



EVALUACIÓN ENERGÉTICA AL EDIFICIO MUNICIPAL DE LA COMUNA DE TUCAPEL Y PROPUESTA DE SOLUCIONES

C. Lara Mora¹, C. Molina Venegas², C. Correa Rogel³

RESUMEN

En Chile, cerca del 25% de la energía generada se utiliza en el sector residencial, siendo aproximadamente un 56% de esta utilizada en calefacción de viviendas⁴, por lo que acondicionar térmicamente las viviendas se ha transformado en uno de los principales objetivos, ya que, permite alcanzar adecuados niveles de confort térmico, bajo un menor gasto de energía. Además, es necesario comprender que el uso eficiente de la energía en una edificación, es más conveniente si se considera desde el inicio, con el fin de evitar un aumento de costos en futuras modificaciones constructivas.

Ante este escenario, surge la necesidad de evaluar la demanda energética del nuevo edificio consistorial de la Municipalidad de Tucapel, con el fin de verificar si cuenta con las medidas de eficiencia energética o térmica, necesarias para satisfacer un adecuado nivel de confort. De lo contrario, evaluar soluciones constructivas, que le permitan alcanzar este objetivo. Dicho análisis, se realiza de manera teórica, por medio de un balance térmico de las cargas internas y externas presentes durante su funcionamiento.

De los cálculos realizados, se tiene que las mayores pérdidas de energía del proyecto, se deben principalmente a las cargas en la envolvente del edificio (13%) y en un mayor porcentaje, a las cargas que se generan por ventilación (87%), para las cuales se proponen soluciones constructivas que mejoren su aislamiento térmico, con el fin de lograr determinar la más conveniente.

De las posibles soluciones analizadas, la más eficiente que cumple con la reducción del 50% de las pérdidas de energía, bajo el menor costo posible de implementación, es la remodelación del acceso Oeste, correspondiente a una ampliación de la puerta mampara principal hacia el exterior. Esta modificación, permite una reducción del consumo energético de $-24,8 \text{ [W/m}^2\text{]}$ a $-12,5 \text{ [W/m}^2\text{]}$,

¹ Estudiante, Carrera Ingeniería Civil, UCSC, Chile, clara@ing.ucsc.cl

² Profesor Guía, Departamento de Ingeniería Civil, UCSC, Chile, christian.molina@ucsc.cl

³ Profesor Informante, Departamento de Ingeniería Civil, UCSC, Chile, claudiocorrea@ucsc.cl

⁴ MINENERGÍA, CDT, (2010). *Estudio de usos finales y curvas de oferta de conservación de la energía en el sector residencial de Chile.*



disminuyendo aproximadamente en un 50% las pérdidas de energía, con un costo asociado de \$229.500, que corresponde a tan solo un 0,005% de aumento en el costo directo de la obra.

PALABRAS CLAVES: Confort térmico; Eficiencia energética; Consumo energético.

ABSTRACT

In Chile, about 25% of the energy generated is used in the residential sector, with approximately 56% of this being used for heating homes, so thermally conditioning homes has become one of the main objectives, since it allows reaching adequate levels of thermal comfort, with lower energy expenditure. In addition, it is necessary to understand that the efficient use of energy in a building is more convenient if it is considered from the beginning, in order to avoid an increase in costs in future construction modifications.

Given this scenario, the need arises to evaluate the energy demand of the new town hall building of the Municipality of Tucapel, in order to verify if it has the energy or thermal efficiency measures necessary to satisfy an adequate level of comfort. Otherwise, evaluate constructive solutions that allow you to achieve this goal. Said analysis is carried out theoretically, by means of a thermal balance of the internal and external loads present during its operation.

From the calculations made, it is found that the greatest energy losses in the project are mainly due to the loads on the building envelope (13%) and, in a higher percentage, to the loads generated by ventilation (87%), for which constructive solutions are proposed that improve their thermal insulation, in order to determine the most convenient.

Of the possible solutions analyzed, the most efficient that meets the 50% reduction in energy losses, at the lowest possible implementation cost, is the remodeling of the West access, corresponding to an extension of the main partition door to the outside. This modification allows a reduction in energy consumption from $-24,8$ [W/m²] to $-12,5$ [W/m²], reducing energy losses by approximately 50%, with an associated cost of \$229.500, which corresponds to only one 0.005% increase in the direct cost of the work.

KEY WORDS: Thermal comfort; energy efficient; Energy consumption.



1. INTRODUCCIÓN

Hoy en día, en el área de la construcción, se ha hecho cada vez más importante el implementar un adecuado acondicionamiento térmico en los proyectos, ya que, además de garantizar óptimas condiciones de confort interior para sus usuarios, también permite lograr una reducción considerable del consumo energético generado durante su funcionamiento. A este tipo de construcciones, se les conoce como edificaciones o viviendas sustentables, las cuales por sí solas o por medio de energías renovables, logran adquirir las condiciones necesarias para otorgar un adecuado confort térmico al menor costo energético posible.

Si bien, para lograr dicho objetivo en países desarrollados, se han aplicado normas térmicas desde hace bastante tiempo, en Chile comienza a tener mayor importancia a partir del año 2000 aproximadamente, con la incorporación del reglamento térmico establecido por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU).

El presente proyecto, tiene como objetivo principal, reducir en un 50% las mayores pérdidas de energías del nuevo edificio municipal de la comuna de Tucapel, que se encuentra actualmente en etapa de construcción. Esto se pretende lograr, mediante la realización de un balance térmico, que determinará las cargas internas y externas que se producen en el recinto, y en base a estas, proponer posibles soluciones constructivas de aislación térmica, para así, garantizar que el edificio alcance un alto nivel de eficiencia, durante los meses más fríos del año (junio, julio y agosto), al reducir el consumo de la energía necesaria para su funcionamiento.

Los cálculos se realizarán de manera teórica, utilizando diferentes fórmulas empíricas, por medio del programa office Excel.

2. METODOLOGÍA

2.1 ANTECEDENTES

Para el desarrollo del estudio se necesitó recopilar diferentes documentos y antecedentes generales que permitieran modelar el proyecto, la cual fue proporcionada por la Ilustre Municipalidad de Tucapel. Entre la información otorgada, se consideró principalmente:

- Emplazamiento del proyecto del edificio (ubicación exacta).
- Climatología del sector en estudio (condiciones exteriores y climatológicas).
- Condiciones interiores del proyecto (dependiendo del uso del local).
- Planos arquitectónicos de la obra.
- EETT y presupuesto del proyecto.
- Número aproximado de usuarios diarios del edificio.
- Artefactos que se utilizarán durante su funcionamiento.
- Tipo y potencia de la iluminación.

Cabe destacar, que no fue posible obtener en su totalidad la información necesaria para el desarrollo del balance térmico, dado que aún el proyecto se encuentra etapa de construcción, por lo que algunos de los datos utilizados en el análisis son valores estimativos.

2.2 AREA DE ESTUDIO

El proyecto corresponde a un edificio de 3 niveles, con una superficie total de construcción de 3.161m² aproximadamente, este se encuentra en un terreno esquina, con dirección en calle Diego Portales N°258, ciudad Huépil, comuna Tucapel, región del Biobío, Chile, ubicado al lado Este de la plaza de armas, como se muestra en Figura 1, cuyas coordenadas son 37°14'25" S, 71°56'24" W.



Figura 1: Emplazamiento del proyecto en la ciudad de Huépil, comuna Tucapel, Biobío.
Fuente: Google Earth Pro.



