



ANÁLISIS DE DEMANDA DE POTENCIA ENERGÉTICA DEL CENTRO JUDICIAL DE CHILLÁN Y PROPUESTA PARA EL MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA

N. Segura Flores¹, F. González Monsalve² y C. Correa Rogel³

RESUMEN:

El confort térmico corresponde a la sensación de comodidad que sienten los usuarios dentro de un recinto y depende de factores tales como la temperatura y la humedad interior, junto a la cantidad de CO₂ presente en el ambiente.

En esta investigación se analiza el Centro Judicial de Chillán, edificio principalmente construido en hormigón armado, con una superficie total de 10.309 m² divididos en 6 pisos, 1 zócalo y 1 subterráneo. Para ello, se consideran aspectos tales como la cantidad de personas diarias que ingresan al edificio, las horas de sol que recibe, la ventilación, el tipo de materialidad, entre otros factores que influyen al balance térmico del edificio.

El recinto será analizado por pisos para obtener un análisis más detallado del lugar, pero se entregan los resultados de la construcción superior, es decir, considerando los 6 pisos juntos, agrupados en meses y hora, en donde se priorizan las pérdidas de energía ocurridas en el horario de funcionamiento del edificio.

PALABRAS CLAVE: Confort térmico, Balance térmico, eficiencia energética.

ABSTRACT:

Thermal comfort corresponds to the feeling of comfort that users feel inside a room and depends on factors such as the temperature and humidity inside, together with the amount of CO₂ present in the environment.

In this investigation, the Chillán Judicial Center is analyzed, a building mainly built in reinforced concrete, with a total area of 10,309 m² divided into 6 floors, 1 plinth and 1 underground. For this, aspects such as the number of daily people who enter the building, the

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



hours of sunlight it receives, ventilation, the type of material, among other factors that influence the thermal balance of the building, are considered.

The enclosure will be analyzed by floors to obtain a more detailed analysis of the place, but the results of the superior construction are delivered, that is, considering the 6 floors together, grouped in months and hours, where the energy losses that occurred in the hours of operation of the building.

KEY WORDS: Thermal comfort, thermal balance, energy efficiency.

1. INTRODUCCIÓN

En nuestro país las empresas relacionadas al rubro de la construcción procuran cumplir con los estándares mínimos exigidos según la normativa chilena vigente. Si bien esto ayuda a mantener un estándar de construcción adecuado según condiciones climáticas, zonificación sísmica y emplazamiento, lo cual implica una resistencia estructural de gran calidad, algunos aspectos como la aislación térmica y, en general, el balance térmico de las viviendas construidas no es óptimo. Si se compara la eficiencia energética de viviendas y recintos destinados a otras actividades, construidos en otros países tales como Alemania, en donde existen estándares de construcción con eficiencias energéticas sobre el 80%, podemos notar que existe una deficiencia en nuestro país, básicamente porque el análisis térmico de los proyectos de urbanización y edificios en general no es prioridad, lo que conlleva a aumentar el consumo de calefacción para lograr el ambiente de confort adecuado dentro del recinto.

Con la finalidad de realizar un estudio del balance térmico del nuevo Centro Judicial de Chillán se realiza la ecuación de balance térmico del edificio de 6 pisos, con un área total de 10.309 m². Para ello, se analizan las cargas sensibles y latentes presentes en el recinto para posteriormente, proponer una solución que permita disminuir el consumo de energía para asegurar el ambiente de diseño considerado.

2. METODOLOGÍA

Para realizar la ecuación de balance térmico del edificio se consideran algunos aspectos:

- Ubicación del edificio
- Condiciones climáticas del lugar en donde está emplazado
- Capacidad del edificio
- Planos de arquitectura
- Tipo y cantidad de artefactos eléctricos
- Tipo y cantidad de iluminación
- Orientación del edificio
- Condiciones de uso
- Materialidad

2.1. Área de estudio

El Centro Judicial está ubicado en el centro de la comuna de Chillán, en la región del Ñuble, específicamente en la intersección de las calles Vega de Saldías con Yervas Buenas, en la latitud -36.6056 y longitud -72.0938 . El edificio contempla un área de 10.310 m^2 , distribuidos en 7 pisos y un subterráneo.

