

CÁLCULO DE POTENCIA DE CALEFACCIÓN DEL NUEVO LABORATORIO DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE LA SANTÍSIMA CONCEPCIÓN, PARA LA EVALUACIÓN ENERGÉTICA Y PROPUESTA DE REDUCCIÓN DE ÉSTA

*F. Venegas Castillo¹ F. González Monsalve² C. Correa Rogel³
Universidad Católica de la Santísima Concepción*

RESUMEN

El crecimiento en la demanda de energía, la dependencia energética, el cambio climático y la expansión del sistema eléctrico, son desafíos en donde la eficiencia energética es una solución factible y sustentable en Chile. Es por ello, que, en la actualidad se busca aumentar el ahorro energético implementando soluciones con el fin de alcanzar el confort térmico al interior de los recintos, donde factores como la humedad, temperatura y velocidad del aire, condicionan la sensación térmica de las personas y el nivel de confort del recinto.

En el presente estudio se analiza la envolvente térmica del Laboratorio de Ingeniería 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, reducir el consumo primario de energía durante los meses junio, julio y agosto. Para desarrollar este análisis del edificio, se realiza la modelación en el software Revit y método analítico, identificando las zonas de mayor pérdida de energía para proporcionar una solución que disminuya la demanda energética.

Los principales resultados obtenidos de forma analítica concluyen que las pérdidas de energía son producidas por las cargas de ventilación y por medio de la envolvente, obteniendo un total de 107.06 kW de potencia. Para subsanar esta pérdida, se implementó la solución de ventilación mecanizada por medio de intercambiadores de calor, reduciendo en un 29% las cargas de ventilación y disminuyendo la demanda de potencia por unidad de superficie de 22.37 W/m² a 14.7 W/m².

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

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

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

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

ABSTRACT:

The growth in energy demand, energy dependence, climate change and the expansion of electrical system are challenges, in which energy efficiency is a feasible and sustainable solution in Chile. It is therefore, at present, it is sought to increase energy savings implementing solutions in order to reach the thermal comfort inside enclosures, where factors such as humidity, temperature and air velocity, determine the thermal sensation of people and the comfort level the building.

In the present research, the thermal envelope of the Engineering Laboratory of the *Universidad Católica de la Santísima Concepción* is analyzed, for the purpose of propose constructive solutions that enable to reduce the existing energy expenditure in the building and in turn, to reduce the primary energy consumption during the months of June, July and August. In order to develop this building analysis, the modelling is performed in the Revit software and analytical method, identifying the areas of biggest energy loss to provide a solution that reduces energy demand.

Main results obtained in an analytical form conclude that energy losses are produced by ventilation loads and by means of the envelope, obtaining a total of 107.06 kW of power. In order to overcome the loss, the solution of mechanical ventilation was implemented through heat exchangers, reducing ventilation loads by a 29% and reducing of power demand per unit area from 22.37 W/m² to 14.7 W/m².

KEYWORDS: Thermal comfort; Energy demand; Energy efficiency.



1. INTRODUCCIÓN

El crecimiento de la demanda de energía en Chile, así como la dependencia energética, el calentamiento global y la expansión del sistema eléctrico, entre otros factores, ha incidido en la necesidad de buscar soluciones vinculadas al mejoramiento de la eficiencia energética.

Chile es el primer país de Latinoamérica que ha incorporado en su reglamento de construcción, exigencias de acondicionamiento térmico para todas las viviendas, en el marco de una política de mejoramiento de calidad de vida de la población⁴. Por este motivo, el Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU) en el año 2000 modifica la Ordenanza General de Urbanización y Construcción, implementando políticas que buscan aumentar el ahorro energético por medio de aislación térmica estableciendo parámetros mínimos para asegurar la calidad de la vivienda.

Hoy es necesario no sólo alcanzar los parámetros de confort requeridos, sino lograrlo con el menor uso de energía no renovable posible, aprovechando la energía solar en sus diversas fases y/o utilizando energía renovable si es necesario⁴.

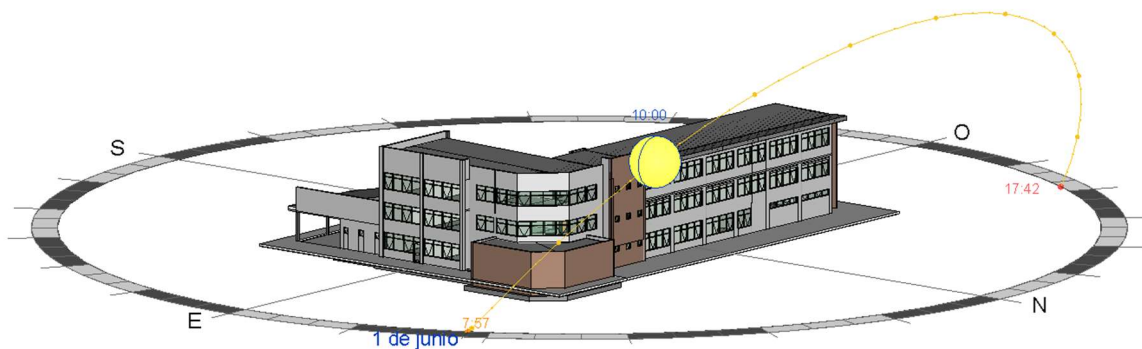
El presente estudio tiene como objetivo determinar la demanda energética del Laboratorio de Ingeniería de la Universidad Católica de la Santísima Concepción, de forma analítica, tanto las potencias generadas por cargas internas como externas que se producen en el edificio, de modo de prestar soluciones constructivas, disminuir el consumo energético.

⁴ Manual de Aplicación Reglamentación Térmica, Ordenanza General de Urbanismo y Construcción Artículo 4.1.10, Chile.

2. ÁREA DE ESTUDIO

El edificio de estudio será el nuevo Laboratorio de Ingeniería de la Universidad Católica de la Santísima Concepción (*Figura 1*). Esta edificación se ubicará en el Campus San Andrés, con dirección Avenida Alonso de Ribera #2850, Concepción, Región del Biobío, Chile. Sus coordenadas geográficas son 36°79'64" S, 73°05'85" W. Según su ubicación, la zonificación térmica que tiene Concepción es la zona 4⁵ y en la zona climática Sur Litoral⁶.