La edificación está compuesta por muros exteriores de hormigón armado, revestidos por un aislante térmico del tipo poliestireno de alta densidad. Tanto los muros como pilares perimetrales de los niveles superiores cuentan con una fachada ventilada, de paneles modulares fenólicos de 8mm de espesor, montados sobre una estructura de perfiles de aluminio. Los paños vidriados son del tipo Termopanel de cristales simples. Además, en las fachadas norte, oriente y poniente, posee quiebravistas del tipo Aerobrisc 100, de Hunter Douglas. Su construcción tiene un costo total de obra de \$4.898.481.500. En la Figura 2, se puede apreciar la ubicación y las características antes mencionadas del proyecto.

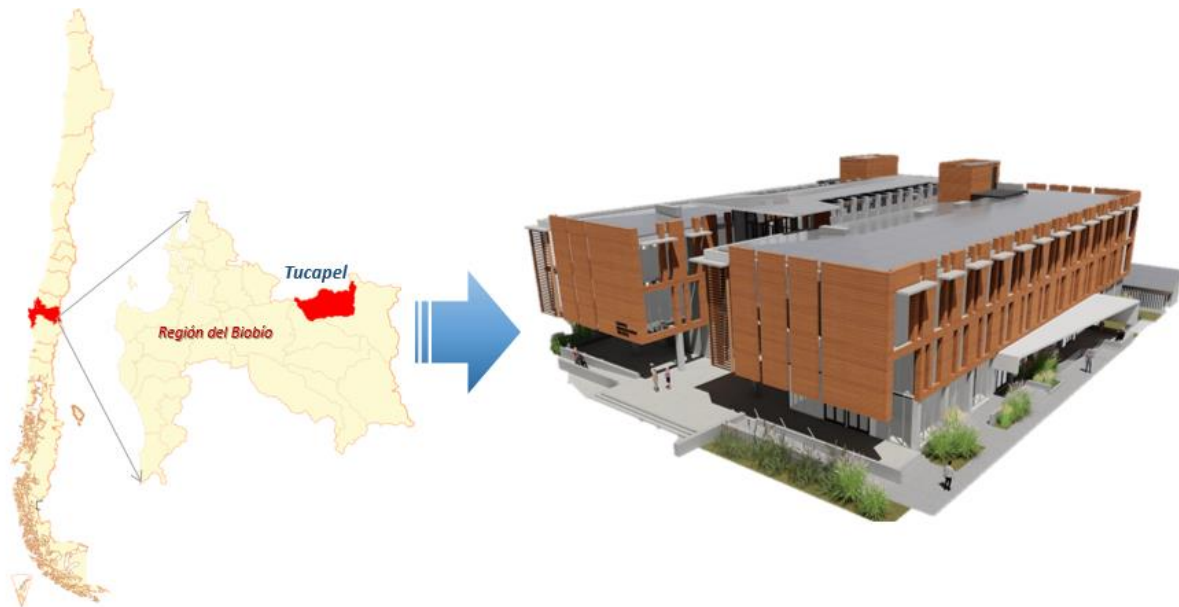


Figura 2: Ubicación y detalle del proyecto del edificio consistorial de la comuna Tucapel.
Fuente: Elaboración propia.

2.3 BALANCE TÉRMICO

Para establecer las condiciones térmicas del edificio, se debe realizar un balance entre las pérdidas y ganancias de calor que este presenta durante su funcionamiento, el cual depende de las condiciones exteriores e interiores del recinto en un determinado periodo. En la siguiente ecuación, se detallarán todos los cálculos y variables consideradas para la obtención del balance térmico total⁵.

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



Donde:

- \dot{Q}_{total} : Balance térmico total [W].
- $\dot{Q}_{sensible}$: Carga sensible total [W].
- $\dot{Q}_{latente}$: Carga latente total [W].
- \dot{Q}_s : Ganancias por carga solar [W].
- \dot{Q}_i : Ganancia por cargas internas [W].
- \dot{Q}_c : Pérdidas por elementos de la envolvente [W].
- \dot{Q}_v : Pérdidas por ventilación [W].

2.3.1 Cargas Sensibles, $\dot{Q}_{sensible}$ ⁵

Para determinar las cargas sensibles se calculan las variables expresadas en la siguiente ecuación:

$$\dot{Q}_{sensible} = \dot{Q}_{sr} + \dot{Q}_{srt} + \dot{Q}_c + \dot{Q}_{iii} + \dot{Q}_{iid} + \dot{Q}_{ips} + \dot{Q}_{ie} + \dot{Q}_{vs} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

- \dot{Q}_{sr} y \dot{Q}_{srt} : Cargas solares [W].
- \dot{Q}_c : Cargas de elementos de la envolvente [W].
- \dot{Q}_{iii} y \dot{Q}_{iid} : Cargas internas de iluminación [W].
- \dot{Q}_{ips} : Cargas internas sensibles por ocupante [W].
- \dot{Q}_{ie} : Cargas internas por artefacto [W].
- \dot{Q}_{vs} : Cargas sensibles de ventilación [W].

I. Ganancia por carga solar, \dot{Q}_s

a) Carga solar directa, \dot{Q}_{sr}

Esta carga corresponde a la radiación que atraviesa las superficies traslucidas (vidrio) del recinto, aportando calor en su interior. Se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\dot{Q}_{sr} = S * R * \theta \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

- S: Superficie traslucida (vidrio) expuesta a la radiación [m²].
- R: Factor de radiación solar que atraviesa la superficie traslucida⁶ [W/m²].
- θ : Coeficiente de ganancia solar, el cual depende del tipo de vidrio⁷.

⁵ D. & B, (2005). *Acondicionamiento Térmico de Edificios*, Buenos Aires.

⁶ <https://solar.minenergia.cl/exploracion>

⁷ <https://www.fau.ucv.ve/idec/racionalidad/Paginas/Manualventanas.html>



b) Carga solar indirecta, \dot{Q}_{srt}

Esta carga corresponde a la radiación absorbida por los elementos opacos del recinto, es decir, muros y techos, aportando calor en su interior. Se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\dot{Q}_{srt} = U * S * R * \alpha * R_{so} \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

- U : Transmitancia térmica del material del elemento opaco [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$].
- S : Superficie opaca expuesta a la radiación [m^2].
- R : Radiación solar que atraviesa la superficie opaca [W/m^2].
- α : Coeficiente de absorción⁸.
- R_{so} : Resistencia de la película exterior de aire [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$].

Consideraciones en los cálculos de \dot{Q}_s

- Para determinar la transmitancia térmica de los elementos expuestos a radiación, se tomó como referencia lo entregado en la NCh853⁹ y en el Manual de Acondicionamiento Térmico¹⁰.
- Se considera la misma radiación solar para el cálculo de ambas cargas solares.

II. Cargas de los elementos de la envolvente, \dot{Q}_c

La transmitancia corresponde al flujo de calor que pasa por unidad de superficie de un elemento. Siendo este parámetro fundamental en el cálculo de este balance térmico, pues se busca determinar la pérdida de calor generada por transmisión en cada uno de los elementos de la envolvente (muros, ventanas, techumbre y piso de la estructura). Esta carga se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\dot{Q}_c = U * S * (t_{ext} - t_{int}) \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde:

- U : Transmitancia térmica del elemento [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$].
- S : Superficie expuesta a la diferencia de temperatura [m^2].
- t_{ext} : Temperatura del ambiente al exterior del recinto¹¹ [K].
- t_{int} : Temperatura de diseño, dada por el confort térmico al interior del recinto¹² [K].

⁸ https://www.fau.ucv.ve/idec/racionalidad/pdf/manual_energia.pdf

⁹ CHILE, I. (2007). *NCh 853 Acondicionamiento térmico*.

¹⁰ CCHC, (2015). *Manual de acondicionamiento térmico, criterios de intervención*.

¹¹ <https://www.meteored.cl/tiempo-en-Los+Angeles-America+Sur-Chile-Biobio--sactual-18571.html>

¹² D. & B, (2005). *Acondicionamiento Térmico de Edificios, Buenos Aires*



III. Cargas internas de iluminación, \dot{Q}_{ii}

En las cargas internas producidas por iluminación se consideran dos tipos de lámparas: incandescentes y de descarga. Las cuales se calculan mediante la Ecuación 6 y la Ecuación 7 respectivamente.