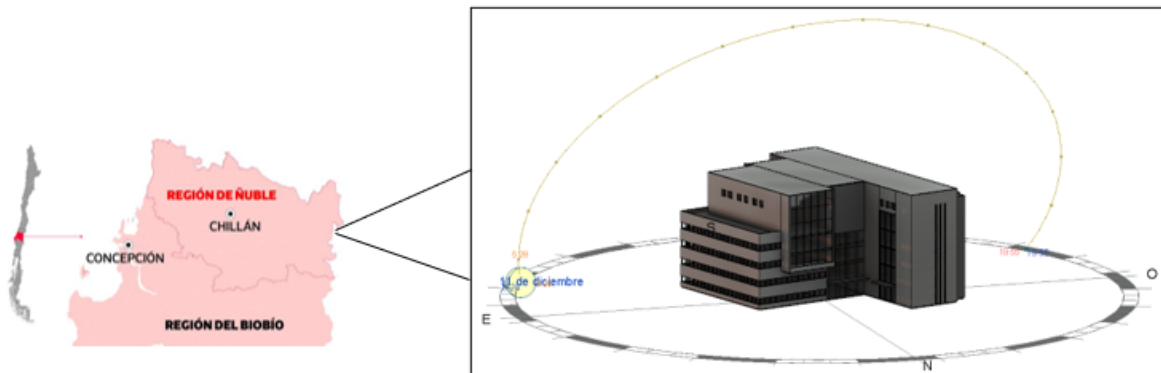


Figura 1: Ubicación del edificio Centro Judicial de Chillán y modelo en Revit indicando el camino del sol. Fuente propia

El Centro Judicial alberga las dependencias del Juzgado de Familia, Primer y Segundo Juzgado Civil y Corte de Apelaciones de Chillán, tal y como se indica en la Figura 2.

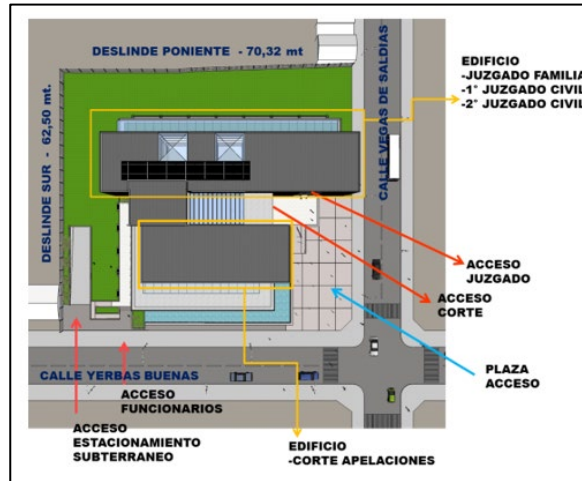


Figura 2. Distribución de dependencias del Centro Judicial de Chillán. Fuente: Memoria Explicativa de la propuesta de licitación.

2.2. Balance térmico

Para realizar el análisis térmico del edificio se aplica la ecuación de balance térmico⁴, en donde se consideran las condiciones climáticas exteriores, junto a las condiciones de ambientes interiores, para identificar las pérdidas y ganancias de calor en un determinado período de tiempo. Este balance incluye las cargas térmicas solares, internas, de la envolvente y de ventilación.

$$\dot{Q}_t = \dot{Q}_{sensible} + \dot{Q}_{latente}$$

(1)

A continuación, se señalan las cargas que componen a la ecuación de balance térmico:

⁴Acondicionamiento térmico de edificios, Buenos Aires (Díaz, 2005)

