas, etc) se calculan según las leyes de la transmisión, mediante la siguiente ecuación.

$$Q_c = U * S * (T_{ex} - T_{in})$$

Ecuación 4

Donde:

Q_c : Carga de elementos que componen la envolvente [KW].

U : Transmitancia térmica del elemento. [$W/m^2 \cdot ^\circ K$].

S : Superficie del elemento expuesta a la diferencia de temperaturas. [m^2]

T_{ex} : Temperatura de aire al exterior [$^\circ K$].

T_{in} : Temperatura de aire al interior [$^\circ K$].

La pérdida de calor total, es representada por la suma de todos y cada uno elemento que componen el contorno (o envolvente).

c) **Balance térmico de cargas internas (Q_i)**

Las cargas internas son fuentes de calor que están ubicadas dentro de la edificación. Estas energías son generadas por iluminación, personas y/o ocupantes y equipos y artefactos, lo cual estas situaciones pueden considerarse positivas en épocas invernales, sin embargo, contraproducentes en verano.

i) **Cargas internas de iluminación (Q_{ii})**

La iluminación constituye una fuente de calor sensible, la cual considera la potencia de todos los tipos de ampolletas luminosas, esta fuente de calor es emitida por mediante radiación, conducción y convección. Para el cálculo de las cargas de iluminación se consideran dos tipos de lámparas, las incandescentes y las fluorescentes o de descargas, expresadas en las siguientes ecuaciones:

$$Q_{ii. incandescentes} = n * Pot$$

Ecuación 5

$$Q_{ii. descargas} = 1.25 * n * Pot$$

Ecuación 6

Donde:

n : número de lámparas de cada tipo.

Pot : potencia de la bombilla, lámpara incandescente o de descarga

ii) **Cargas internas por ocupantes (Q_{ip})**

Para calcular la carga aportada por cada persona a la edificación, es necesario conocer previamente las cargas térmicas que la originan, las cuales podemos mencionar aquellas originadas debido a la temperatura media del cuerpo (radiación), el calor emitido a través de la piel (convección), a través del contacto con los diferentes objetos que rodean a la persona (conducción) y el aporte de calor producido por la respiración al momento de exhalar aire.

La carga por ocupante tiene por lo tanto una componente sensible, las cuales se asocian al cambio de temperatura en el aire, y otra latente, la cuales originan una variedad en la humedad absoluta del ambiente, dependiendo de la actividad que se realice en el local.

En ambos casos, es necesario tomar un valor estimativo de la cantidad de ocupantes de la edificación. la carga interna por ocupantes queda definida en las siguientes ecuaciones:

$$Q_{ip} = Q_{ips} + Q_{ipl}$$

Ecuación 7

Donde:

Q_{ip} : Carga interna por ocupantes.

Q_{ips} : carga sensible por ocupante.

Q_{ipl} : carga latente por ocupante

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

Ecuación 8

Donde:

n: Número de ocupantes estimados en el recinto.

C_{sensible, persona}: carga sensible por persona y actividad que realice [W].

$$Q_{ipl} = n * C_{latente, persona}$$

Ecuación 9

Donde:

n: Número de ocupantes estimados en el recinto.

C_{latente, persona}: carga latente según actividad que realice [W].**iii) Cargas internas por artefactos (Q_{ie}).**

La carga térmica interna producida por cada artefacto, maquina, equipos o cualquier tipo de electrodoméstico presente en la edificación, se calcula considerando la potencia de funcionamiento de los artefactos en el interior, la cual se transforma en calor sensible. La carga interna por artefactos queda expresada en la siguiente ecuación:

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

Ecuación 10

Donde:

n: Número de artefactos en el recinto.

Cartefacto: carga térmica de cada artefacto estudiado [W].

d) Balance térmico de cargas de ventilación (Q_v).

Las pérdidas o ganancias de calor por ventilación ocurren cuando el aire exterior ingresa a la edificación, renovando el aire del interior hacia la intemperie. La carga de ventilación está conformada por la carga de ventilación sensible (Q_{vs}) y la carga de ventilación latente (Q_{vl}).

i) Carga sensible de ventilación (Q_{vs})

Este tipo de carga está sujeta a la infiltración y ventilación del aire exterior hacia el interior del recinto, la cual se determina mediante la siguiente ecuación:

$$Q_{vs} = C_{e, aire} * V_{aire, infl} * \rho * \Delta T$$

Ecuación 11

Donde:

C_{e, aire}: Calor específico del aire [1012 J/Kg°C].V_{aire, infl} (*): Caudal de aire de ventilación [m³/s].

ΔT: diferencia de temperatura entre el ambiente exterior e interior [°C].

ρ: densidad de aire [1.18 Kg/m³].*** Caudal de aire de ventilación, V_{aire, infl}.**

El caudal de aire infiltrado, se expresa en m³/s, este está determinado por el uso que se le dé a puertas y ventanas, ubicadas alrededor de la envolvente del edificio, la orientación y la velocidad del viento. Esto, se define por el área considerada de infiltración de aire exterior multiplicado por la velocidad del viento.

$$V_{aire, infl} = A * V_{viento}$$

Ecuación 11.1

ii) Carga latente de ventilación (Q_{vl})

La carga latente de ventilación, transmitida por infiltraciones y ventilaciones del aire exterior, se determina mediante la siguiente expresión:

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

Ecuación 12

Donde:

V_r: caudal de aire infiltrado y ventilación [m³/s].

ΔW: diferencial de humedad entre el ambiente interior y exterior.

* Caudal de aire de infiltrado y ventilación, V_r.

Se determina, mediante el número de renovaciones de aire por hora (R.A.H) de cada uno de los recintos del edificio y el volumen y tipo de local (dependiendo al uso que se le dé a este). Para el cálculo, se utiliza la siguiente expresión:

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

Ecuación 13

Donde:

V: volumen del recinto [m³].

R.A.H: renovaciones de aire por hora [1/h].

e) Carga térmica caldera.

Actualmente en el edificio Monseñor Valech existe una sola caldera, la cual es descrita a continuación:

- Caldera modelo 300.000 kcal/h, Assler y CIA S.A.C.I.

Esta caldera es utilizada para calefaccionar cada uno de los distintos recintos dentro del edificio, fue fabricada por la empresa Assler y CIA S.A.C.I. Esta utiliza gas como combustible.

3.3 Condiciones de diseño.

Para calcular las cargas térmicas del edificio es necesario establecer condiciones iniciales de diseño; para efectos de cálculo y simplificación de estos, esto con el fin de obtener un diseño óptimo. El cálculo se basa en el supuesto de un régimen estacionario donde las condiciones tanto del interior como del exterior, permanecen inalterables.

3.3.1) Temperatura y humedad de diseño.

I) Condiciones interiores y exteriores de cálculo.

Dado que la humedad afecta la sensación de confort en función de la temperatura. Se considera que para temperaturas del aire entre 20 y 22 °C, la sensación de confort se mantiene con humedades relativas entre un 35 y 70 por ciento. Es por ello, que las condiciones interiores de diseño para los cálculos de humedad y temperatura a considerar para lograr un confort térmico dentro del recinto, son las que se muestran en la **Tabla 2.** (Díaz, 2005)

Tabla 2: Condiciones interiores de diseño

Temperatura diseño [°C]	Humedad diseño [%]
20	60

Las condiciones exteriores de diseño, se estiman a través de la página web de meteorología Meteored, recogiendo los datos históricos de la estación meteorológica más cercana al edificio en estudio, para este caso, se escogió la estación “Aeropuerto Carriel Sur Intl (SCIE)”. De los datos, se establecen los parámetros de diseño de la temperatura y humedad, obteniendo el promedio de estos pertenecientes a los meses más fríos, siendo estos, los meses de junio, julio y agosto. En la **Tabla 3**, se muestra el promedio de temperatura y humedad correspondiente a los meses ya mencionados anteriormente.