- a) Carga interna sensible de iluminación para lámparas incandescentes, \dot{Q}_{iii}

$$\dot{Q}_{iii} = n * P_{lám.incandescentes} \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde:

- n : Número de lámparas de cada tipo.
- $P_{lám.incandescentes}$: Potencia de las lámparas incandescentes [W].

- b) Carga interna sensible de iluminación para lámparas de descarga, \dot{Q}_{iid}

$$\dot{Q}_{iid} = 1,25 * n * P_{lám.descarga} \quad \text{Ecuación 7}$$

Donde:

- n : Número de lámparas de cada tipo por su potencia respectiva.
- $P_{lám.descarga}$: Potencia de las lámparas de descarga¹³ [W].

IV. Cargas internas sensibles por ocupante, \dot{Q}_{ips}

La carga sensible por ocupante, está compuesta por las distintas cargas térmicas que origina una persona¹⁴. Las cuales se detallan a continuación y se pueden visualizar en la Figura 3.

- *Conducción*: Originada por el contacto entre el cuerpo, con los otros elementos que le rodean.
- *Convección*: Pequeñas corrientes de convección que aportan calor al aire, debido a que la piel se encuentra a una mayor temperatura que el aire que la rodea.
- *Radiación*: Se produce ya que la temperatura media del cuerpo, es superior a la de los objetos que la rodean.
- *Respiración*: Producida por el aporte de calor del aire exhalado, ya que éste se encuentra a una mayor temperatura, además se produce un aporte de vapor de agua, que aumentara la humedad relativa del aire.

¹³ DOM. Tucapel. (2017). *Especificaciones técnicas de edificio consistorial*.

¹⁴ D. & B, (2005). *Acondicionamiento Térmico de Edificios, Buenos Aires*.



Figura 3: Cargas térmicas que origina una persona.

Fuente: “Acondicionamiento Térmico de Edificios”, Buenos Aires, Díaz & Barreneche, 2005.

Finalmente, la carga interna sensible por ocupante, está dada por la suma de las cargas originadas por la radiación, convección y conducción que genera cada ocupante del recinto, según la actividad que realice. Se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\dot{Q}_{ips} = n \times C_{sens.persona} \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde:

- n : Número de personas, según actividad que realice.
- $C_{sens.persona}$: Calor emitido por cada ocupante dependiendo de la actividad que realice¹⁵ [W].

V. Cargas internas por artefacto, \dot{Q}_{ie}

Corresponde a la carga térmica aportada por cada maquinaria, equipo o electrodoméstico existente en el recinto. Esta carga sensible total está dada por la siguiente ecuación:

$$\dot{Q}_{ie} = \sum n * C_{artefacto} \quad \text{Ecuación 9}$$

Donde:

- n : Número de artefactos eléctricos que se estima que existan en el edificio¹⁶.
- $C_{artefacto}$: Carga térmica de cada artefacto estudiado¹⁷ [W].

¹⁵ <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn255.html>

¹⁶ DOM. Tucapel. (2017). *Especificaciones técnicas de edificio consistorial*.

¹⁷ http://www.arquinstal.com.ar/2016/n2_08_2016_baltermver.pdf



VI. Cargas sensible de ventilación, \dot{Q}_{vs}

Estas cargas se producen por la infiltración y ventilación de aire exterior al recinto, produciendo en su interior una renovación de aire. Se determina mediante la siguiente ecuación:

$$\dot{Q}_{ips} = C_{e.aire} * V_{infiltración} * \rho * \Delta T \quad \text{Ecuación 10}$$

Donde:

- $C_{e.aire}$: Calor específico del aire¹⁸, correspondiente a 1012 [J/kg°C].
- $V_{infiltración}$: Caudal de aire de ventilación [m³/s].
- ρ : Densidad del aire¹⁹, correspondiente a 1.18 [kg/m³].
- ΔT : Diferencia de temperatura entre el ambiente exterior e interior [°C].

Además, se tiene que el caudal de aire de ventilación ($V_{infiltración}$), se genera según el uso que se le dé a las ventanas y puertas pertenecientes a la envolvente del edificio, teniendo en cuenta la orientación que estas tengan y la velocidad del viento. Este se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$V_{infiltración} = A * V_{viento} \quad \text{Ecuación 11}$$

Donde:

- A: Área por donde entra el aire [m²].
- V_{viento} : Velocidad del viento¹⁹ [m/s].

2.3.2 Cargas Latentes, $\dot{Q}_{latente}$ ¹⁹

Para determinar las cargas latentes, se calculan las variables expresadas en la siguiente ecuación:

$$\dot{Q}_{latente} = \dot{Q}_{ipl} + \dot{Q}_{vl} \quad \text{Ecuación 12}$$

Donde:

- \dot{Q}_{ipl} : Carga latente por ocupante [W].
- \dot{Q}_{vl} : Carga latente de ventilación [W].

¹⁸ D. & B, (2005). *Acondicionamiento Térmico de Edificios*, Buenos Aires.

¹⁹ <http://walker.dgf.uchile.cl/Explorador/Eolico2/>



I. Carga latente por ocupante, \dot{Q}_{ipl}

Esta carga por ocupante corresponde al producto obtenido entre el número de personas realizando cierta actividad, y el valor del calor latente generado por la persona al realizar dicha actividad (debido tanto a la respiración, como la transpiración), el cálculo se detalla a continuación.

$$\dot{Q}_{ipl} = n * C_{lat.persona} \quad \text{Ecuación 13}$$

Donde:

- n : Número de persona, según la actividad que realice.
- $C_{lat.persona}$: Calor latente generado por una persona, según la actividad que realice²⁰ [W].

II. Carga latente por ventilación, \dot{Q}_{vl}

Esta carga latente es generada por la infiltración y ventilación de aire exterior dentro del recinto. El cálculo se detalla en la siguiente ecuación:

$$\dot{Q}_{vl} = V_r * 0.84 * \Delta W \quad \text{Ecuación 14}$$

Donde:

- V_r : Caudal de aire infiltrado y ventilado [m^3/s].
- 0.84: Producto entre la densidad del aire [kg/m^3] y la entalpia cambio fase agua [J/kg].
- ΔW : Diferencia de humedad entre el ambiente exterior e interior ($W_{ext}-W_{int}$), como factor.

El caudal de aire infiltrado y ventilado se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$V_r = V * R.A.H \quad \text{Ecuación 15}$$

Donde:

- V : Volumen del recinto [m^3].
- $R.A.H$: Número de renovación de aire por hora, según el tipo de recinto que se esté estudiando²¹ [1/h], para efectos de cálculo en este caso se considerará como [1/s].

2.4 CONDICIONES DE DISEÑO

Para efectos de cálculo de las cargas térmicas del edificio y simplificación de estos, se establecerán algunas condiciones iniciales de diseño, bajo el supuesto de un régimen estacionario, es decir, que tanto las condiciones exteriores como interiores del edificio, permanecen inalterables durante un periodo de tiempo.

²⁰ <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn255.html>

²¹ https://www.casals.com/assets/uploads/editor/file/renovacion_de_aire_en_locales_tipicos_casals.pdf



2.4.1 Temperatura y Humedad de Diseño

I. Condiciones en el interior del edificio

A continuación, en la Tabla 1 se detallan las condiciones de temperatura y humedad relativa consideradas suficientes para lograr el confort térmico dentro del edificio. Las cuáles serán utilizadas en el cálculo del balance térmico del recinto.

Tabla 1: Temperatura y Humedad Relativa en el interior del edificio²².