El área del proyecto ha sido definida considerando la totalidad de los niveles del edificio, siendo la superficie total del área de estudio de aproximadamente 4.788 m²; dividida en zonas de laboratorios, oficinas y salas de clases.



*Figura 1: Orientación Laboratorio de Ingeniería.
Fuente: Elaboración propia, software Revit 2017.*

⁵ Manual de Acondicionamiento Térmico; una guía para el dueño de casa. Concepción, Chile, 2016.

⁶ NCh 1079 of 2008, Arquitectura y construcción – Zonificación climático habitacional para Chile y recomendaciones para el diseño arquitectónico.

3. METODOLOGÍA

3.1 Balance térmico⁷

Las condiciones térmicas de una edificación dependerán de las pérdidas y ganancias de calor. Este balance ocurre cuando la suma de las ganancias y pérdidas de calor es igual a cero, por lo tanto, se dice que el edificio se encuentra en ambiente de confort.

Esta relación de ganancias y pérdidas de calor queda expresada en la *Ecuación 1* y de forma ilustrativa se puede visualizar en la *Figura 2*.

$$\dot{Q}_{total} = \dot{Q}_s \pm \dot{Q}_i \pm \dot{Q}_c \pm \dot{Q}_v \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

- \dot{Q}_s : Cargas térmicas solares [kW]
- \dot{Q}_i : Cargas térmicas internas [kW]
- \dot{Q}_c : Cargas térmicas de los elementos de la envolvente [kW]
- \dot{Q}_v : Cargas térmicas por ventilación [kW]

Glosario: Las cargas térmicas se entenderán como flujos de calor \dot{Q} medidas en kW.

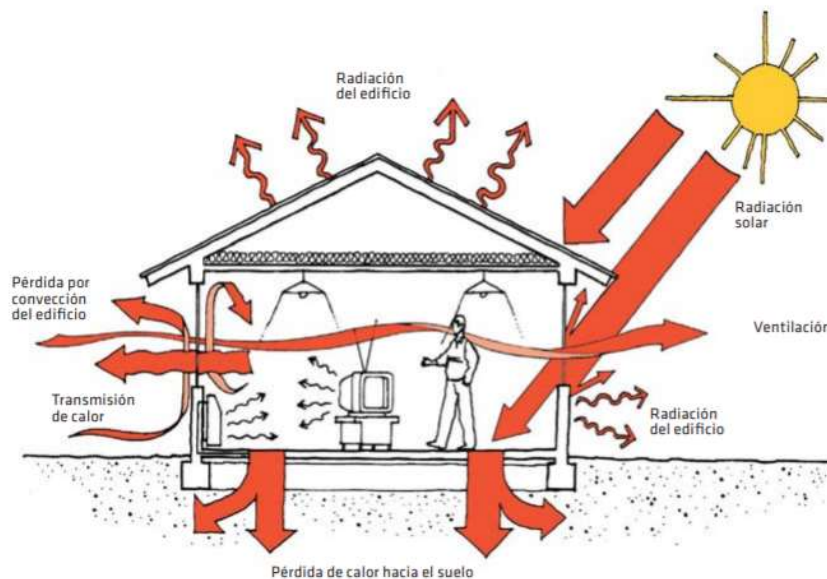


Figura 2: Mecanismos de transferencia de calor en un recinto.

Fuente: Guía de diseño para la eficiencia energética en la vivienda social, MINVU.

3.1.1 Cargas térmicas solares⁸ (\dot{Q}_s)

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

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

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

3.1.1.1 Cargas térmicas solares directas (\dot{Q}_{sr})

Cargas que se producen por la radiación solar incidente en el edificio, las que pueden llegar de forma directa al interior del recinto mediante las ventanas y superficies transparentes.

$$\dot{Q}_{sr} = S * R * \theta \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

- S: superficie cristal expuesto [m²]
- R: radiación solar que atraviesa la superficie del cristal [W/m²]
- θ : coeficiente de ganancia solar

3.1.1.2 Cargas térmicas solares indirectas (\dot{Q}_{str})

Cargas que se producen por transmisión y radiación a través de las paredes y techos que limitan con el exterior.

$$\dot{Q}_{str} = U * S * (R * \alpha * R_{so}) \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

- U: transmitancia térmica del material [W/m²K]
- S: superficie expuesta a la radiación [m²]
- R: radiación solar que atraviesa la superficie el muro [W/m²]
- α : coeficiente de absorción [%]
- R_{so}: Resistencia de la película exterior de aire [m²K/W]

3.1.2 Cargas térmicas internas (\dot{Q}_i)

Cargas que son producidas por la iluminación, personas y artefactos eléctricos generando puntos de calor al interior del edificio.

3.1.2.1 Cargas internas de iluminación⁹ (\dot{Q}_{ii})

La carga interna de iluminación de un edificio constituye una fuente de calor. Este calor se emite por radiación, convección y conducción.

3.1.2.1.1 Carga interna sensible de iluminación para lámparas incandescentes (\dot{Q}_{iii})

$$\dot{Q}_{iii} = n * POT_{lámpara\ incandescente} \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

- n: número de lámparas de cada tipo
- POT_{lámpara incandescente}: potencia de la bombilla, lámpara incandescente [W]

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

3.1.2.1.2 Carga interna sensible de iluminación para lámparas de descarga (\dot{Q}_{iid})

$$\dot{Q}_{iid} = 1.25 * n * POT_{lámpara\ descargada} \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde:

- n: número de lámparas de cada tipo
- $POT_{lámpara\ descargada}$: potencia de la bombilla, lámpara descarga [W]

3.1.2.2 Cargas internas por ocupante¹⁰ (\dot{Q}_{ip})

La carga interna por ocupante es el calor aportado por las personas, el cual dependerá de la actividad que realiza en el lugar. La carga de ocupantes tiene una componente sensible y otra componente latente.