Tabla 3: Temperatura y humedad promedio según estación meteorológica, “Aeropuerto Carriel Sur Intl (SCIE)”

Mes	Junio	Julio	Agosto	Promedio
Temperatura promedio °C	5.07	5.35	6.42	5.61
Humedad promedio %	97.23	97.26	97.14	97.21

3.3.2) Tipo de edificio y uso del local.

El edificio en estudio, es de uso público, destinado como establecimiento de aulas, oficinas, laboratorios y salas de multiuso. Este, tiene un uso diario de 12 horas aproximadamente (de 7:00 hrs a 19:00 hrs).

3.3.3) Radiación solar.

Los datos utilizados para el cálculo de la radiación solar, son extraídos de un reporte entregado por la página web⁴ mencionada anteriormente en el punto **a.i. Carga solar directa**. Este reporte, entrega la radiación solar directa durante los doce meses del año, de los cuales, se hace uso de los meses más fríos, obteniendo un promedio de estos, lo que, a su vez, descomponiendo esta radiación según el ángulo de incidencia correspondiente a los meses considerados.

Para obtener la radiación de las diferentes direcciones se realizan los siguientes supuestos:

- Para la dirección Este, se considera la radiación solar incidente desde las 7:00 a las 11:00 de la mañana.
- Para la dirección Norte, se considera la radiación solar incidente desde las 12:00 hasta las 15:00 hrs
- Para la dirección Oeste, se considera la radiación solar incidente desde las 16:00 hasta las 20:00 hrs
- Para la dirección Sur, la radiación solar incidente es 0, debido a que esta orientación solo percibe luz solar.

La **Tabla 4**, muestra los valores de radiación solar adoptados para cada orientación, utilizados tanto para el cálculo de carga por radiación directa e indirecta.

⁴ <http://walker.dgf.uchile.cl/Explorador/Solar3/>

Tabla 4. Valores de radiación solar según orientación.

Fuente: datos obtenidos de informe de radiación solar. Elaboración propia.

	Radiación solar según orientación [W/m ²]				
	Directa	Este	Norte	Oeste	Sur
Promedio meses fríos	101.0	70.9	183.6	41.6	0

3.3.4) Absortancia.

Se define como la cantidad de energía radiante que alcanza una superficie y que es absorbida por ella. La absortancia de una superficie será función de la absortividad del material que compone su capa superficial expuesta a la radiación y de otras características de la superficie, como rugosidad, ondulación, etc. En palabras más simples, la absortancia solar (α), es el cociente entre la tasa de radiación solar absorbida por una superficie y la tasa de radiación incidente sobre la misma. Según datos de absortancia para diferentes materiales y pinturas de paredes, el valor adoptado para este caso es el de pintura blanca brillante, con un coeficiente de 26% (Dornelles, 2008).

3.3.5) Coeficiente de ganancia solar.

La definición de este concepto se definió anteriormente en el punto **a.i. Carga solar directa**, para efecto de cálculos, se considera un vidrio fijo simple, por lo que el valor del coeficiente de ganancia solar es 0.86, según **Tabla 1**.

3.3.6) Potencia de las ampollitas.

Las lámparas se dividen en dos grupos: incandescentes y fluorescente o de descarga. Para el caso en estudio, se consideraron potencias obtenidas del “Catalogo de iluminación” de la empresa ARTELAMP. Además, se realizó un catastro de la cantidad de lámparas presentes en el edificio. La **Tabla 5**, resume la cantidad de lámparas presentes según tipo y potencia.

Tabla 5. Cantidad de lámparas, según tipo y potencia.

	Panel sobrepuesto circular	Ampolleta espiral	Tubos led
Potencia (W)	18	20	18
Cantidad (UN)	23	37	398

Consideraciones: se considera que un 75% de las lámparas fluorescentes están encendidas y que a su vez estas permanecen encendidas un 41.6% del tiempo (8 horas del día).

3.3.7) Carga sensible y latente por ocupante.

La carga sensible y latente por ocupante se basa en el tipo de actividades que se realiza una persona dentro del recinto. Dado que el caso en estudio, es un recinto en donde se realizan distintos tipos de actividades, por lo que para cada recinto se realizaron las siguientes consideraciones: para oficinas corresponden las cargas de actividad de empleado de oficina, para aulas y laboratorios se consideró la actividad de sentado, trabajo ligero y para salones multiuso se considera la actividad de estar sentados en reposo. Además, como no siempre se dispone del total de ocupantes por recinto, se considera un 75% del total de ocupantes. La **Tabla 6**, muestra un resumen de cargas sensible y latente, correspondiente a cada actividad.

Tabla 6. Calor sensible y latente realizada por persona según actividad realizada.

Fuente. "Acondicionamiento térmico de edificios"

Actividad	Qsensible [w]	Qlatente [w]
sentado en reposo	76	26
sentado, trabajo muy ligero	79	37
empleado de oficina	83	48

3.3.8) Carga térmica por artefactos

Para este caso, se tomó en consideración los diversos tipos de artefactos eléctricos presentes en los recintos del edificio, como lo son cafeteras, proyectores, impresoras, computadores, refrigeradores, etc. La **Tabla 7**, muestra el valor del calor sensible producido por los diferentes tipos de artefactos encontrados y el porcentaje de uso que se les da a estos durante el día.

Tabla 7. Valor del calor sensible para diversos artefactos eléctricos.

Fuente. Elaboración propia, "Sistema de climatización. Balance térmico de verano, (Argentina)"

Tipo de artefacto	carga térmica (KW)	%func/día
Monitor	0.045	0.33
Torres	0.21	0.33
impresoras	0.45	0.208
refrigerador	0.36	1
congelador	0.31	1
microondas	1	0.083
proyector	0.5	0.33
pantallas de TV	0.3	0.0416
cafeteras	0.5	0.125

3.3.9) Consideraciones de infiltración y caudal de viento.

- Condiciones de área de infiltración:
 - Ventanas: Del área total de las ventanas, se considera un área de infiltración del 15%, esto debido a que estas no se abren en su totalidad. Además, se considera que del total de ventanas del edificio, solo el 20% de estas se abren en invierno (durante los meses de estudio).
 - Puertas: Se considera un área de infiltración para las puertas de un 100%, debido a que estas se abren en su totalidad.
- Condiciones de uso: haciendo una relación entre las horas del día y el uso de puertas y ventanas, se estiman los siguientes caudales de ventilación.
 - Ventanas: se considera que las ventanas se abren durante 45 minutos, equivalente a 3.125%
 - Puertas: se considera que las puertas se abren durante 5 minutos, equivalente a 0.34%
- Velocidades de viento: la velocidad de viento, es obtenido a través de un informe de vientos

entregado por la página del ministerio de energía en conjunto con la Universidad de Chile, recogiendo datos de una rosa de los vientos de los meses más fríos (Véase **Figura 3; Error!** **No se encuentra el origen de la referencia.**), obteniendo así las velocidades correspondientes a cada dirección. La **Tabla 8**, muestra las velocidades de viento para cada orientación.