<i>Temperatura Interior [°C]</i>	<i>Humedad Interior [%]</i>
20	50

II. Condiciones en el exterior del edificio

Las condiciones exteriores se establecen en base a los datos entregados por la página web de meteorología “Meteored”, considerando los datos históricos de la estación más cercana al edificio. A partir de ellos, se obtiene la Tabla 2 que muestra la temperatura y humedad promedio de los meses más críticos del año 2021, correspondientes a junio, julio y agosto.

Tabla 2: Temperatura y humedad promedio mensual en el exterior del edificio en el año 2021²³.

<i>Meses Críticos</i>	<i>Junio</i>	<i>Julio</i>	<i>Agosto</i>
Temperatura promedio mensual [°C]	10,3	9,5	11,2
Humedad promedio mensual [%]	86	85	83

Finalmente, en la Tabla 3, se resumen los datos obtenidos con los que se llevará a cabo el cálculo del balance térmico.

Tabla 3: Condiciones en el exterior del edificio²⁴.

<i>Datos obtenidos</i>	
Temperatura Exterior [°C]	10,3
Humedad Exterior [%]	85
Temperatura Suelo [°C] ²⁵	12,7

²² D. & B, (2005). *Acondicionamiento Térmico de Edificios*, Buenos Aires.

²³ [https://www.meteored.cl/tiempo-en Los+Angeles-America+Sur-Chile-Biobio--sactual-18571.html](https://www.meteored.cl/tiempo-en-Los+Angeles-America+Sur-Chile-Biobio--sactual-18571.html)

²⁴ <https://www.weather-atlas.com/es/chile/los-angeles-clima>

²⁵ <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn255.html>



2.4.2 Tipo de Edificio y Uso Local

El recinto en estudio, corresponde al edificio consistorial de la Ilustre Municipalidad de Tucapel, compuesto por oficinas destinadas a la atención de público, tiene un uso correspondiente a una jornada laboral de 8 horas diarias aproximadamente.

2.4.3 Radiación Solar²⁶

La radiación solar se obtiene de un informe entregado en la página del ministerio de energía, en colaboración con la Universidad de Chile, donde se entrega información de todo el año, pero para el estudio se consideraron sólo los tres meses más fríos, correspondientes al promedio de los datos entregados para junio, julio y agosto (descomponiendo esta radiación según su ángulo de incidencia), de las cuales se consideran solo las radiaciones de las horas en las que el sol recorre el edificio en cada orientación, como se detalla a continuación:

- *Este*: Se considera la radiación solar entregada entre las 8:00 y las 11:00 de la mañana.
- *Norte*: Se considera la radiación solar entregada entre las 12:00 y las 14:00 horas.
- *Oeste*: Se considera la radiación solar entregada entre las 15:00 y las 18:00 horas, pero se tomarán en cuenta solo los datos de las primeras 2 horas de este periodo, ya que la vegetación de la plaza de armas existente frente al edificio, genera sombra a este durante las horas restantes.
- *Sur*: En la parte sur del edificio, se percibe solo luz solar, no radiación solar directa, por lo tanto, se considera la radiación solar de la fachada sur como nula.

A continuación, en la Tabla 4, se detallan los valores de radiación solar obtenidos para cada orientación, además de la radiación solar directa, utilizada para los cálculos relacionados con la techumbre del recinto.

Tabla 4: Radiación solar directa e incidente, según orientación del edificio.

<i>Radiación Solar [W/m²]</i>	<i>Directa</i>	<i>Este</i>	<i>Norte</i>	<i>Oeste</i>	<i>Sur</i>
Promedio meses críticos	290	87	87	58	0

²⁶ <https://solar.minenergia.cl/exploracion>



2.4.4 Coeficiente de Absortancia²⁷

Corresponde a la fracción de radiación incidente absorbida por un material, que dependerá directamente del color y acabado de los materiales empleados en el revestimiento del recinto. En este caso, el valor empleado corresponde a un 84%, por lo que el coeficiente será 0,84.

2.4.5 Coeficiente de Ganancia Solar

El coeficiente de ganancia solar, se define como la radiación solar incidente, que aporta calor al interior del recinto, a través de las superficies vidriadas. Este coeficiente varía según el tipo de vidrio. En la Tabla 5, se muestran los valores tabulados para cada tipo de vidrio²⁸.

Tabla 5: Datos de coeficientes de ganancia solar para diferentes tipos de vidrios.

<i>Ventana con vidrio</i>	<i>SHGC</i>
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

Cabe destacar, que el edificio en cuestión, cuenta con ventanas de vidrios simples y claros, por lo que el coeficiente de ganancia solar considerado para el análisis corresponde a 0,86.

2.4.6 Características de la iluminación

Según los planos arquitectónicos y las especificaciones técnicas del proyecto otorgadas por el municipio, el recinto no cuenta con iluminarias del tipo incandescentes, solo dispone de lámparas de descarga, ya sean del tipo compactas o de tubos. A continuación, la Tabla 6 detalla los datos obtenidos de los documentos antes mencionados, donde se establecen las iluminarias presentes en el proyecto, además de la potencia [W] de cada una de ellas.

²⁷ https://www.fau.ucv.ve/idec/racionalidad/pdf/manual_energia.pdf

²⁸ <https://www.fau.ucv.ve/idec/racionalidad/Paginas/Manualventanas.html>



Tabla 6: Tipo, cantidad y potencia de las lámparas de descargas presentes en el interior del recinto.

<i>Características</i>	<i>Potencia [W]</i>	<i>Cantidad</i>
Aplique de pared de iluminación LED	150	6
Equipo de empotrar con difusor de policarbonato Opal	39	346
Equipo sobrepuesto, reflector y difusor de celosías	36	72
Equipo sobrepuesto policarbonato IP 65	36	3
Equipo embutido LED, L: 1743mm	41	59
Foco embutido LED, Φ 165 mm	19	27
Foco embutido LED, Φ 175 mm	22	6
Foco embutido LED, Φ 185 mm	30	172
Foco embutido LED, Φ 220 mm	29	9
Foco embutido LED, Φ 270mm	21	2
Foco de aluminio anodizado, Φ 270mm	30	42

Se considera que durante la jornada laboral solo un 80% de la totalidad de lámparas se mantendrán encendidas, por lo que se tiene en cuenta solo este porcentaje de las cargas generadas por iluminación.

2.4.7 Cargas sensibles y latentes por ocupantes

Los valores de calor sensible y latente generados por una persona al desarrollar cierta actividad, que se utilizan en el cálculo de las cargas por ocupantes del recinto, se detallan en la Tabla 7.

Tabla 7: Calor sensible y latente desprendido por una persona, según la actividad que esté realizando.

<i>Actividad</i>	<i>Calor Sensible [W]</i>	<i>Calor Latente [W]</i>
Sentado, trabajo ligero	60	40
Oficinista, actividad ligera	60	50
Persona de pie o que pasea	65	60

2.4.8 Carga térmica por artefactos

En el cálculo de la carga térmica aportada por los equipos y electrodomésticos presentes en el proyecto, se considera que la potencia íntegra de funcionamiento de cada uno de ellos, se transformará en calor sensible.

La Tabla 8 presenta el listado de artefactos presentes en el recinto y el calor sensible [W] que emiten cada uno de ellos durante su funcionamiento. Además, debido a que todos los artefactos no funcionarán a la misma vez, se considerará solo un 75% de ellos en funcionamiento simultáneo.



Tabla 8: Características y cantidad de artefactos presentes en el proyecto²⁹.