3.1.2.2.1 Carga interna sensible por ocupante (\dot{Q}_{ips})

$$\dot{Q}_{ips} = n * C_{sensible, persona} \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde:

- n: número de usuarios estimados en el recinto
- $C_{sensible, persona}$: calor sensible por persona según actividad que realice [W]

3.1.2.2.2 Carga interna latente por ocupante (\dot{Q}_{ipl})

$$\dot{Q}_{ipl} = n * C_{latente, persona} \quad \text{Ecuación 7}$$

Donde:

- n: número de usuarios estimados en el recinto
- $C_{latente, persona}$: calor latente por persona según actividad que realice [W]

3.1.2.3 Cargas internas por equipo¹⁰ (\dot{Q}_{ie})

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

$$\dot{Q}_{ie} = \sum n \times C_{artefacto} \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde:

- n: número de artefactos
- $C_{artefacto}$: calor emitido por cada artefacto [W]

¹⁰ Acondicionamiento térmico de edificios, Buenos Aires (Díaz, 2005).

3.1.3 Cargas térmicas de los elementos de la envolvente¹¹ (\dot{Q}_c)

Es la carga térmica a través de los elementos que componen la envolvente de una edificación, es decir, los elementos del edificio que limitan con el exterior, el conjunto de techo, muros exteriores, piso, ventanas y puertas.

$$\dot{Q}_c = U * S * (t^{\circ}_{ext.} - t^{\circ}_{int.}) \quad \text{Ecuación 9}$$

Donde:

- U: transmitancia térmica [W/m²K]
- S: superficie de cada elemento del perímetro [m²]
- t^o_{ext.}: temperatura del ambiente al exterior del recinto [C°]
- t^o_{int.}: temperatura de diseño, dada por el confort térmico al interior del recinto [C°]

La suma de todas las pérdidas individuales de cada elemento del contorno, representa la pérdida de calor por transmisión total.

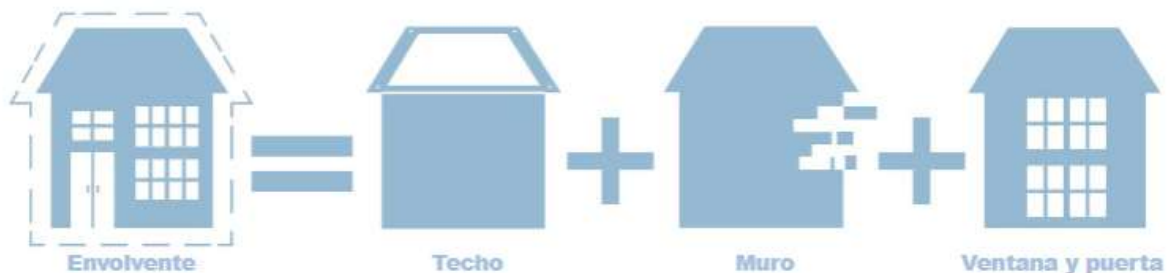


Figura 3: Elementos que componen la envolvente térmica.

Fuente: Acondicionamiento térmico de vivienda existente; una guía para el dueño de casa. CDT.

3.1.4 Cargas térmicas por ventilación¹¹ (\dot{Q}_v)

Se produce cuando el aire ingresa desde del exterior hacia el interior del edificio, renovando o expulsando el aire interior hacia el exterior. Esta ventilación se atribuye a infiltraciones de aire causados por resquicio en la envolvente, ventanas y/o puertas.

La carga térmica por ventilación tiene una componente sensible (Q_{vs}), y otra latente (Q_{vl}).

3.1.4.1 Carga térmica sensible por ventilación (\dot{Q}_{vs})

$$\dot{Q}_{vs} = V * \rho * C_{e,aire} * \Delta T \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

- V: caudal de aire de ventilación [m³/s]
- ρ : densidad del aire [valor conocido: 1,18 kg/m³]
- C_{e,aire}: calor específico del aire [1012 J/kg°C]
- ΔT : diferencial de temperatura entre el exterior y el interior [°C]

¹¹ Acondicionamiento térmico de edificios, Buenos Aires (Díaz, 2005).

3.1.4.2 Carga térmica latente por ventilación (\dot{Q}_{vl})

$$\dot{Q}_{vl} = V_r * 0.84 * \Delta W \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

- ΔW : diferencia de humedad entre el exterior y el interior [%]
- V_r : caudal de aire infiltrado y ventilación [m^3/s]

$$V_r = V * R.A.H. \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

- V : volumen del recinto [m^3]
- R.A.H.: número de renovaciones de aire por hora [1/h]

3.2 Condiciones de diseño

Se establecen condiciones iniciales de diseño con el fin de calcular las cargas térmicas del edificio. Estas condiciones se realizarán bajo el supuesto de que las condiciones interiores como exteriores permanecen inalterables durante el periodo de junio, julio y agosto.

3.2.1 Radiación solar

El reporte de radiación solar se obtiene en la página del ministerio de energía en conjunto con la Universidad de Chile¹². Este nos entrega información sobre la radiación directa durante los doce meses del año, por ende, se obtiene el promedio de los meses más fríos, descomponiendo la radiación según su ángulo de incidencia¹³.

Para hacer más exacto el cálculo se considera la radicación solar según su horario y orientación.

- Radiación Norte: desde las 12:00 a 15:00 hrs.
- Radiación Este: desde las 07:00 a 11:00 hrs.
- Radiación Sur: Se considera nula, ya que no se percibe radiación solar.
- Radiación Oeste: desde las 16:00 a 20:00 hrs.

La *Tabla 1*, muestra el promedio de los meses más fríos según su orientación y la radiación directa para a techumbre.

Tabla 1: Radiación solar según orientación.
Fuente: Datos obtenidos del informe de radiación solar.

	Directa	Este	Norte	Oeste	Sur
Promedio meses más fríos [W/m^2]	189,35	142,21	331,14	92,73	0

¹² <http://www.minenergia.cl/exploradorsolar/>

¹³ Angulo de incidencia según mes del año, Principios de la geometría solar.

3.2.2 Absortancia

La absortancia o absorción superficial, representa la fracción de la radiación incidente de onda larga (longitudes de onda infrarrojas) que es absorbida por un material. Para este caso, se utilizó el valor del material del concreto y la pintura marrón media.

En la *Tabla 2* se presentan los valores de absortancia para diferentes materiales.

Tabla 2: Absortancia solar de diferentes superficies.