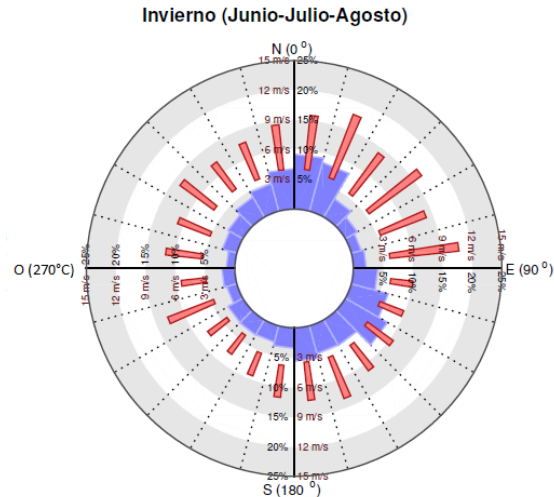


Figura 3. Rosa de los vientos meses más fríos del año

Tabla 8. Promedio de velocidad de vientos por dirección, según rosa de los vientos.

Velocidad del viento según dirección [m/s]			
Norte	Este	Sur	Oeste
9.05	8	6.5	7.5

3.3.10) Renovación de aire por hora.

Para este caso el edificio cumple múltiples usos, por lo tanto, para cada uno de estos, la renovación de aire por hora queda definida: para oficinas 6 [1/h], para aulas 6 [1/h], para laboratorios y gimnasios 6 [1/h] y para auditorios 16 [1/h]. Sin embargo, el valor de las renovaciones de aire por hora, debe ser considerado en [1/s], por lo que los valores quedan expresados finalmente, 0.0016 [1/s], para oficinas, aulas, laboratorios y para gimnasios 0.0044 [1/s].

3.4 Análisis software Revit.

Para realizar un análisis más acabado, se lleva a cabo el diseño del edificio en el software Revit, versión 2017, el cual permite crear un modelo energético en base a los elementos constructivos que se le asignen a este, con especial énfasis en sus características físicas: transmitancia térmica, conductividad y resistencia térmica. Para este análisis, además, se debe realizar una modificación en la configuración de energía del programa, según sea el caso.

Configuración de energía básica:

- Ubicación: Señalar la ubicación geográfica y la estación meteorológica más cercana al proyecto.
- Tipo de edificio: Señalar el tipo de ocupación asignado a la construcción.
- Plano de suelo: El valor indica el nivel a ras de tierra para el modelo. Las plantas por debajo del nivel de plano del suelo se tratan como plantas subterráneas.

En el **Anexo 1**, se puede ver de forma detallada la configuración básica realizada en el software Revit 2017.

4 RESULTADOS.

4.1 Balance térmico.

- I) Cálculo de cargas solares, Qs.
- a) Carga solar directa (a través de elementos vidriados), Qsr.

Para el cálculo de cargas solares directas, se utiliza la **Ecuación 2**.

- El coeficiente de ganancia solar es de 0.86 según la **Tabla 1** y según la caracterización del tipo de vidrio en el edificio, vidrio simple color claro.
- La radiación solar se describe en la **Tabla 4**.
- Las superficies de cristal expuestas a radiación solar, se resumen en la **Tabla 9**, indicando el total de superficie según orientación.

Tabla 9. Superficie vidriada según orientación.

Área vidriada total por orientación (m ²)				
Orientación	norte	este	sur	oeste
Área vidriada	61.15	98.72	66.97	79.43

Reemplazando los valores en la **Ecuación 2**, se obtiene los valores de la carga solar directa, los cuales se resumen en la **Tabla 10**.

Tabla 10. Cargas solares directas del edificio, en KW.

Qsr (KW)			
Norte	Este	Sur	Oeste
9.54	5.95	0.000	2.81
Total			18.3

- b) Carga solar indirecta (a través de muros y cubierta), Qstr.

Para el cálculo de cargas solares directas, se utiliza la **Ecuación 3**.

- Para la transmitancia térmica a considerar, corresponde a la techumbre y muros de albañilería reforzada o confinada, los valores de estos se resumen en la **Tabla 11**.
- La superficie de estos, se consideran según su orientación, estos valores se resumen a continuación en la **Tabla 11**.

Tabla 11. Tabla resumen de transmitancia y superficie opaca según orientación y tipo.
Superficie por orientación [m²]

U					
Muros	[W/m ² *°K]	Norte	Este	Sur	Oeste
Albañilería	1.92	216.85	276.24	197	285.39
Hormigón	2.96	47.21	51.09	37.92	51.59
Total	2.1	264.06	336.80	234.92	336.98
Superficie directa [m ²]					
Techo	0.55	3655.96			

- Las radiaciones solares se señalan en la **Tabla 4**.
- Absortancia considerada para todos los elementos opacos es de 0.26, de acuerdo a la pintura de estos, pintura blanca brillante.
- Resistencia de la película exterior de aire (R_{so}), corresponde a $0.055 [m^2 \cdot K/W]$, esto tanto para muros y techumbre.

Finalmente, de acuerdo a los valores entregados anteriormente y a la descripción de la **Ecuación 4**, la carga solar indirecta queda resumida en la **Tabla 12**.

Tabla 12. Cargas solares indirectas del edificio en KW.

	Qstr (KW)				Total
	Norte	Este	Sur	Oeste	
Muros	1.3	0.7	0	0.4	2.4
-	-	Qstr (KW)		-	-
Techumbre	-	2.65	-	-	2.65
Total					5.02

II) Cálculo de cargas por elementos de la envolvente, Q_c .

El cálculo de las cargas generadas por los elementos de la envolvente, se calculan según la **Ecuación 4**. Considerando las temperaturas de diseño, indicadas en el apartado 3.3.1 (**Tabla 2** y **Tabla 3**). Los valores de transmitancia y superficie de cada elemento (muros, ventanas, puertas y techumbre) quedan expresados en la **Tabla 13**, así también el resultado final de la carga asociado a estos.

Tabla 13. Tabla resumen resultados para carga por elementos de la envolvente.

	Tipos de muro			Ventanas	Puertas		Techumbre
	Albañilería	Hormigón	Cortina		Vidriadas	Acero	
Superficie [m^2]	975.48	187.81	11.076	306.27	39.41	4.24	3656.0
U [$W/m^2 \cdot K$]	1.92	2.96	5.77	5.77	5.77	5.88	0.55
QC [KW]	-27.63		-0.91	-20.4	-3.27	-0.36	-29.02
Total				-81.59			

III) Cálculo de cargas internas, Q_i .

a) Cargas internas de iluminación, $Q_{ii.inc}$ y $Q_{ii.fluo}$.

Para el cálculo de cargas internas de iluminación se realiza un catastro de la cantidad de ampollitas o tubos presentes en el edificio, la cantidad y potencia de estos se mencionan en la **Tabla 5**, además de las consideraciones utilizadas para el cálculo de las cargas, mencionadas en el apartado **3.3.6**.

Según los datos recabados, el edificio no cuenta con la presencia o utilización de lámparas incandescentes, por lo que el aporte energético será otorgado solo por las lámparas de descargas registradas. Según lo expresado en la **Ecuación 6**, la carga debida a las lámparas incandescentes, se resumen en la **Tabla 14**, que se muestra a continuación.

Tabla 14. Carga interna producida por lámparas de descarga (KW)

Qii.desc. Total (KW)	4.33
----------------------	------

b) Cargas internas por artefactos, Qie.

Se realiza un catastro del tipo de artefacto eléctrico y cantidad de estos presentes en el recinto, la **Tabla 15** proporciona estos datos.

Tabla 15. Cantidad de artefactos presentes en el recinto.

Tipo de artefacto	Total	Tipo de artefacto	Total
monitor	111	microondas	6
torres	111	proyector	5
impresoras	41	centrifuga	2
refrigerador	4	pantallas de TV	1
congelador	5	cafeteras	6

De acuerdo a lo expresado en la **Ecuación 10** y reemplazando los valores obtenidos tanto de las **Tablas 7 y 15**, la carga térmica asociada a los artefactos eléctricos presentes es:

$$Q_{ie \text{ Total}} [\text{KW}] = 1.8$$

c) Cargas internas por ocupantes, Qips y Qipl.