<i>Artefacto Electrónico</i>	<i>n</i>	<i>Potencia [W]</i>
Aspiradora	3	500
CPUs	72	300
Enceradora	1	80
Equipos de música	11	150
Fax	4	250
Hervidor	3	2000
Impresoras	80	450
Microondas	1	1100
Monitores	66	45
Notebook	11	200
Plotter	1	250
Refrigerador	1	500
Scanner	4	250
Televisor	2	300
Aire acondicionado	13	3250
Calefactores	47	2000
Ventiladores	30	120

2.4.9 Consideraciones para carga de ventilación

I. Condiciones para área de infiltración

Del total de horas de la jornada laboral, que es cuando el edificio se encuentra en uso, se considera lo siguiente:

- Del 100% del área total de las ventanas sólo un 15% es considerado como área de infiltración, ya que no se abren en su totalidad. Además, debido a que no se abren todas las ventanas durante invierno (época en la que se realiza el estudio), se considerarán abiertas solo un 10% de éstas, durante un periodo máximo de 3 horas, correspondiente al 0,25% del total de las horas de la jornada laboral diaria.
- En las puertas es considerada el 100% de su área total como área de infiltración, ya que en cada uso se abren en su totalidad. Además, se considerarán abiertas simultáneamente solo el 30% de éstas, durante un periodo máximo de 2 horas, correspondiente al 0,17% del total de las horas de la jornada laboral diaria.

²⁹ DOM. Tucapel. (2017). *Especificaciones técnicas de edificio consistorial*.

II. Condiciones para la velocidad del viento

Se obtiene la velocidad del viento, de un informe entregado en la página del explorador de energía eólica de la Universidad de Chile. Donde se considera la información entregada de la estación más cercana a la ciudad de Huépil, para los meses de junio, julio y agosto (Figura 4), obteniendo así, las velocidades promedio de cada orientación de la rosa de los vientos, que se detallan en la Tabla 9.

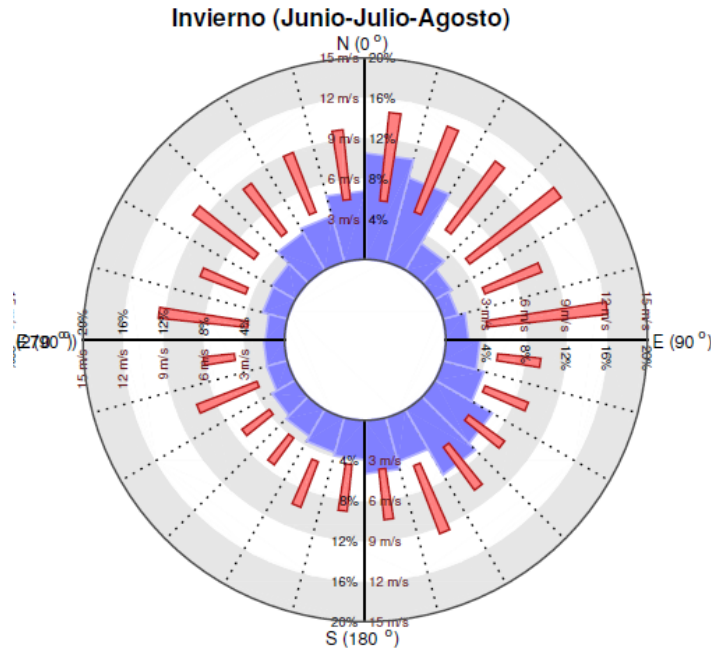


Figura 4: Rosa de los vientos de los meses críticos en estudio.
Fuente: Explorador de energía eólica de la Universidad de Chile.

Tabla 9: Promedio de la velocidad del viento, según orientación.

<i>Velocidad del viento según orientación [m/s]</i>			
Este	Norte	Oeste	Sur
9,5	10,15	7,75	7,5

2.4.10 Renovación de aire por hora

El proyecto es considerado como un edificio de oficinas, donde la renovación por horas (R.A.H) para este tipo de local es de 4 a 8³⁰ veces, por lo que en promedio se tienen 6 renovaciones por hora. Ahora bien, en este caso, para efectos de cálculo se considera el tiempo en segundos, es decir, se tendrán 6 renovaciones cada 3600 segundos, obteniendo un R.A.H de 0,0017 aproximadamente.

³⁰ <https://www.scribd.com/doc/81177792/Acondicionamiento-Termico-de-Edificios>



3 RESULTADOS

3.1 BALANCE TÉRMICO

Mediante las fórmulas y consideraciones estipuladas en los apartados 2.3 y 2.4, se obtienen los siguientes resultados. Cabe destacar, que para fines prácticos las cargas finales se expresan en kW.

3.1.1 Cargas Sensibles

Las cargas sensibles obtenidas mediante el cálculo de la Ecuación 2, mencionada en el apartado 2.3.1, son las siguientes.

I. Cálculo de cargas solares, \dot{Q}_s

a) Carga solar directa, \dot{Q}_{sr}

Las variables obtenidas para el cálculo de la Ecuación 3, teniendo en cuenta las consideraciones del apartado 2.4.3 y 2.4.5 se detallan a continuación.

- Radiación solar: Valores según orientación, estipulados en la Tabla 4.
- Coeficiente de ganancia solar: 0,86 (vidrio simple y claro), de acuerdo a Tabla 5.
- Superficies translucidas expuestas a radiación, se resumen a continuación en Tabla 10, indicando el área total de las superficies para cada orientación.

Tabla 10: Área de superficies vidriadas según orientación.

Total de superficies vidriadas según orientación [m²]			
<i>Este</i>	<i>Norte</i>	<i>Oeste</i>	<i>Sur</i>
113,78	231,50	119,60	0,00

Finalmente, reemplazando los valores en la Ecuación 3, se obtienen las cargas solares directas por orientación y la carga solar directa total del edificio, detalladas en Tabla 11.

Tabla 11: Cargas solares directas del edificio.

\dot{Q}_{sr} por orientación [W]			
<i>Este</i>	<i>Norte</i>	<i>Oeste</i>	<i>Sur</i>
8.510,15	17.315,16	5.963,97	0
<i>Total \dot{Q}_{sr} [W]:</i>		<i>31.789,28</i>	
<i>\dot{Q}_{sr} [kW]:</i>		<i>31,79</i>	

b) Carga solar indirecta, \dot{Q}_{srt}

Las variables obtenidas para el cálculo de la Ecuación 4, teniendo en cuenta las consideraciones del apartado 2.4.3 y 2.4.5 se detallan a continuación.

- Transmitancia térmica: Obtenida para cada uno de los elementos de las superficies opacas, que limitan con el exterior del edificio, se detallan en la Tabla 12.



Tabla 12: Tabla resumen de transmitancia y superficie opaca, según tipo y orientación.

<i>Superficies opacas</i>	<i>U [W/m²K]</i>	<i>Área por orientación [m²]</i>		
		<i>Este</i>	<i>Norte</i>	<i>Oeste</i>
Muros de hormigón	0,45	72,40	8,69	38,99
Muros con recubrimiento fenolítico	0,47	190,63	78,49	200,15
Quebravistas aerobrisas 100	2,72	38,20	279,01	32,51
Techumbre	0,39		1042,51	

- Radiación solar: Valores según orientación, estipulados en la Tabla 4, del apartado 2.4.3. Para techumbres, se utiliza la radiación solar horizontal.
- Coeficiente de Absortancia: 0.84, de acuerdo al apartado 2.4.4.
- Resistencia de la película al aire exterior²⁷: 0,055 [m²K/W], para muros y techumbres.

Finalmente, reemplazando los valores en la Ecuación 4, se obtienen las cargas solares indirectas por orientación y la carga solar indirecta total del edificio, detalladas en Tabla 13.

Tabla 13: Cargas solares indirectas del edificio.

<i>Q̇srt por orientación [W]</i>			
<i>Este</i>	<i>Norte</i>	<i>Oeste</i>	<i>Techumbre</i>
905,65	3.207,94	534,25	5.397,45
<i>Total Q̇srt [W]:</i>		10.045,30	
<i>Q̇srt [kW]:</i>		10,05	

II. Cálculo de cargas de los elementos de la envolvente, Q̇c

La carga de los elementos de la envolvente calculada mediante la Ecuación 5, con las temperaturas de interior y exterior, señaladas en la Tabla 2, del apartado 2.4.1 se detalla en la Tabla 14, además, de la transmitancia térmica y las superficies totales de cada uno de los elementos de la envolvente, con los que se obtuvo la carga total.