Fuente: Elaboración propia según "Manual de diseño para edificaciones energéticamente eficientes"

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

3.2.3 Coeficiente de ganancia solar

Es la radiación solar incidente que aporta calor al interior del recinto al atravesar la superficie de los cristales de la edificación. Se consideró vidrio simple claro en puertas de accesos y ventanas con vidrio doble alta tecnología Low E.

En la *Tabla 3* muestra el coeficiente de ganancia solar par distintos tipos de ventanas.

Tabla 3: Coeficiente de ganancia solar para distintos tipos de vidrios.

Fuente: Elaboración propia según "Manual de diseño para edificaciones energéticamente eficientes"

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

3.2.4 Carga térmica por iluminación

La *Tabla 4* resume la cantidad de lámparas presentes según su grupo y potencia. Se considera que los artefactos están encendidos en un 50% del tiempo (5 horas diarias).

Tabla 4: Cantidades de lámparas, según su clasificación y potencia.

Fuente: Elaboración propia.

Tipo	Artefacto	Potencia [W]	Nivel			Total	Potencia Total [W]	Fun/ Día
			1er	2do	3er			
Incandescentes	12 W/LED	12	12	4	4	20	240	50%
	21 W/LED	21	42	13	12	67	1407	50%
	36 W/LED	36	4	1	1	6	216	50%
	40 W/LED	40	78	80	81	239	9560	50%
	12 W	12	7	14	0	21	252	50%
	15 W	5	6	0	1	7	35	50%

3.2.5 Carga térmica por equipo

Los equipos y artefactos que aportan a la carga interna corresponden a los detallados en la *Tabla 5*, además de especificar el funcionamiento de cada uno durante un día (10 horas).

Tabla 5: Carga térmica por artefacto y su % de Func/día

Fuente: Elaboración propia.

Artefacto	Carga Térmica [kW]	Funcionamiento durante un día
Horno Eléctrico	0,4	100%
Secador de mano	0,18	20%
Notebook	0,2	60%
Proyector	0,5	80%
T. V	0,3	60%
Microondas	0,16	40%
Hervidor	0,25	30%
Fotocopiadora	0,5	50%
Impresora	0,09	30%

3.2.6 Carga por ocupantes

La *Tabla 6* contiene los valores de calor sensible y latente por persona, dependiendo según la actividad que realice este en el edificio.

Tabla 6: Calor sensible y latente por ocupantes según su actividad.

Fuente: Calefacción ventilación y aire acondicionado: análisis y diseño. Faye C. Mc Quiston

Actividad	$\dot{Q}_{\text{sensible}}$ [W]	\dot{Q}_{latente} [W]
Sentado haciendo trabajo ligero	72	45
Realizando trabajo moderado de oficina	73	59
Ejecutando trabajo sentado	81	81

3.2.7 Temperatura y humedad de diseño

3.2.7.1 Condiciones al interior del edificio

La temperatura de confort es una temperatura necesaria por razones biológicas y no es materia de discusión. Mediciones minuciosas la han determinado en 20°C suponiendo humedad media (50-60%) y movimiento de aire inferior a 1m/s.¹⁴

Tabla 7: Condiciones interiores de diseño.

Fuente: Datos descargados de meteored.cl y woespana.es.

Temperatura de diseño (°C)	Humedad Relativa (%)
19	60

3.2.7.2 Condiciones al exterior del edificio

Se recogen datos históricos a través de la plataforma web de meteorología¹⁵ de la estación meteorológica “Aeropuerto Carriel Sur (SCIE)” para obtener la humedad y temperatura de diseño de la zona en estudio, obteniendo un promedio de los meses más fríos (junio, julio y agosto).

Tabla 8: Condiciones al exterior del Laboratorio de Ingeniería.

Fuente: Datos históricos estación meteorológica “Aeropuerto Carriel Sur (SCIE)”.

Mes	Junio	Julio	Agosto	Promedio
Temperatura promedio (°C)	8,2	7,3	6,4	7,3
Humedad promedio (%)	88%	85%	83%	86%

3.2.8 Caudal de aire de ventilación

3.2.8.1 Condiciones de área de infiltración

- Puertas: Se considera un 7% del área total de cada puerta es área de infiltración.
- Ventanas: Se considera un 8% del área total de cada ventana es área de infiltración.

3.2.8.2 Condiciones de uso

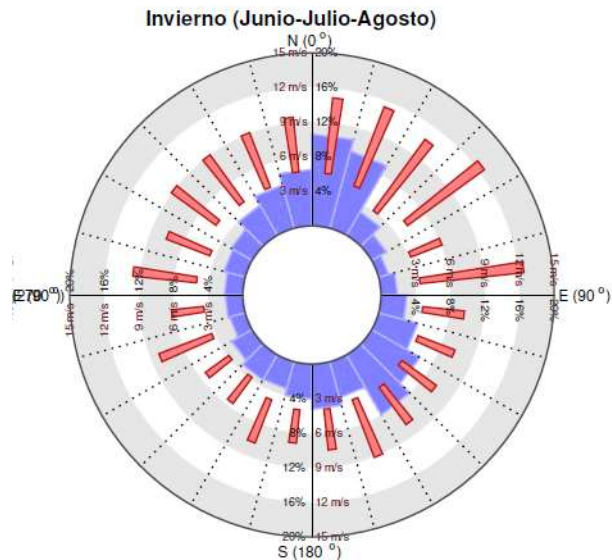
- Puertas: Se considera que las puertas se abren por un periodo de 90 minutos, siendo este un 15% con respecto a un día.
- Ventanas: Se considera que las ventanas se abren por un periodo de 30 minutos, siendo este un 5% con respecto a un día.

¹⁴ Temperatura de confort. Revista Bit N°27, (Rodríguez, 2002)

¹⁵ https://www.meteored.cl/tiempo-en_Concepcion-America+Sur-Chile-Biobio-SCIE-sactual-18576.html

3.2.8.3 Velocidad del viento

Por medio del informe eólico generado por el sitio web del Ministerio de Energía de Chile en conjunto con la Universidad de Chile¹⁶, se obtienen por medio de la rosa de los vientos las velocidades en cada dirección de los meses más fríos (*Figura 4*). La *Tabla 9* muestra el promedio de la velocidad del viento según su dirección.



Fuente: Evaluación de recursos eólicos. Facultad de ciencias físicas y matemáticas, Universidad de Chile.