Para el cálculo de carga sensible y latente por ocupante, se realiza un catastro de la capacidad de personas dentro del recinto, considerando que durante el tiempo de uso se alcanza una capacidad del 75% (Véase **Tabla 16**). Además, señalar que este aporte es durante el tiempo de funcionamiento del recinto (10 horas diarias), correspondiendo a un 41.6% del día.

Tabla 16: 75% de la capacidad de ocupantes por recintos y niveles.

Oficinas	Aulas	Laboratorios	Salón multiuso
68.25	75	21.75	0

Por lo tanto, de acuerdo a lo señalado anteriormente, haciendo uso de los datos de calor sensible por ocupante proporcionado en la **Tabla 6** y reemplazando estos valores en la **Ecuación 8**, la carga sensible por ocupante se resume en la **Tabla 17**.

Tabla 17. Carga sensible por ocupante.

	Oficinas	Aulas	Laboratorios	Salón multiuso
Qips [KW]	1.88	1.97	0.57	0
	Total			4.42

Del mismo modo, para el cálculo de carga latente por ocupante, utilizando los datos de la **Tabla 17** y **Tabla 6**, reemplazando los datos en la **Ecuación 9**, la carga latente por ocupante se resume en la **Tabla 18**.

Tabla 18. Carga latente por ocupante.

	Oficinas	Aulas	Laboratorios	Salón multiuso
Q _{ipl} [KW]	1.09	0.92	0.27	0
	Total			2.28

IV) Cálculo de cargas por ventilación, Q_v.

a) Carga de ventilación sensible, Q_{vs}.

El cálculo de la carga sensible por ventilación, se realiza según lo descrito en el apartado **d.i.** utilizando la **Ecuación 11**, además de las consideraciones descritas en el ítem **3.3.9**, las áreas de infiltración a considerar se resumen en la **Tabla 19**, correspondientes a cada dirección.

Tabla 19. Resumen áreas de infiltración ventanas y puertas.

orientación	Áreas de infiltración [m ²]			
	Ventanas	Puertas		Total
		Vidriadas	Acero	
norte	9.17	9.22	0.00	18.39
este	14.81	14.05	2.28	31.14
sur	10.05	9.38	0.00	19.43
oeste	11.91	6.77	1.96	20.64

De acuerdo, a los valores de velocidad de viento y áreas de infiltración proporcionados en la **Tabla 8** y **Tabla 19** respectivamente, se obtiene el caudal de aire de ventilación de acuerdo a la **Ecuación 11.1**. El caudal de aire de infiltración queda expuesto en la **Tabla 20**.

Tabla 20. Resumen caudal de aire infiltrado ventanas y puertas.

orientación	Caudal de infiltración [m ³ /s]			
	Ventanas	Puertas		Total
		Vidriadas	Acero	
norte	16.60	83.41	0.00	100.02
este	23.69	112.39	18.23	154.31
sur	13.06	60.96	0.00	74.02
oeste	17.87	50.75	14.70	83.32

Considerando los antecedentes expuestos anteriormente, las temperaturas de diseño y los supuestos declarados como condiciones de uso tanto para puertas y ventanas, la carga sensible de ventilación se resume en la **Tabla 21**.

Tabla 21. Carga sensible de ventilación [KW]

	Qvs [KW]		
	Ventanas	Puertas	Total
norte	-8.91	-4.87	-13.79
este	-12.72	-7.63	-20.35
sur	-7.01	-3.56	-10.57
oeste	-9.59	-3.82	-13.42
Total			-58.12

b) Carga de ventilación latente, Q_{vl} .

El cálculo de carga latente de ventilación, se realiza según lo descrito en el apartado **d. ii.** utilizando la **Ecuación 13** para determinar el caudal de aire infiltrado, para un volumen de 8691.76 m^3 y según las consideraciones descritas en el ítem **3.3.10**, lo que se estima un caudal de aire infiltrado total de $32.48 \text{ m}^3/\text{s}$.

Así, haciendo uso de la **Ecuación 12**, la carga de ventilación latente es de:

$$Q_{vl} \text{ [KW]} \quad -10.15$$

4.2 Balance térmico total, Q_{total} .

El balance térmico total de edificio, está asociado a las ganancias y pérdidas de calor que se producen en el recinto, por lo tanto, de acuerdo a los valores calculados anteriormente para los distintos tipos de cargas que interactúan tanto dentro como fuera del edificio, El balance térmico total se resume en la **Tabla 22**.

Tabla 22. Resumen carga térmica total del edificio.

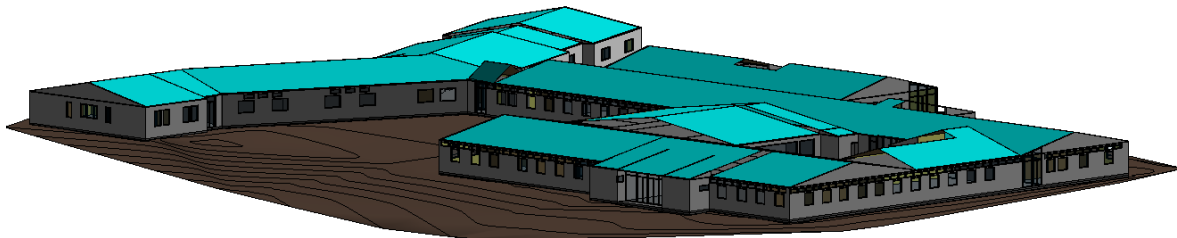
Tipos de cargas	Balance Total [KW]
Cargas solares (Q_s)	
Carga solar directa (Q_{sr})	18.83
Carga solar indirecta (Q_{str})	5.02
Cargas envolvente (Q_c)	
Muros	-27.63
Ventanas	-20.4
Muro Cortina	-0.91
Puertas	-3.63
Techumbre	-29.02
Cargas internas (Q_i)	
Carga lamparas incandescentes ($Q_{ii.inc}$)	0.0
Carga lamparas descargas ($Q_{ii.des}$)	4.33
Carga interna por artefactos (Q_{ie})	1.8
Carga sensible por personas (Q_{ps})	4.42
Carga latente por personas (Q_{pl})	2.28
Cargas de ventilacion (Q_v)	
Carga sensible de ventilacion (Q_{vs})	-58.12
Carga sensible de ventilacion (Q_{vl})	-10.15
Total	-113.2

4.3 Gastos Operacionales asociados a la caldera.

De acuerdo a los datos recopilados asociados al gasto operacional de la caldera, esta genera un gasto mensual de \$1.892.000, correspondiente a los meses más fríos considerados.

4.4 Modelo energético Facultad Monseñor Valech, Revit 2017.

Según lo señalado en el apartado 3.4, el software Revit 2017, realiza un análisis energético del edificio (ver **Figura 4**), arrojando un informe del modelo generado, entre la información entregada por este, se detalla: factores de rendimiento de construcción, intensidad de uso de carga, costo de energía de ciclo de vida, potencial de energía renovable, cargas de calefacción mensual, carga de refrigeración mensual, etc.



Ubicación:	Avenida 21 de Mayo, 4030000 Concepción, Biobío, República de Chile
Estación meteorológica:	868290
Temperatura exterior:	Máx.: 30°C/Mín.: 0°C
Área común del piso:	2.793 m ²
Área de muro exterior:	1.332 m ²
Potencia de iluminación media:	9.69 W/m ²
Personas:	103 Personas
Proporción de ventanas en exterior:	0,71
Costo eléctrico:	0,14 \$/kWh
Costo de combustible:	1,07 \$/unidad térmica

Figura 4. Modelo energético y factores de rendimiento de construcción en Software Revit.