Tabla 14: Tabla resumen de transmitancia y superficie de los elementos de la envolvente.

<i>Elementos de la envolvente</i>	<i>Muros</i>			<i>Superficies Techumbre Radier vidriadas</i>
	<i>Hormigón</i>	<i>R. fenolítico</i>	<i>Quebravistas</i>	
Área [m²]	164,28	759,12	349,72	969,87 1055,70 1042,04
U [W/m²K]	0,45	0,47	2,72	2,716 0,39 3,20
Q̇c [W]	-711,18	-3.443,14	-9.198,69	-25.512,7 -3.952,37 -7.823,57
<i>Total Q̇c [W]:</i>		-50.641,64		
<i>Q̇c [kW]:</i>		-50,64		

**III. Cálculo de cargas internas de iluminación, \dot{Q}_{ii}**

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

Dado que el edificio no cuenta con lámparas incandescentes, se obtuvo \dot{Q}_{iii} nulo.

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

La carga total que aportan las lámparas de descargas en el interior del edificio durante la jornada laboral calculada por medio de la Ecuación 7, con los antecedentes y consideraciones mencionadas en el apartado 2.4.6 se resume en la Tabla 15.

Tabla 15: Carga interna generada por lámparas de descarga.

<i>Tipo de Lámpara</i>	<i>\dot{Q}_{iid} [W]</i>
Aplique de pared de iluminación LED	900
Equipo de empotrar con difusor de policarbonato Opal	13.494
Equipo sobrepuesto, reflector y difusor de celosías	2.592
Equipo sobrepuesto policarbonato IP 65	108
Equipo embutido LED, L: 1743mm	2.419
Foco embutido LED, Φ 165 mm	513
Foco embutido LED, Φ 175 mm	132
Foco embutido LED, Φ 185 mm	5.160
Foco embutido LED, Φ 220 mm	261
Foco embutido LED, Φ 270mm	42
Foco de aluminio anodizado, Φ 270mm	1.260
<i>Total \dot{Q}_{iid} [W]: 21.504,8</i>	
<i>\dot{Q}_{iid} [kW]: 21,50</i>	

VII. Cálculo de cargas internas sensibles por ocupante, \dot{Q}_{ips}

Las cargas sensibles generadas por los ocupantes del edificio, según el tipo de actividad que realicen, obtenidas mediante la Ecuación 8, considerando los datos de calor sensible por ocupante mencionados en la Tabla 7 del apartado 2.4.7, se resumen en la Tabla 16.

Tabla 16: Resumen carga sensible por ocupante, según actividad que realicen.

<i>Actividad por ocupante</i>	<i>\dot{Q}_{ips} [W]</i>
Sentado, trabajo ligero	12.000
Oficinista, actividad ligera	2.100
Persona de pie o que pasea	26.000
<i>Total \dot{Q}_{ips} [W]: 40.100</i>	
<i>\dot{Q}_{ips} [kW]: 40,1</i>	

**VIII. Cálculo de cargas internas por artefacto, \dot{Q}_{ie}**

La carga interna total generada por el funcionamiento de los artefactos del edificio, calculada por medio de la Ecuación 9, con los datos y consideraciones mencionadas en el apartado 2.4.8 es de:

<i>Total \dot{Q}_{ie} [W]:</i>	162.225
<i>\dot{Q}_{ie} [kW]:</i>	162,23

IX. Cálculo de cargas sensible de ventilación, \dot{Q}_{vs}

La carga interna generada por ventilación de ventanas y puertas, calculada por medio de la Ecuación 10, con los datos y consideraciones mencionadas en el apartado 2.4.9, se resume en la Tabla 17 y Tabla 18 respectivamente.

Tabla 17: Carga sensible de ventilación generada por ventanas.

	Este	Norte	Oeste	Sur
<i>Velocidad del viento [m/s]</i>	9,5	10,15	7,75	7,5
<i>Área de abertura [m²]</i>	0,75	11,43	0,38	8,74
<i>V [m³/s]</i>	7,12	115,99	2,97	65,52
<i>V. usado [m³/s]</i>	0,71	11,60	0,30	6,55
<i>\dot{Q}_{vs} [W]</i>	-2.057,93	-33.537,36	-859,82	-18.943,75
<i>Total \dot{Q}_{vs} [W]:</i>	-55.398,86			
<i>\dot{Q}_{vs} [kW]:</i>	-55,40			

Tabla 18: Carga sensible de ventilación generada por puertas.

	Este	Norte	Oeste	Sur
<i>Velocidad del viento [m/s]</i>	9,5	10,15	7,75	7,5
<i>Área de abertura [m²]</i>	3,276	2,56	6,48	4,47
<i>V [m³/s]</i>	31,12	26,02	50,22	33,53
<i>V. usado [m³/s]</i>	31,12	26,02	50,22	33,53
<i>\dot{Q}_{vs} [W]</i>	-59.991,82	-50.147,9	-96.805,77	-64.639,54
<i>Total \dot{Q}_{vs} [W]:</i>	-271.585,04			
<i>\dot{Q}_{vs} [kW]:</i>	-271,59			

Finalmente, se tiene que la carga sensible generada por ventilación total, tiene un valor de:

<i>\dot{Q}_{vs} [kW]:</i>	-326,98
--	---------



3.1.2 Cargas Latentes

Las cargas latentes obtenidas mediante el cálculo de la Ecuación 12, mencionada en el apartado 2.3.2, son las siguientes.

I. Cálculo de cargas latentes por ocupante, \dot{Q}_{ipl}

Las cargas latentes generadas por los ocupantes del edificio, según el tipo de actividad que realicen, obtenidas mediante la Ecuación 13, considerando los datos de calor latente por ocupante mencionados en la Tabla 7 del apartado 2.4.7 se resumen en la Tabla 19.

Tabla 19: Resumen de carga latente por ocupante, según actividad que realicen.

<i>Actividad por ocupante</i>	<i>\dot{Q}_{ipl} [W]</i>
Sentado, trabajo ligero	8.000
Oficinista, actividad ligera	1.750
Persona de pie o que pasea	24.000
<i>Total \dot{Q}_{ipl} [W]: 33.750</i>	
<i>\dot{Q}_{ipl} [kW]: 33,75</i>	

II. Cálculo de cargas latentes por ventilación, \dot{Q}_{vl}

La carga latente total generada por ventilación calculada según lo mencionado en los apartados 2.4.1 y 2.4.10 se resume en la Tabla 20.

Tabla 20: Tabla de carga latente por ventilación.

<i>Parámetros</i>	<i>Piso 1</i>	<i>Piso 2</i>	<i>Piso 3</i>
Altura [m]	3,60	3,60	4,75
Área superficie [m ²]	1042,04	1055,70	1055,70
Volumen [m ³]	3751,36	3800,52	5014,58
R.A.H [1/s]	0,0017	0,0017	0,0017
Vr [m ³ /s]	6,25	6,33	8,36
ΔW (Wext-Wint)	0,35	0,35	0,35
\dot{Q}_{vL} [W]	1,84	1,86	2,46
<i>Total \dot{Q}_{vl} [W]: 6,16</i>			
<i>\dot{Q}_{vl} [kW]: 0,0062</i>			

3.1.3 Balance Térmico Total

Finalmente, el balance térmico total del edificio, obtenido de la suma de las cargas sensibles y latentes calculadas en el apartado 3.1, se resume en la Tabla 21.



Tabla 21: Tabla resumen del balance térmico total del edificio.