Figura 4: Rosa de los vientos para la ciudad de Concepción en meses más fríos.

Tabla 9: Promedio de velocidad del viento por dirección, según rosa de los vientos.

Fuente: Elaboración propia.

Velocidad del viento según dirección (m/s)			
Norte	Este	Sur	Oeste
10,25	10	7,25	7,75

3.2.9 Análisis software Revit 2017

Se crea el modelo energético en base de los elementos constructivos del edificio en el software Revit 2017, especificando las características físicas (transmitancia térmica, conductividad y resistencia térmica). Además, se deben realizar configuraciones básicas como:

- Ubicación: Señalar las coordenadas geográficas en donde está emplazado el edificio junto a la estación meteorológica más cercana al proyecto.
- Tipo de edificación: El tipo de ocupación que tendrá dicho proyecto.
- Plano de suelo: Para ejecutar el modelo energético se necesita el valor que indica el nivel a ras de tierra.

¹⁶ <https://walker.dgf.uchile.cl/Explorador/Eolico2/>

4. RESULTADOS

4.1 Balance térmico

4.1.1 Cargas térmicas solares (\dot{Q}_s)

4.1.1.1 Cargas térmicas solares directas (\dot{Q}_{sr})

- La carga solar promedio es señalada en la *Tabla 1*.
- El coeficiente de ganancia solar para las puertas es de 0.86 que corresponde a ventanas con vidrio simple claro, en cambio para las ventanas son vidrios de doble alta tecnología Low E con un valor de 0.48.
- La superficie de cristal expuesta a la radiación solar se muestra en la *Tabla 10*.

Tabla 10: Superficie de cristal expuesta a radiación solar.

	Norte	Este	Sur	Oeste
Ventanas (m ²)	125,87	44,21	0	8,74
Puertas (m ²)	3,57	6,37	2,45	2,43

La carga solar directa se calcula mediante la *Ecuación 2*, reemplazando los distintos términos de esta, se obtienen las cargas térmicas solares directas resumidas en la *Tabla 11*.

Tabla 11: Cargas solares directas del edificio.

	Norte	Este	Sur	Oeste	\dot{Q}_{sr} (kW)
Ventanas (kW)	6,67	1,01	0	0,20	7,87
Puertas (kW)	0,34	0,26	0	0,06	0,66
Total					8,54

4.1.1.2 Cargas térmicas solares indirectas (\dot{Q}_{srt})

- Absortancia se muestra en la *Tabla 2*, considerando un factor para el hormigón un 65% y para la cubierta 84%.
- Resistencia a la película de aire exterior se considera $R_{so}=0.05$.
- La carga solar promedio es señalada en la *Tabla 1*.
- La transmitancia térmica de elementos junto a la superficie de estos, queda resumido en la *Tabla 12*.

Tabla 12: Tabla resumen de transmitancia y superficies según orientación y tipo.

Elemento	U [W/m ² K]	Superficies (m ²)			
		Norte	Este	Sur	Oeste
Muro H.A	0,85	288,35	217,78	62,50	70,16
Cubierta	0,35	566,37			

La carga solar indirecta se calcula mediante la *Ecuación 3*, reemplazando los distintos términos de esta, se obtienen las cargas térmicas solares indirectas resumidas en la *Tabla 13*.

Tabla 13: Cargas solares indirectas del edificio.

Elemento	Radiación Solar Indirecta (kW)				Q _{srt} (kW)
	Norte	Este	Sur	Oeste	
Muro H.A	1,51	1,14	0,33	0,37	3,34
Cubierta	1,56				1,56
Total					4,90

4.1.2 Cargas térmicas internas (Q_i)

4.1.2.1 Cargas internas de iluminación (Q_{ii})

4.1.2.1.1 Cargas internas de iluminación de descarga (Q_{iid})

El edificio no cuenta con lámparas de descarga, por lo cual el aporte térmico de estos es nulo.

4.1.2.1.2 Cargas internas de iluminación de incandescente (Q_{iii})

La *Tabla 4* resume la cantidad de lámparas presentes según su grupo y potencia. Se considera que las lámparas están encendidas en un 50% del tiempo.

De la *Ecuación 4* y según la *Tabla 4*, la carga por lámparas incandescentes se resume en la *Tabla 14*.

Tabla 14: Cargas internas de iluminación del edificio.

Tipo	Artefacto	Potencia [W]	Nivel			Total	Potencia Total [W]	Fun/ Día	Q _{iii} [kW]
			1er	2do	3er				
Incandescentes	12 W/LED	12	12	4	4	20	240	50%	0,12
	21 W/LED	21	42	13	12	67	1407	50%	0,70
	36 W/LED	36	4	1	1	6	216	50%	0,11
	40 W/LED	40	78	80	81	239	9560	50%	4,78
	12 W	12	7	14	0	21	252	50%	0,13
	15 W	5	6	0	1	7	35	50%	0,02
Total								5,86	

4.1.2.2 Cargas internas por ocupante (\dot{Q}_{ip})

La *Tabla 15* representa la capacidad de personas dentro del edificio en un 100%. Por efectos de cálculo, se considera que el edificio está en un 60% de su capacidad, debido a que este no siempre estará en su máxima capacidad.

Tabla 15: Capacidad de ocupantes dentro del recinto.

Nivel	Recintos	Carga Ocupación
1°	Oficinas	7
	Laboratorio	-
	Geotecnia	14
	Cámara húmeda	1
	Pañol	1
	Sala corte	3
	Talleres	7
	Auditorio	52
	Secretaría	3
	Sala de estudio	21
	Vestidores	3
	Salas auxiliares	1
Bodega topografía	1	
Total 1° Nivel		114
2°	Oficinas	22
	Sala 1	10
	Sala 2	20
	Sala 3	13
	Comedor	12
Total 2° Nivel		77
3°	Oficinas	22
	Área Cowork	20
	Sala Posgrado 1	13
	Sala Posgrado 2	17
Total 3° Nivel		72

4.1.2.2.1 Carga interna sensible por ocupante (\dot{Q}_{ips}) y carga interna latente por ocupante (\dot{Q}_{ipl})

Considerando la actividad de los ocupantes (*Tabla 6*) y la *Ecuación 7* junto con la *Ecuación 8* se obtiene:

Tabla 16: Carga interna por ocupantes del edificio.