Como el análisis teórico es para la demanda energética de calefacción, del resultado del análisis energético de Revit, el ítem a analizar en este caso, es el de las cargas de calefacción mensual (Véase **Gráfico 1**), ya que este, entrega la información necesaria con respecto a las pérdidas y ganancias de energías en el edificio.

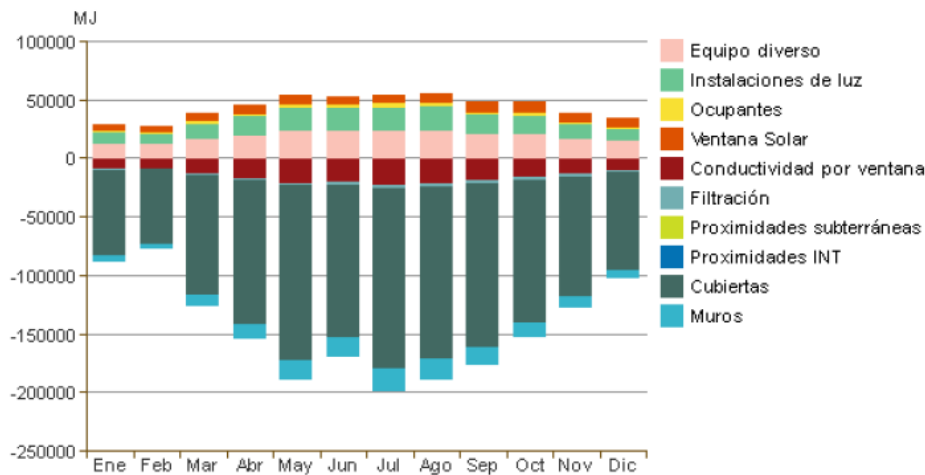


Gráfico 1. Carga de calefacción mensual edificio Monseñor Valech
Fuente. Informe energético Revit 2017.

Como se puede apreciar en el Grafico 1 y considerando los meses más fríos (junio, Julio y agosto), se puede apreciar que las ganancias de energía son producidas por equipos diversos, instalaciones de luz, ocupantes y ventanas solares. Por otra parte, se puede apreciar que las pérdidas de energía, son generadas por la conductividad por ventana, filtración, cubiertas y muros.

5 PROPUESTAS DE SOLUCIONES.

Basado en los resultados del balance energético total del edificio, se busca reducir el requerimiento de energía en un 80%, es por esto que se debe tener en consideración los focos que determinan mayor pérdida de esta. En este caso, los mayores determinantes son las cargas asociadas a la envolvente y la ventilación sensible.

5.1 Propuesta N°1.

Se propone como una posible solución, realizar un cambio de las ventanas existentes, reemplazándolas por unas de alta eficiencia energética, conocidas como termopanel o doble vidriado hermético (DVH), su función es reducir significativamente la perdida de calor. Este, está conformado por un cristal incoloro común, por un cristal PILKINGTON Low-E y entre los cristales una cámara de aire seco, además de un marco de PVC (véase **Figura 5**). Debido a que este tipo de vidrio presenta una baja conductividad, se puede apreciar que la transmitancia se reduce de 5,77 a 1,8 [W/m²K].

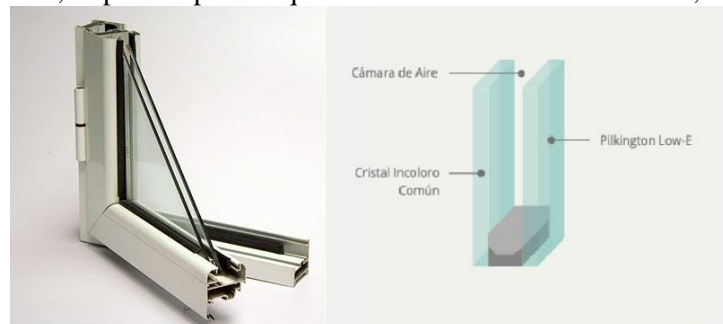


Figura 5. Esquema composición termopanel Low-e

Esta medida buscar reducir la perdida de calor producida por elementos de la envolvente. Esta solución, se aplica a todas las ventanas que rodean el edificio, exceptuando el muro cortina ubicado en una de las orientaciones sur del edificio. Aplicando esta solución por sí sola, se produce una reducción en el gasto energético de 9%. El análisis de precio unitario que conlleva realizar esta propuesta (**Anexo 2**) tiene un costo de \$91.367 por m², por lo que la inversión total de esta propuesta es de **\$27.982.346**. la **Tabla 23**, representa la reducción de demanda energética y costo que implica el implementar esta solución.

Tabla 23. Disminución gasto energético y costo asociado propuesta 1.

Tipos de cargas	Balance Total [KW]	Propuesta 1
Cargas solares (Qs)		
Carga solar directa (Qsr)	18.83	15.29
Carga solar indirecta (Qstr)	5.02	5.02
Cargas envolvente (Qc)		
Muros	-27.63	-27.63
Ventanas	-20.4	-6.35
Muro Cortina	-0.91	-0.91
Puertas	-3.63	-3.63
Techumbre	-29.02	-29.02
Cargas internas (Qi)		
Carga lamparas incandescentes (Qii.inc)	0.0	0
Carga lamparas descargas (Qii.des)	4.33	4.33
Carga interna por artefactos (Qie)	1.8	1.80
Carga sensible por personas (Qps)	4.42	4.42
Carga latente por personas (Qpl)	2.28	2.28
Cargas de ventilacion (Qv)		
Carga sensible de ventilacion (Qvs)	-58.12	-58.12
Carga sensible de ventilacion (Qvl)	-10.15	-10.15
Total	-113.2	-102.68
	Reduccion %	9%
	Costo (\$)	27.982.346

5.2 Propuesta N°2.

Se propone como una posible solución, el incorporar un aislamiento exterior, esto debido a que las pérdidas de calor por medio de los elementos de la envolvente, representan un 54% de las pérdidas totales.

El sistema a implementar, es conocido como sistema EIFS o sistema de aislación térmica exterior, esta solución, incorpora una placa de Aislapol de especialidad, adherida al exterior del muro (el cual puede ser de albañilería, bloques o hormigón), confinada entre capas de morteros elastoméricos, las que se refuerzan con una malla de fibra de vidrio. El sistema, termina de ser cubierto con una capa delgada de revestimiento acrílico texturizado (véase en la **Figura 6**).


Figura 6. Esquema composición revestimiento exterior o sistema EIFS.

Como este sistema de aislación está compuesto por diversos materiales, la transmitancia de los muros se reduce de 2.1 a 1.1 [W/m²°K], produciendo una disminución en la pérdida de calor mediante la envolvente, generando a su vez, una disminución en las pérdidas totales y por ende un requerimiento menor de energía. Este sistema, asegura una disminución en el requerimiento del 11%. El análisis de precio unitario que conlleva realizar esta propuesta (**Anexo 3**) tiene un costo de \$ 7.569 por m², por lo que la inversión total de esta propuesta es de \$ **8.876.377**. la **Tabla 24**, representa la reducción de demanda energética y costo que implica el implementar esta solución.