<i>Tipo de cargas</i>	<i>Balance total [kW]</i>
Cargas Solares (\dot{Q}_s)	
Directa (\dot{Q}_{sr})	31,79
Indirecta (\dot{Q}_{srt})	10,05
Cargas Elementos (\dot{Q}_c)	
Elementos envolventes (\dot{Q}_c)	-50,65
Cargas Internas (\dot{Q}_i)	
Iluminación Incandescente (\dot{Q}_{iii})	0
Iluminación Descarga (\dot{Q}_{iid})	21,50
Sensible Ocupantes (\dot{Q}_{ips})	40,1
Latente Ocupantes (\dot{Q}_{ipl})	33,75
Artefactos Eléctricos (\dot{Q}_{ie})	162,23
Cargas Ventilación (\dot{Q}_v)	
Ventilación Sensible (\dot{Q}_{vs})	-326,98
Ventilación Latente (\dot{Q}_{vl})	0,0062
Balance Térmico Total (\dot{Q}_{total})	-78,21

4 PROPUESTA DE SOLUCIONES

En base al balance térmico total obtenido en el apartado 3.1.3, se tiene que el edificio presenta una pérdida de calor aproximadamente de 78,21 kW, por lo tanto, como primer foco de análisis, se debe poner énfasis en encontrar posibles soluciones constructivas, que permitan reducir las pérdidas de calor en aquellas cargas que presentan una mayor demanda de energía, al menor costo posible. En este caso, según los datos aportados por la Tabla 21, el análisis se debe centrar en las cargas asociadas a la envolvente y la ventilación sensible del edificio, denominadas como \dot{Q}_c y \dot{Q}_{vs} respectivamente. Además, el “Manual de aplicación de reglamentación térmica”, establece exigencias mínimas de transmitancia para los elementos de la envolvente, según zonificación, cuyos valores deben ser igual o menores a los señalados en este manual. El caso en estudio se encuentra en zona 4, y siguiendo las exigencias para los elementos de la envolvente, las ventanas no cumplen con los requisitos, ya que cuentan con una transmitancia mayor, por lo que la posible solución para disminuir las pérdidas de cargas de la envolvente, se enfocará en este elemento. La Tabla 24 compara los valores requeridos por la reglamentación v/s los obtenidos según NCh853 para los elementos de la envolvente.

Tabla 24: Comparación transmitancia solicitada para zona 4.

<i>Elemento</i>	<i>U [W/m²K]</i>		
	<i>Reglamento</i>	<i>Calculado</i>	<i>Condición</i>
Techumbre	0,38	0,38	Cumple
Muro	1,7	0,45	Cumple
Ventanas	2,56	2,72	No cumple



4.1 SOLUCIÓN 1

Con la finalidad de disminuir las pérdidas por envolvente, se propone reemplazar las ventanas del edificio, por unas de mayor eficiencia energética, del tipo Termopanel o doble vidriado hermético (DVH), compuesta por vidrio tipo Low E y marco de PVC, los cuales presentan una baja conductividad térmica, lo que implica una menor transmitancia, disminuyendo de 2,716 a 1,77 [W/m²K], logrando cumplir con las exigencias de la reglamentación térmica para este elemento.

Se busca implementar esta modificación en todas las ventanas, excluyendo los muros cortinas y puertas vidriadas pertenecientes a la envolvente del edificio.

Al aplicar la solución planteada, se genera una disminución en la carga solar directa y en la carga por elementos de la envolvente, logrando una reducción de las pérdidas totales aproximadamente en un 6,1%. Finalmente, al determinar el análisis de precio unitario de esta solución, se obtiene que el valor por m² del nuevo Termopanel es de \$82.354, lo que implicaría una inversión de \$65.787.720 para reemplazar los 798,84m² de superficies vidriadas, aumentando en 1,32% el costo de obra. La Tabla 22, muestra el nuevo balance térmico total y los costos obtenidos al implementar esta solución.

Tabla 22: Disminución de demanda energética y costo asociado a propuesta 1.

<i>Tipo de cargas</i>	<i>Balance Total [kW]</i>	<i>Propuesta 1 [kW]</i>
Cargas solares (\dot{Q}_s)		
Directa (\dot{Q}_{sr})	31,79	29,20
Indirecta (\dot{Q}_{srt})	10,05	10,05
Cargas elementos (\dot{Q}_c)		
Elementos envolventes (\dot{Q}_c)	-50,65	-43,32
Cargas internas (\dot{Q}_i)		
Iluminación Incandescente (\dot{Q}_{iii})	0	0
Iluminación Descarga (\dot{Q}_{iid})	21,50	21,50
Sensible Ocupantes (\dot{Q}_{ips})	40,1	40,1
Latente Ocupantes (\dot{Q}_{ipl})	33,75	33,75
Artefactos Eléctricos (\dot{Q}_{ie})	162,23	162,23
Cargas ventilación (\dot{Q}_v)		
Ventilación Sensible (\dot{Q}_{vs})	-326,98	-326,98
Ventilación Latente (\dot{Q}_{vl})	0,0062	0,0062
Balance térmico total (\dot{Q}_{total})	-78,21	-73,47
	%Reducción	6,1
	Costo	\$ 65.787.720
	%Aumento costo total	1,32%

4.2 SOLUCIÓN 2

Como segunda opción, con la finalidad de disminuir las pérdidas por ventilación, se propone realizar una modificación en la mampara del acceso principal del lado Oeste, ampliando la distancia en 1,1 metros que existe entre ambas puertas, ya que estas se encuentran a sólo 2,4 metros de distancia, por lo que no se puede garantizar que, al abrir la segunda puerta, la primera ya se haya cerrado por completo, generando mayores pérdidas por infiltración. En la Figura 5, se puede visualizar la solución propuesta.

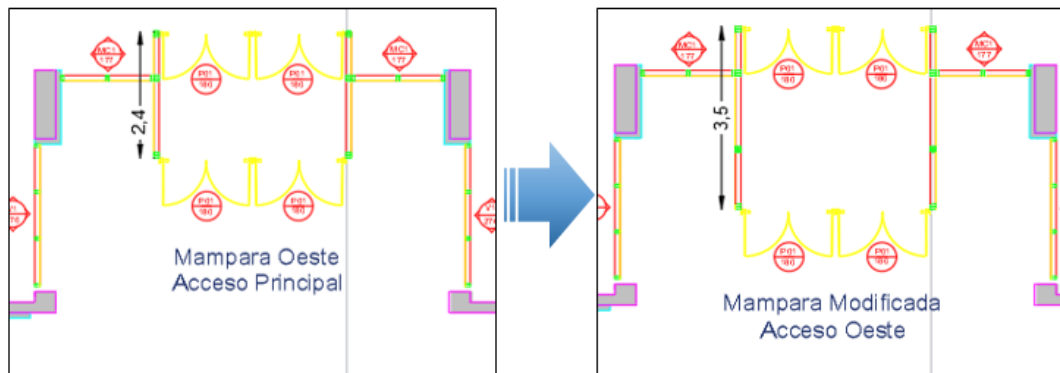


Figura 5: Esquema de solución 2.

Fuente: Elaboración propia, utilizando planos en planta en AutoCAD.

Al aplicar la solución planteada, se genera una disminución en la carga sensible por ventilación, ya que, se asegura un porcentaje despreciable de caudal de infiltración por este acceso, logrando una reducción de las pérdidas totales de aproximadamente un 50%. Finalmente, al determinar el análisis de precio unitario de esta solución, se obtiene que el valor por m^2 de la modificación es de \$26.563, lo que implicaría una inversión de sólo \$229.500, aumentando en 0,0046% el costo total de la obra. La Tabla 23, representa la reducción de demanda energética y el costo que implicaría implementar esta solución.

Tabla 23: Disminución de demanda energética y costo asociado a propuesta 2.