	\dot{Q}_{ip} [W]	\dot{Q}_{ip} [kW]
\dot{Q}_{ip} , sensible	11768,40	11,77
\dot{Q}_{ip} , latente	10118,55	10,12
Total		21,89

4.1.2.3 Cargas internas por equipo (\dot{Q}_{ie})

La *Tabla 5* muestra la potencia residual de cada equipo junto al funcionamiento durante un día de estos, los cuales se deben multiplicar por la cantidad de artefactos presentes en el edificio, tal como queda definido en la *Ecuación 8*.

Tabla 17: Carga interna por artefacto del edificio.

Artefacto	Cantidad por Nivel			Total	Carga Térmica [kW]	Fun/ Día	\dot{Q}_{ie} [kW]
	1er Piso	2do Piso	3er Piso				
Horno Eléctrico	3	0	0	3	0,4	100%	1,20
Secador de mano	5	4	4	13	0,18	20%	0,47
Notebook	55	31	32	118	0,2	60%	14,16
Proyector	1	0	0	1	0,5	80%	0,40
T.V	0	2	0	2	0,3	60%	0,36
Microondas	1	2	1	4	0,16	40%	0,26
Hervidor	1	1	1	3	0,25	30%	0,23
Fotocopiadora	1	1	1	3	0,5	50%	0,75
Impresora	1	1	1	3	0,09	30%	0,08
						Total	17,90

4.1.3 Cargas térmicas de los elementos de la envolvente (\dot{Q}_e)

- La carga térmica de los elementos de la envolvente está definida por la *Ecuación 9*.
- Se considera la temperatura de diseño interior y exterior, indicadas en el apartado 3.2.7 Temperatura y humedad de diseño (*Tabla 7* y *Tabla 8*).

En la *Tabla 18* se detallan las superficies de cada elemento junto su transmitancia térmica, así también el resultado final de la carga asociado a estos.

Tabla 18: Cargas por envolvente del edificio.

Elementos de la envolvente	Área [m ²]	Transmitancia Térmica U [W/m ² K]	Q _c [kW]
Ventanas termopanel	215,351	2,028	-10,300
Puertas de aluminio	26,234	5,531	-1,737
Puertas terciado de madera	6,709	2,072	-0,473
Muro H.A	146,804	2,290	-3,935
Muro H.A EIFS	638,790	0,849	-6,350
Tabique ciego TC3	50,292	0,796	-0,469
Tabique ciego TC5	109,514	0,472	-0,605
Techumbre	604,781	0,346	-3,835
Radier Hormigón	604,781	3,416	-12,397
Total			-40,101

4.1.4 Cargas térmicas por ventilación (Q_v)

4.1.4.1 Carga térmica sensible por ventilación (Q_{vs})

Según la Ecuación 10, se realiza el cálculo de las cargas sensibles por ventilación, considerando el área de infiltración descrita en el ítem 3.2.8.1.

La Tabla 19 resume el área de infiltración por orientación de cada elemento.

Tabla 19: Área de infiltración de puertas y ventanas.

Elemento	Área Total de Infiltración por Orientación [m ²]			
	Norte	Este	Sur	Oeste
Ventanas	10,069	3,537	0	0,699
Puertas	0,250	0,446	0,171	0,170

Los valores de la velocidad del viento por orientación están definidos en la Tabla 9, estos se utilizan para calcular el caudal de aire infiltrado en el edificio (Tabla 20).

Tabla 20: Caudal de aire infiltrado por orientación.

Elemento	Caudal de aire infiltrado [m ³ /s]			
	Norte	Este	Sur	Oeste
Ventanas	103,209	35,365	0	5,420
Puertas	2,564	4,460	1,243	1,316

Finalmente, teniendo en cuenta las condiciones descritas en el ítem 3.2.8.2, la carga sensible de ventilación queda resumida en la Tabla 21.

Tabla 21: Carga sensible de ventilación del edificio.

Elemento	Carga Sensible de Ventilación [kW]				Q _{vs} [kW]
	Norte	Este	Sur	Oeste	
Ventanas	-72,147	-24,721	0,000	-3,789	-100,657
Puertas	-5,378	-9,352	-2,607	-2,760	-20,097
Total					-120,754

4.1.4.2 Carga térmica latente por ventilación (\dot{Q}_{vl})

El cálculo de la carga latente por ventilación se realiza según lo descrito en la *Ecuación 11*, según las consideraciones de humedad descritas en el ítem 3.2.7.

En la *Tabla 22* se muestra el resultado de la carga de ventilación latente.

Tabla 22: Carga latente de ventilación del edificio.

	Volumen [m ³]	R.A.H.	ΔW	\dot{Q}_{vl} [kW]
Laboratorio	14649,352	6	-26%	-5,299
			Total	-5,299

4.2 Balance térmico total

En la *Tabla 23* se presenta el resumen de todas las ganancias y pérdidas de calor que existen en el edificio.

Tabla 23: Balance térmico total del edificio.

Tipo de carga		Balance total [kW]
Cargas solares (\dot{Q}_s)	Directa (\dot{Q}_{sr})	8,54
	Indirecta (\dot{Q}_{srt})	4,9
Cargas internas (\dot{Q}_i)	Iluminación de descarga (\dot{Q}_{iid})	0
	Iluminación incandescente (\dot{Q}_{iii})	5,86
	Sensible por ocupantes (\dot{Q}_{ips})	11,77
	Latente por ocupantes (\dot{Q}_{ipl})	10,12
	Equipo (\dot{Q}_{ie})	17,9
Carga por envolvente (\dot{Q}_c)	Muros	-11,359
	Ventanas	-10,3
	Puertas	-2,21
	Techumbre	-3,835
	Radier hormigón	-12,397
Carga por ventilación (\dot{Q}_v)	Ventilación sensible (\dot{Q}_{vs})	-120,754
	Ventilación latente (\dot{Q}_{vl})	-5,299
	Balance térmico (\dot{Q}_t)	-107,064

4.3 Modelo energético Laboratorio de Ingeniería, Revit 2017

El software Revit 2017 realiza el modelo energético del edificio. Para esto, se ingresan las propiedades térmicas de los elementos de construcción; luego se establecen coordenadas geográficas y el tipo de edificio, entregando un reporte del modelo. Este entrega información sobre: factores de rendimiento de construcción, intensidad de uso de energía, costo/uso de energía de ciclo de vida, potencial de energía renovable, cargas de calefacción mensual, carga de refrigeración mensual, etc.