Tabla 24. Disminución gasto energético y costo asociado propuesta 2

Tipos de cargas		Balance Total [KW]	Propuesta 2
Cargas solares (Qs)			
	Carga solar directa (Qsr)	18.83	18.83
	Carga solar indirecta (Qstr)	5.02	3.85
Cargas envolvente (Qc)			
	Muros	-27.63	-13.93
	Ventanas	-20.4	-20.40
	Muro Cortina	-0.91	-0.91
	Puertas	-3.63	-3.63
	Techumbre	-29.02	-29.02
Cargas internas (Qi)			
	Carga lamparas incandescentes (Qii.inc)	0.0	0
	Carga lamparas descargas (Qii.des)	4.33	4.33
	Carga interna por artefactos (Qie)	1.8	1.80
	Carga sensible por personas (Qps)	4.42	4.42
	Carga latente por personas (Qpl)	2.28	2.28
Cargas de ventilacion (Qv)			
	Carga sensible de ventilacion (Qvs)	-58.12	-58.12
	Carga sensible de ventilacion (Qvl)	-10.15	-10.15
Total		-113.2	-100.68
		Reduccion %	11%
		Costo (\$)	8.876.377

5.3 Propuesta N°3.

Se propone como una posible solución, implementar un sistema de ventilación mecánica con recuperador de calor, cuya función consiste en la renovación del aire mediante equipos electromecánicos, los cuales recuperan parte de la energía del aire extraído. Con esto, se busca disminuir las pérdidas de calor producidas por ventilación, además de mejorar en gran medida el confort interior disminuyendo las tasas de CO₂ y de humedad que se producen al interior de los diferentes recintos del edificio.

Para seleccionar el equipo más óptimo, es necesario tener en consideración el caudal de ventilación de este y el caudal de ventilación necesario para el edificio. La **Tabla 25**, muestra las características de uno de los productos que ofrece empresas “MITSUBISHI ELECTRIC aire acondicionado” de la serie LGH-RVXT-E LOSSNAY (Véase **Figura 7**), en donde se señala el flujo máximo de aire permitido por el equipo.

TABLA 25. Características de recuperador entálpico MODELO LGH-RVX-E
 Fuente: catálogo MITSUBISHI ELECTRIC.

MODELO	LGH-200RVX-E	
Caudal máximo de aire	m ³ /h	2.000
Rendimiento sensible máximo	%	89,5
Presión externa máxima	Pa	150
Alimentación eléctrica	F, V, Hz	
Intensidad máxima	A	4,88
Consumo eléctrico máximo	W	850
Dimensiones (Alto x Ancho x Fondo)	mm	808 x 1.010 x 1.272
Peso	kg	110
PVR		7.058 €



Figura 1: Recuperador entálpico modelo LGH-200RVX-E.

Para las condiciones de uso de la facultad Monseñor Valech, es necesario un caudal de 4.46 m³/s (16068.8 m³/h) para oficinas, 1.81 m³/s (6518.4 m³/h) para aulas y 2.11 m³/s (7590.6 m³/h) para salas de multiuso (laboratorios de kinesiología y medicina).

Considerando lo anterior y las características del equipo antes señalado, se determina que, para tener un buen uso de la ventilación mecánica, sería necesario instalar aproximadamente 15 equipos con estas características, lo que implicaría un costo aproximado de **\$ 73.021.074**. Al implementar esta propuesta se promete una reducción en la demanda energética de un 34%, siendo este el porcentaje de reducción más alto y el costo más elevado de implementación ofrecido por las propuestas mencionadas. La **Tabla 26**, muestra los valores de reducción al implementar esta propuesta.

Tabla 26. Disminución gasto energético y costo asociado propuesta 3

Tipos de cargas		Balance Total [KW]	Propuesta 3
Cargas solares (Qs)			
	Carga solar directa (Qsr)	18.83	18.83
	Carga solar indirecta (Qstr)	5.02	5.02
Cargas envolvente (Qc)			
	Muros	-27.63	-27.63
	Ventanas	-20.4	-20.40
	Muro Cortina	-0.91	-0.91
	Puertas	-3.63	-3.63
	Techumbre	-29.02	-29.02
Cargas internas (Qi)			
	Carga lamparas incandescentes (Qii.inc)	0.0	
	Carga lamparas descargas (Qii.des)	4.33	4.33
	Carga interna por artefactos (Qie)	1.8	1.80
	Carga sensible por personas (Qps)	4.42	4.42
	Carga latente por personas (Qpl)	2.28	2.28
Cargas de ventilacion (Qv)			
	Carga sensible de ventilacion (Qvs)	-58.12	-19.89
	Carga sensible de ventilacion (Qvl)	-10.15	-10.15
Total		-113.2	-74.97
		Reduccion %	34%
		Costo (\$)	73.021.074

6 CONCLUSIÓN.

El edificio Monseñor Valech de la Universidad Católica de la Santísima Concepción, es un edificio que no presenta las condiciones óptimas de confort en su interior. Esto queda demostrado tanto por el modelamiento realizado por el programa Revit 2017, como por los cálculos teóricos realizados, los cuales muestran que la mayor pérdida de energía se produce tanto por los elementos que forman la envolvente del edificio (muros, puertas, ventanas y techumbre), los cuales representan un 54% del total de las perdidas y, además por la infiltración de aire que se produce en el edificio, la que corresponde a un 46% del total de las perdidas. Por otra parte, según el “Manual de aplicación de reglamentación térmica” utilizado para viviendas, el cual contiene las exigencias mínimas de tramitación para elementos que constituyen la envolvente de una vivienda, dependiendo de la zonificación en la cual se encuentre el caso en estudio, los valores de transmitancia deben ser igual o menores a los señalados en este manual. El caso en estudio se encuentra ubicado en la zona 4, y siguiendo las exigencias de este, tanto los muros confinados, como las ventanas y la techumbre, no cumplen con los requisitos, ya que la transmitancia de estos supera con creces los establecidos en el manual. La **Tabla 27** señala los valores requeridos por la reglamentación v/s los calculados según NCh853 para los elementos de la envolvente del edificio Valech.

Tabla 27. Comparación transmitancia solicitada según zona 4.

ELEMENTO	U [W/m ² °K]	
	REGLAMENTO	TEORICO
MURO	1.7	2.1
VENTANA	2.56	2.8
TECHUMBRE	0.38	0.55

Considerando los resultados arrojados por el informe energético del software Revit, se puede observar que las pérdidas de energía se producen a través los elementos de la envolvente (ventanas, muros y mayoritariamente techumbre), del mismo modo que lo indicado con los cálculos teóricos. Sin embargo, las pérdidas por filtración de aire son mucho menores que las calculadas teóricamente, esta diferencia se debe a que la consideración de filtración realizada por el software Revit debe ser la óptima que posee el edificio y no la considerada de forma teórica.

De acuerdo a lo expresado en los dos métodos, cálculos teóricos y modelo energético, se realizaron 3 propuestas de soluciones para mejorar la demanda de calefacción mensual. Estas son analizadas a continuación:

- Propuesta 1: se propone como posible solución, con el objetivo de mitigar la pérdida por envolvente y cumplir con las exigencias mínimas del reglamento térmico, el intercambio de las ventanas actuales (vidrio simple con marco de aluminio) del edificio por ventanas termopanel Low-E, las cuales logran reducir el requerimiento de energía en un 9%, lo cual es considerada como una de las propuestas más bajas en cuanto a eficiencia y tiene un costo total de \$27.982.346.
- Propuesta 2: se propone como posible solución, con el objetivo de mitigar la pérdida por envolvente y cumplir con las exigencias mínimas del reglamento térmico, el incorporar un sistema de aislación exterior conocido como sistema EIFS, el cual reduce el requerimiento de energía en un 11% y tiene un costo total de \$8.876.337, uno de los costos más bajos de los propuestos en cuanto a su implementación.
- Propuesta 3: se propone como posible solución, con el objetivo de mitigar la pérdida por envolvente y cumplir con las exigencias mínimas del reglamento térmico, el incorporar un sistema de ventilación mecánica, reduciendo las pérdidas debido a la filtración de aire que se realiza de manera manual, el requerimiento de energía se reduce en un 34% y tiene un costo total de \$73.021.074, uno de los costos más altos de los propuestos en cuanto a su implementación.