<i>Tipo de cargas</i>	<i>Balance Total [kW]</i>	<i>Propuesta 2 [kW]</i>
Cargas solares (\dot{Q}_s)		
Directa (\dot{Q}_{sr})	31,79	31,79
Indirecta (\dot{Q}_{srt})	10,05	10,05
Cargas elementos (\dot{Q}_c)		
Elementos envolventes (\dot{Q}_c)	-50,65	-50,65
Cargas internas (\dot{Q}_i)		
Iluminación Incandescente (\dot{Q}_{iii})	0	0
Iluminación Descarga (\dot{Q}_{iid})	21,50	21,50



Sensible Ocupantes (\dot{Q}_{ips})	40,1	40,1
Latente Ocupantes (\dot{Q}_{ipl})	33,75	33,75
Artefactos Eléctricos (\dot{Q}_{ie})	162,23	162,23
Cargas ventilación (\dot{Q}_v)		
Ventilación Sensible (\dot{Q}_{vs})	-326,98	-288,26
Ventilación Latente (\dot{Q}_{vl})	0,0062	0,0062
Balance térmico total (\dot{Q}_{total})	-78,21	-39,49
	%Reducción	50
	Costo	\$ 229.500
	%Aumento	0,005%
	costo total	

5. CONCLUSIONES

Al finalizar el análisis térmico realizado al proyecto del nuevo edificio consistorial, se puede observar a través de los cálculos, que las medidas térmicas con las que se diseñó el proyecto, otorgan al recinto niveles de confort interior aceptables, pero sigue presentando pérdidas de energía significativas, relacionadas con la envolvente del edificio y la infiltración de aire exterior, que es necesario controlar. Debido a que aún no existe un manual de acondicionamiento térmico de edificios, se tomó como referencia el manual de acondicionamiento de viviendas.

De los cálculos realizados, se tiene que las pérdidas de energía del proyecto, se deben en un 13% de las pérdidas totales, a las cargas en la envolvente del edificio y en un 87%, a las cargas que se generan por ventilación, basándose en estas cargas la recomendación de las nuevas medidas térmicas.

De las soluciones constructivas analizadas, la más eficiente es la propuesta 2, que recomienda una modificación del acceso Oeste, correspondiente a una ampliación de la puerta mampara principal, aumentando a 3,5 metros la distancia entre las puertas, garantizando una reducción en la infiltración de aire exterior. Esta modificación, permite una reducción del consumo energético de $-24.8 \text{ [W/m}^2\text{]}$ a $-12.5 \text{ [W/m}^2\text{]}$, al disminuir en un 50% aproximadamente las pérdidas de energía, con un costo de implementación asociado de \$229.500, aumentando en tan solo un 0,005% aproximadamente el costo total de la obra, de \$4.974.791.710 a \$4.975.021.210, lo que garantiza una mejora de aislamiento bajo un costo operacional ínfimo, ya que sólo se invierte en mano de obra, utilizando las puertas ya consideradas para este acceso, sin generar mayores inconvenientes, dado que el proyecto se encuentra aún en etapa de construcción.

Finalmente, se puede afirmar que, bajo estas modificaciones, se logra el objetivo principal del estudio, que corresponde a la reducción mínima de un 50% de las pérdidas de energía durante los meses más



fríos del año, logrando que el edificio alcance un nivel de confort térmico óptimo, reduciendo considerablemente el consumo de energía durante su funcionamiento, cumpliendo además con los requisitos de transmitancia exigidos por la reglamentación térmica para los elementos de la envolvente.

6. REFERENCIAS

⁴ MINENERGÍA, CDT, (2010). *Estudio de usos finales y curvas de oferta de conservación de la energía en el sector residencial de Chile.*

⁵ U. BUENOS AIRES, Facultad de Ingeniería. *Balance Térmico.*

⁶ D. & B, (2005). *Acondicionamiento Térmico de Edificios, Buenos Aires.*

⁷ <https://solar.minenergia.cl/exploracion>

⁸ <https://www.fau.ucv.ve/idec/racionalidad/Paginas/Manualventanas.html>

⁹ https://www.fau.ucv.ve/idec/racionalidad/pdf/manual_energia.pdf

¹⁰ CHILE, I. (2007). *NCh 853 Acondicionamiento térmico - Envolvente térmica de edificios – Calculo de resistencias y transmitancias térmicas.*

¹¹ CCHC, (2015). *Manual de acondicionamiento térmico, criterios de intervención.*

¹² https://www.meteored.cl/tiempo-en_Los+Angeles-America+Sur-Chile-Biobio--sactual-18571.html

¹⁴ DOM. Tucapel. (2017). *Especificaciones técnicas de edificio consistorial.*

¹⁶ <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn255.html>

¹⁸ http://www.arquinstal.com.ar/2016/n2_08_2016_baltermver.pdf

²⁰ <http://walker.dgf.uchile.cl/Explorador/Eolico2/>

²² https://www.casals.com/assets/uploads/editor/file/renovacion_de_aire_en_locales_tipicos_casals.pdf

²⁶ <https://www.weather-atlas.com/es/chile/los-angeles-clima>

³¹ <https://www.scribd.com/doc/81177792/Acondicionamiento-Termico-de-Edificios>



7. ANEXOS

7.1 Análisis de precios unitarios de cada solución

P1 - Análisis Precio Unitario												
Nombre	Ventanas Termopanel											
Unidad	\$/m2											
Fecha	16-08-2022											
Cantidad [m2]	798,84											
Item	Unidad	Rend. unitario	Unidad	Rend. conjunto	Unidad	1/Rend.	Unidad	P.U	Unidad	P.Total	Unidad	
Equipos												
Mano de obra	Unidad	Rend. unitario	Unidad	Rend. conjunto	Unidad	1/Rend.	Unidad	P.U	Unidad	P.Total	Unidad	
Maestro	día	12	m2/día	18	m2/día	0,08	día/m2	35000	\$/día	2916,7	\$/m2	
Ayudante	día	6	m2/día	18	m2/día	0,17	día/m2	25000	\$/día	4166,7	\$/m2	
										Total mano de obra	7083,3	\$/m2
										Leyes sociales (25%)	1770,8	\$/m2
										Total mano de obra	8854,2	\$/m2
Materiales												
Ventana Termopanel	m2	1	m2/m2			1,000	m2/m2	40000	\$/und	70000	\$/m2	
										5% perdida	3500,00	\$/m2
										Total de materiales	73500,0	\$/m2
										Total	82354,2	\$/m2
										Presupuesto Final	\$ 65.787.720	

P2 - Análisis Precio Unitario												
Nombre	Traslado de mampara											
Unidad	\$/m2											
Fecha	16-08-2022											
Cantidad [m2]	8,64											
Item	Unidad	Rend. unitario	Unidad	Rend. conjunto	Unidad	1/Rend.	Unidad	P.U	Unidad	P.Total	Unidad	
Equipos												
Mano de obra	Unidad	Rend. unitario	Unidad	Rend. conjunto	Unidad	1/Rend.	Unidad	P.U	Unidad	P.Total	Unidad	
Maestro	día	4	m2/día	6	m2/día	0,25	día/m2	35000	\$/día	8750	\$/m2	
Ayudante	día	2	m2/día	6	m2/día	0,50	día/m2	25000	\$/día	12500	\$/m2	
										Total mano de obra	21250	\$/m2
										Leyes sociales (25%)	5312,5	\$/m2
										Total mano de obra	26562,5	\$/m2
Materiales												
	Unidad	Rend. unitario	Unidad	Rend. conjunto	Unidad	1/Rend.	Unidad	P.U	Unidad	P.Total	Unidad	
										0,00		
										5% perdida	0,00	\$/m2
										Total de materiales	0,00	\$/m2
										Total	26562,5	\$/m2
										Presupuesto Final	\$ 229.500	