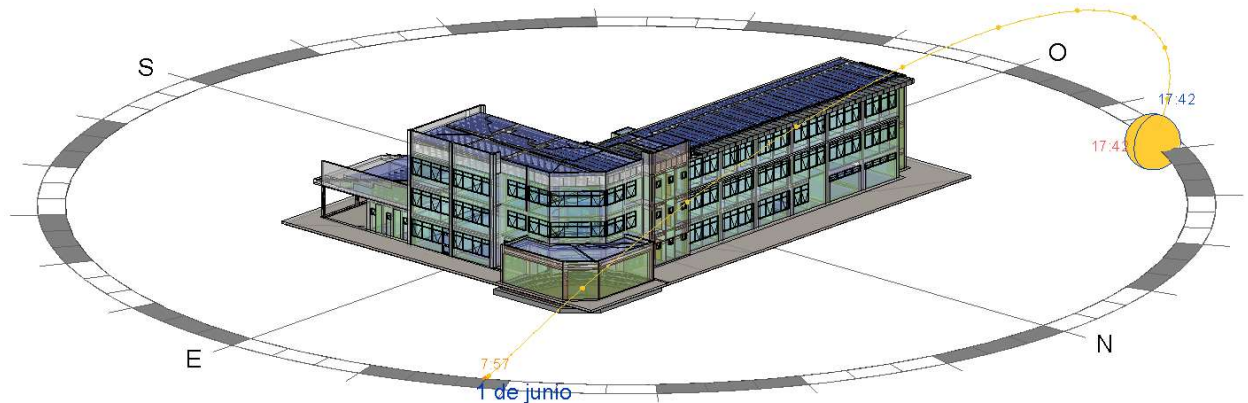


Figura 5: Moldeo energético del Laboratorio de Ingeniería.

Fuente: Informe energético del software Revit 2007.

En la Figura 6, se muestran los resultados gráficos de energía de calefacción obtenidos en la simulación energética del edificio, obteniendo información con respecto a las pérdidas y ganancias de energía de este.

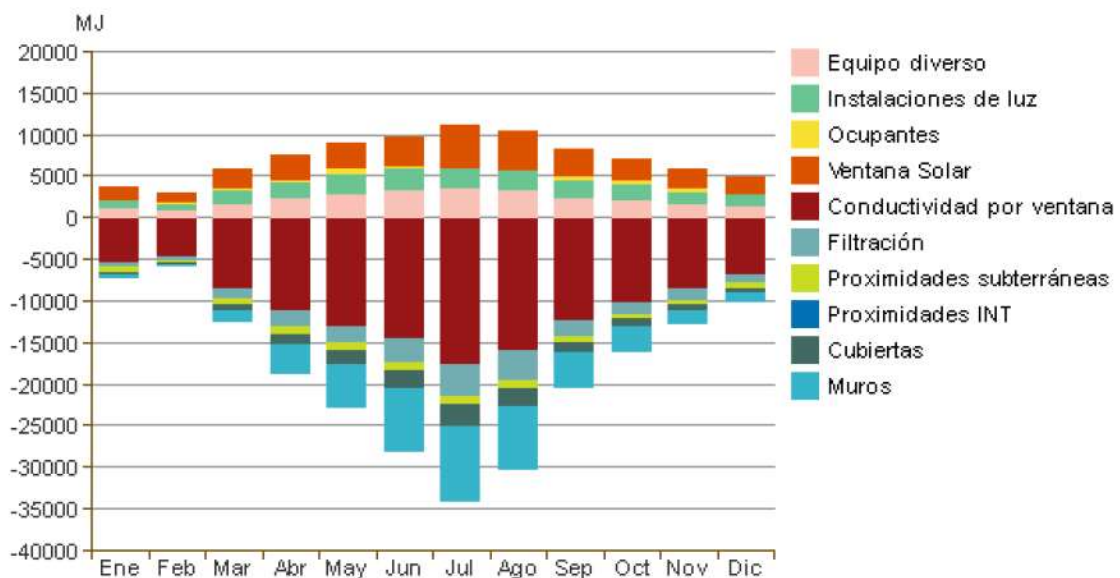


Figura 6: Energía de calefacción mensual del Laboratorio de Ingeniería.

Fuente: Informe energético del software Revit 2007.

Se infiere que, para los meses de junio, julio y agosto, las mayores pérdidas se producen debido a las filtraciones, cubiertas, muros y conductividad de las ventanas, siendo estos dos últimos los que generan mayor pérdida energética.

5. PROPUESTAS DE SOLUCIONES

5.1 Ventilación mecanizada con intercambiador de calor

Se denomina ventilación mecanizada a la renovación del aire del interior de una edificación mediante extracción o inyección de aire, el cual se produce por el funcionamiento de equipos electromecánicos dispuestos para efectuar la extracción.

Se utilizará la tasa de aire exterior mínimo por persona establecido en el RITE¹⁷ para determinar el equipo adecuado para la ventilación del edificio.

Fuente: RITE.

Tabla 24: Tasa de aire exterior mínimo por persona.

Categoría	Caudal de aire exterior por persona (L/s)	
	Rango	Valores por defecto
IDA 1	> 15	20
IDA 2	10 - 15	12.5
IDA 3	6 - 10	8
IDA 4	< 6	5

Donde:

- IDA 1: Calidad alta.
- IDA 2: Calidad media.
- IDA 3: Calidad moderada.
- IDA 4: Calidad baja.

Considerando que el edificio se encuentra a 60% de su capacidad, lo que corresponde a 158 personas dentro de la edificación y una calidad del aire media, cuyo valor del caudal mínimo de ventilación es de 12.5 L/s, el recuperador de calor, modelo RECUP-30-H-C-G4 marca Anwo, es capaz de entregar 875 L/s. La *Tabla 25* detalla el precio asociado a la solución¹⁸.



Figura 7: Recuperador de calor, instalación horizontal.

Fuente: Recuperadores de calor configurables, con placas de flujo cruzado para instalación horizontal, ANWO.