A continuación, se describen las soluciones consideradas como mínima, máxima y óptima, esto en base al análisis realizado anteriormente a cada propuesta.

➤ Solución Mínima:

La solución que presentaría la mínima disminución en el requerimiento energético, es la propuesta 1, la instalación de ventanas termopanel, ya que esta ofrece tan solo un 9% menos de energía, por lo que, debido a su costo, no justificaría implementarla por sí sola, debido a la mala relación oferta en disminución de requerimiento energético v/s costos. Los valores de reducción en la demanda energética son los expresados en la **Tabla 23**.

➤ Solución Máxima:

La solución máxima se logra implementando las 3 propuestas señaladas anteriormente, intercambio de ventanas actuales por ventanas termopanel, implementación de sistema EIFS y sistema de ventilación mecánica con recuperador de calor. El cálculo del balance total de energía, muestra que, al implementar estas 3 posibles soluciones, este disminuye la demanda energética en un 54%. En cuanto al costo total alcanzado en la implementación de estas 3 propuestas, este alcanza un valor de **\$109.879.797**. La **Tabla 28** resume lo antes mencionado.

Tabla 28. Comparación de balance total con y sin solución máxima

Tipos de cargas		Balance Total [KW]	Solución MAX
Cargas solares (Qs)			
	Carga solar directa (Qsr)	18.83	15.29
	Carga solar indirecta (Qstr)	5.02	3.47
Cargas envolvente (Qc)			
	Muros	-27.63	-13.98
	Ventanas	-20.4	-6.35
	Muro Cortina	-0.91	-0.91
	Puertas	-3.63	-3.63
	Techumbre	-29.02	-29.02
Cargas internas (Qi)			
	Carga lamparas incandescentes (Qii.inc)	0.0	0.0
	Carga lamparas descargas (Qii.des)	4.33	4.33
	Carga interna por artefactos (Qie)	1.8	1.80
	Carga sensible por personas (Qps)	4.42	4.42
	Carga latente por personas (Qpl)	2.28	2.28
Cargas de ventilacion (Qv)			
	Carga sensible de ventilacion (Qvs)	-58.12	-19.89
	Carga sensible de ventilacion (Qvl)	-10.15	-10.15
Total		-113.2	-52.34
		Reduccion %	54%
		Costo (\$)	109.879.797

➤ Solución Óptima:

Como solución óptima, se propone combinar las opciones 1 y 2, intercambiar las ventanas actuales del edificio por ventanas termopanel e implementar el sistema de aislación exterior EIFS, con tal de mitigar las pérdidas de energía producida por los elementos que conforman la envolvente del edificio. Al calcular el balance total de energía, implementando ambas propuestas, se logra reducir el requerimiento energético en un 20%. De acuerdo a lo señalado anteriormente, implementar el sistema de aislación exterior tipo EIFS tiene un costo total de \$ 8.876.377 y el cambiar las ventanas actuales por ventanas termopanel implica un costo total de \$ 27.982.346. Por lo que al implementar estas dos propuestas en conjunto tiene un presupuesto total de **\$36.858.723**. La **Tabla 29**, representa la reducción en la implementación de esta propuesta. La **Tabla 29**, representa la reducción en la implementación de esta propuesta.

Tabla 29. Comparación de balance total con y sin solución óptima.

Tipos de cargas	Balance Total [KW]	Solución OPT.
Cargas solares (Qs)		
Carga solar directa (Qsr)	18.83	15.3
Carga solar indirecta (Qstr)	5.02	3.5
Cargas envolvente (Qc)		
Muros	-27.63	-14.0
Ventanas	-20.4	-6.3
Muro Cortina	-0.91	-0.9
Puertas	-3.63	-3.6
Techumbre	-29.02	-29.0
Cargas internas (Qi)		
Carga lamparas incandescentes (Qii.inc)	0	0.0
Carga lamparas descargas (Qii.des)	4.33	4.3
Carga interna por artefactos (Qie)	1.8	1.8
Carga sensible por personas (Qps)	4.42	4.4
Carga latente por personas (Qpl)	2.28	2.3
Cargas de ventilacion (Qv)		
Carga sensible de ventilacion (Qvs)	-58.12	-58.12
Carga sensible de ventilacion (Qvl)	-10.15	-10.15
Total	-113.2	-90.6
	Reduccion %	20%
	Costo (\$)	36.858.723

Para poder decidir que opción de las propuestas es más factible y rentable se deben tomar en consideración los porcentajes de reducción de requerimiento energético y los costos asociados a la instalación de estos. Es por esto que, aunque el implementar las opciones 1 y 2 a la vez, a pesar de que no cumplen con un porcentaje de reducción energético satisfactorio, el costo de su implementación no es muy elevado.

Al momento de hablar de costos, se debe realizar un análisis de recuperación de la inversión en base al ahorro mensual que se produce por costos de operación de la caldera, ya que esta requeriría menos potencia para calefaccionar. Hoy en día, calefaccionar el edificio Monseñor Valech tiene un costo de \$1.892.000 al mes (considerando los meses más fríos) por lo que al implementar la solución propuesta, este gasto disminuiría a un monto de \$1.513.600 generando un ahorro de \$ 378.400 al comparar este ahorro mensual con la inversión que se debe realizar para implementar la solución propuesta, se llega a la conclusión de que esta inversión se recupera en un plazo de 24 meses, esto considerando que el ahorro se genera en los 3 meses más fríos del año, lo que quiere decir, que la recuperación real se generaría en 8 años aproximadamente.

A modo de conclusión, la implementación de cualquiera de las soluciones y sus diversas combinaciones logran una disminución en el requerimiento energético, sin embargo, no todas satisfacen los objetivos planteados y en ningún caso, se logra el objetivo de alcanzar la reducción energética según estándares Passivhaus del 80%. Es por lo anterior y por un tema de costos y recuperación de la inversión que la mejor solución es la implementación de la solución óptima (implementar un sistema EIFS y el colocar termopaneles Low-E de manera conjunta).

7 Bibliografía

- CCHC. (2008). *Manual Técnico: AISLACIÓN TÉRMICA EXTERIOR*. Santiago.
- CHILE, I. (2007). NCH 853, Acondicionamiento térmico- Envolverte térmica de edificios- Cálculos de resistencias y transmitancias térmicas.
- CITECUBB. (s.f.). *MANUAL DE DISEÑO PASIVO Y EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EDIFICIOS PÚBLICOS*. SANTIAGO.
- Czajkowski. (s.f.). *SISTEMAS DE CLIMATIZACIÓN BALANCE TÉRMICO DE VERANO*.
- Díaz, V. S. (2005). *ACONDICIONAMIENTO TÉRMICO DE EDIFICIOS*. Buenos Aires.
- Dornelles, K. A. (2008). ABSORTÂNCIA SOLAR DE SUPERFÍCIES OPACAS: MÉTODOS DE DETERMINAÇÃO E BASE DE DADOS PARA TINTAS LÁTEX ACRÍLICA E PVA.
- G, W. B. (2009). *GUÍA DE DISEÑO PARA LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA VIVIENDA SOCIAL*. SANTIAGO.
- MINVU. (s.f.). *Manual de Aplicación Reglamentación Térmica*.
- MINVU-DITEC. (2014). *LISTADO OFICIAL DE SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS PARA EL ACONDICIONAMIENTO TÉRMICO*.
- P. INCROPERA, F. (1999). *FUNDAMENTOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR*. PRENTICE HALL.
- Vásquez, C. (2012). EL DISEÑO DEL SISTEMA DE CERRAMIENTO. *Fabricación y construcción*, 102-107.
- YUNUS A. ÇENGEL, M. A. (2003). *TERNODIAMICA*. MEXICO D.F: MCGRAW-HILL.

8 ANEXOS

8.1 Anexo 1

Para poder realizar la configuración energética en software Revit 2017, hay que dirigirse a la barra de tareas superior, presionar “Analizar”, donde se selecciona el botón “configuración de energía”, este abrirá una ventana para realizar las primeras configuraciones. La ubicación se selecciona mediante un mapa digital, al asignar el punto de ubicación este lo dejará denotado con sus coordenadas, se selecciona modo de análisis (en este caso “masas conceptuales y elementos de edificación”), seleccionar el plano de suelo, y fase del proyecto, los demás por defecto. En “otras opciones” se selecciona el tipo de edificio, tabla de planificación de construcción y sistema de climatización. Por último, en “información de aire exterior” se selecciona renovaciones de aire por hora y se señala la correspondiente al tipo de edificio diseñado (aulas, restaurantes, oficinas, etc.). Lo antes descrito se puede observar en la **Figura 2**.

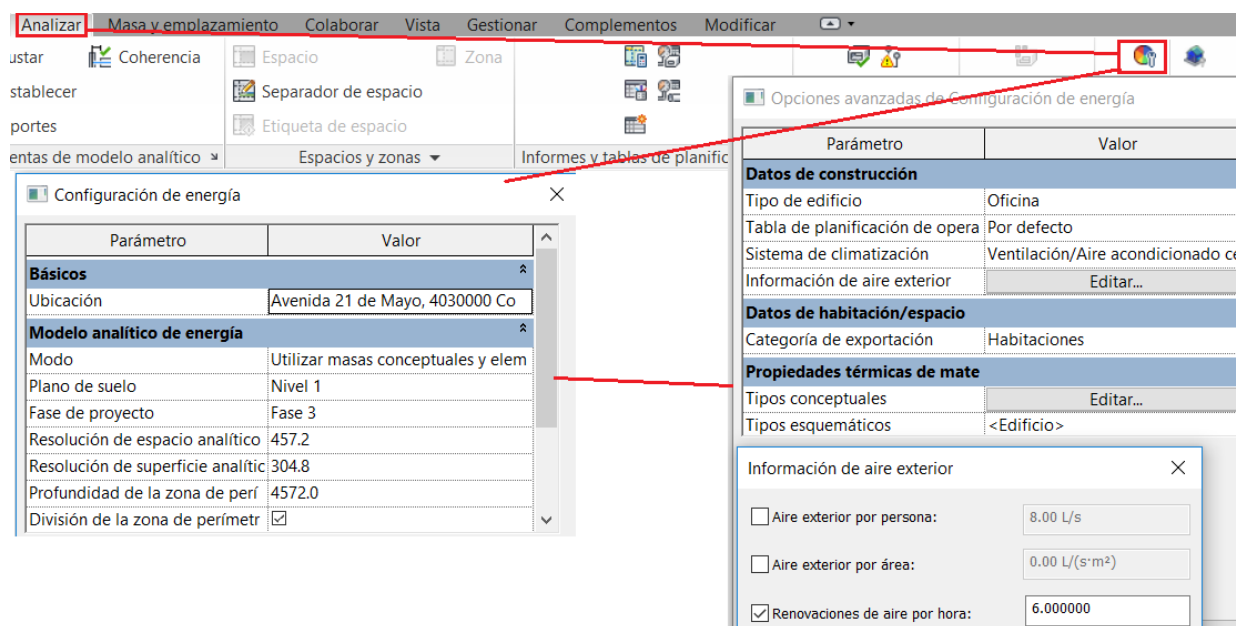


Figura 2: Configuración energética realizada para análisis energético del edificio Monseñor Valech.
 Fuente: Elaboración propia, según configuración de Software Revit 2017.

8.2 Anexo 2

Análisis de precio unitario (APU), implementación de sistema Termopanel

Análisis Precio Unitario											
Nombre	Termopanel										
Unidad	\$/m ²										
Fecha											
Cantidad	306.27										
Item											
Equipos	Unidad	Rendimiento unitario	Unidad	Rendimiento conjunto	Unidad	1/Rendimiento	Unidad	P.U	Unidad	P.Total	Unidad
Total equipos											
Mano de obra	Unidad	Rendimiento unitario	Unidad	Rendimiento conjunto	Unidad	1/Rendimiento	Unidad	P.U	Unidad	P.Total	Unidad
Maestro	dia	8	m ² /dia	12	m ² /dia	0.0833	dia/m ²	30000	\$/dia	2500	\$/m ²
Ayudante	dia	4	m ² /dia	12	m ² /dia	0.0833	dia/m ²	15000	\$/dia	1250	\$/m ²
Total Mano de obra										3750	\$/m ²
leyes sociales (20%)										750	\$/m ²
Total Mano de obra										4500	\$/m ²
Mano de obra	Unidad	Rendimiento unitario	Unidad	Rendimiento conjunto	Unidad	1/Rendimiento	Unidad	P.U	Unidad	P.Total	Unidad
Ventana termopanel	m ²	1	m ² /m ²			1	m ² /m ²	78970	\$/un	78970	\$/m ²
10% perdidas										7897	\$/m ²
Total materiales										86867	\$/m ²
Total										91367	\$/m ²
Presupuesto Final										27983246.1	

8.3 Anexo 3

Análisis de precio unitario (APU), instalación sistema de aislación exterior mediante sistema tipo EIFS.

Análisis Precio Unitario												
Nombre	sistema EIFS											
Unidad	\$/m ²											
Fecha												
Cantidad	1173											
Item												
Equipos	Unidad	Rendimiento unitario	Unidad	Rendimiento conjunto	Unidad	1/Rendimient	Unidad	P.U	Unidad	P.Total	Unidad	
Total equipos												
Mano de obra	Unidad	Rendimiento unitario	Unidad	Rendimiento conjunto	Unidad	1/Rendimient	Unidad	P.U	Unidad	P.Total	Unidad	
Maestro	dia	30	m ² /dia	45	m ² /dia	0.02	dia/m ²	30000	\$/dia	667	\$/m ²	
Ayudante	dia	15	m ² /dia	45	m ² /dia	0.02	dia/m ²	15000	\$/dia	333	\$/m ²	
Total Mano de obra										1000	\$/m ²	
leyes sociales (20%)										200	\$/m ²	
Total Mano de obra										1200	\$/m ²	
Materiales	Unidad	Rendimiento unitario	Unidad	Rendimiento conjunto	Unidad	1/Rendimient	Unidad	P.U	Unidad	P.Total	Unidad	
poliestireno exp. 30 mm	Un	10	m ² /un			0.1	un/m ²	13000	\$/un	1300	\$/m ²	
malla fibra de vidrio	Un	44	m ² /un			0.02	un/m ²	37000	\$/un	841	\$/m ²	
mortero polimerico 25 kg	kg	16.6	m ² /gal			0.06	kg/m ²	9720	\$/kg	586	\$/m ²	
pintura base estandar	galon	3	m ² /kg			0.3	gal/m ²	9190	\$/gal	3063	\$/m ²	
Total materiales										5790		
10% perdidas										579	\$/m ²	
Total materiales										6369	\$/m ²	
Total										7569	\$/m ²	
Presupuesto Final										8876377.83		