¹⁷ Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios, España.

¹⁸ ANWO, especialistas en climatización, Chile.

*Tabla 25: Solución recuperador de calor ANWO*

Solución	Unidad	Precio Unitario	Cantidad (Un)	Precio Total
RECUP-30-H-C-G4	Un	\$2.795.000	3	\$8.385.000

Al implementar esta solución se obtiene una reducción en las cargas de ventilación de un 71%, logrando una reducción considerable (cotización en Anexo 1). La *Tabla 26* muestra los valores de reducción al implementar la propuesta.

Tabla 26: Disminución de requerimientos energéticos asociado a solución ventilación.

Tipo de carga	Estado Actual [kW]	Solución Ventilación [kW]
Cargas solares (\dot{Q}_s)	13,44	13,44
Cargas internas (\dot{Q}_i)	45,65	45,65
Carga por envolvente (\dot{Q}_c)	-40,101	-40,101
Carga por ventilación (\dot{Q}_v)	-126,053	-89,354
Total	-107,064	-70,365
Porcentaje [%]	100%	71%
Demanda calefacción [W/m^2]	-22,37	-14,7

6. CONCLUSIONES

La construcción ha avanzado considerablemente en el enfoque térmico en los últimos años en nuestro país, implementando la norma chilena NCh853 Of.2007, con el fin de calcular las transmitancias térmicas para los diferentes elementos que componen la envolvente del edificio.

Actualmente, de acuerdo al análisis del balance térmico del edificio, se obtiene una potencia total de -107.064 kW, donde las pérdidas por ventilación corresponden a un 74% y un 26% a la envolvente, mientras la ganancia energética se genera por cargas internas y solares, pero sin lograr el confort térmico deseado en la edificación.

La modelación del edificio en Revit 2017 entregó el informe energético y junto con ello el gráfico de carga de calefacción mensual, tal como muestra la *Figura 6*. Las mayores pérdidas se dan por conductividad de las ventanas y muros que conforman la envolvente. Resultados similares obtenidos analíticamente.

Es por ello, teniendo claridad del tipo de carga que aporta mayor pérdida, se busca la solución más adecuada, con el fin de disminuir las pérdidas de ventilación y por envolvente, mejorando las condiciones térmicas del laboratorio.

Finalmente, para evitar la ventilación manual del recinto, se busca disminuir las pérdidas mediante el sistema de ventilación mecanizada, implementando 3 intercambiadores de calor dentro del recinto, obteniendo una disminución de un 29% en cargas de ventilación. De acuerdo a lo señalado anteriormente, implementar el sistema de ventilación posee un costo monetario de \$8.852.375, y así disminuir la demanda de calefacción de 22.37 W/m² a 14.7 W/m².

El valor de la demanda de calefacción, para el laboratorio de ingeniería, depende de la temperatura mínima exterior de diseño con cual se realiza el modelo analítico (7.3°C). Es por ello, a modo de comparación, se utilizó la temperatura de diseño de la facultad de ingeniería, correspondiente los meses más fríos del año 2017 equivalente a 5°C¹⁹, obteniendo 28.1 W/m² de demanda de calefacción. Base a esto, sería recomendable realizar un análisis de temperatura de acuerdo a los últimos 5 años de los meses más fríos, con el fin de que la variación de temperatura sea lo más representativa posible.

¹⁹ Muñoz, G. (enero de 2017). Cálculo de la envolvente térmica del edificio de la facultad de ingeniería de la Universidad Católica de la Santísima Concepción.

7. BIBLIOGRAFÍA

Bustamante, W. (abril de 2009). Guía de diseño para la eficiencia energética en la vivienda social. (M. d. (CNE), Ed.) Santiago, Chile.

Instituto Nacional de Normalización (Chile). NCh 853. Of 91 y 2007: *Acondicionamiento térmico – Envoltura térmica de edificios - Cálculo de resistencias y transmitancia térmicas.*

Gobierno de Chile, MINVU. Manual de aplicación de la reglamentación térmica, Ordenanza general de urbanismo y construcciones artículo 4.1.10 of. 2013.

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

Czajkowski, J. D. (s.f.). Sistema de climatización. Balance térmico de verano. *Instalaciones*. Argentina. Díaz, V. S. (2005). *Acondicionamiento Térmico de Edificios*. Buenos Aires: Nobuko.

R.I.T.E. y del manual Aislación Térmica Exterior - Manual de diseño para soluciones en edificaciones.

MINVU. El listado oficial de soluciones constructivas para acondicionamiento térmico, Edición N°11, marzo 2014.

Rodríguez, G. (septiembre de 2002). Temperatura de confort. *Revista Bit N°27*.

Manual de acondicionamiento térmico, CDT la cámara chilena de la construcción.

Muñoz, G. (enero de 2017). Cálculo de la envolvente térmica del edificio de la facultad de ingeniería de la Universidad Católica de la Santísima Concepción.

8. ANEXOS

Nombre Convertidor de calor ANWO - RECUP-30-H-C-G4
 Unidad \$/Un
 Fecha 06/12/2019

1.- MATERIALES	UNIDAD	RENDIMIENTO	UNIDAD	CONJUNTO	UNIDAD P. UNITARIO	UNIDAD	SUB TOTAL	UNIDAD	TOTAL
Convertidor de calor RECUP-30-H-C-G4	Un	1	Un/Un		\$ 2.795.000	\$/Un	\$ 2.795.000	\$/Un	
					Perdida de material (5%)		\$ 139.750		\$ 2.934.750
2.- EQUIPOS MAQUINARIAS									
					Mano de obra (10%)		\$ 1.458	\$/Un	\$ 1.458
3.- MANO DE OBRA									
maestro 1	dia	3	Un/dia	3	Un/dia	\$ 20.000	\$/dia	\$ 6.666,67	\$/Un
ayudante 1	dia	3	Un/dia	3	Un/dia	\$ 15.000	\$/dia	\$ 5.000,00	\$/Un
Leyes Sociales (25%)							\$ 2.917		\$ 14.583
							Valor Total de la Partida		\$ 2.950.792
							Valor Total con IVA		\$ 3.511.442

Figura Anexo 1: Análisis de precio unitario solución ventilación mecanizada