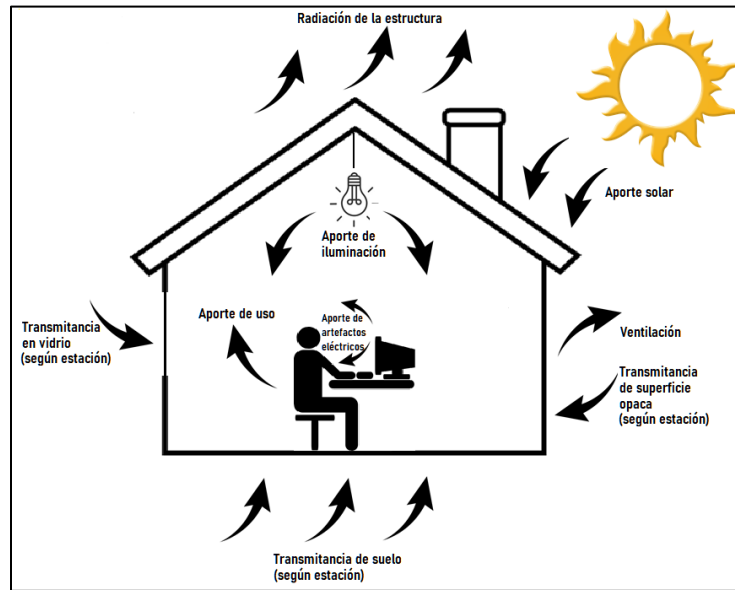


Figura 3. Transferencia de calor en una vivienda. Fuente propia.

2.2.1. Cargas sensibles

Para el cálculo de las cargas sensibles se consideran las cargas solares, cargas de envolvente, de iluminación y cargas sensibles por ocupante del edificio, según las condiciones de uso de la estructura.

$$\dot{Q}_{sensible} = \dot{Q}_s + \dot{Q}_c + \dot{Q}_{iii} + \dot{Q}_{iid} + \dot{Q}_{ips} + \dot{Q}_{ie} + \dot{Q}_{vs} \quad (2)$$

Donde:

- \dot{Q}_s : Cargas solares
- \dot{Q}_c : Cargas de envolvente
- \dot{Q}_{iii} y \dot{Q}_{iid} : Cargas de iluminación
- \dot{Q}_{ips} : Carga sensible por ocupantes
- \dot{Q}_{ie} : Carga interna de artefactos
- \dot{Q}_{vs} : Carga sensible de ventilación

2.2.1.1. Cargas solares

Las cargas solares sensibles se dividen en cargas solares directas e indirectas:

2.2.1.1.1. Cargas solares directas

Las cargas solares directas corresponden a la radiación solar que pasa a través de elementos vidriados, tales como ventanas. Para ello, se considera la siguiente ecuación:

$$\dot{Q}_{sr} = S * R * \theta \quad (3)$$

Donde:

- S: Superficie del cristal por donde llega la radiación solar [m²]
- R: Radiación solar que atraviesa la superficie [W/m²]
- θ : Coeficiente de ganancia solar, que corresponde a la medida en que el vidrio bloquea el calor.

2.2.1.1.2. Cargas solares indirectas

Las cargas solares indirectas corresponden a la radiación solar que se transmite a través de muro y techos opacos que limitan con el exterior. Para ello, se utilizan los cálculos realizados en las cargas de envolvente térmica mediante la siguiente ecuación:

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

Donde:

- U: Transmitancia térmica del elemento de envolvente [W/m² K]
- S: Superficie del elemento expuesto [m²]
- R: Radiación solar incidente [W/m²]
- α : Absortancia de la superficie expuesta [0-1]
- R_{so} : Resistencia de la película exterior de aire [m² K/W]

2.2.1.2. Cargas sensibles de envolvente

Para las cargas sensibles de envolvente se considera la transmitancia térmica del elemento, la superficie expuesta y diferencia de temperatura del aire interior y exterior. Para esto, se utiliza la siguiente expresión:

$$\dot{Q}_c = U * S * (T_{ex} - T_{in}) \quad (5)$$

Donde:

- U: Transmitancia térmica del elemento de la envolvente [W/m² K]
- S: Superficie del elemento expuesto [m²]
- T_{ex} : Temperatura del aire exterior [K]
- T_{in} : Temperatura del aire interior [K]



2.2.1.3. Cargas sensibles de iluminación

Las cargas sensibles de iluminación consideran el tipo de iluminación y cantidad de focos que existen dentro de la vivienda; según el tipo de iluminación, las cargas se calculan de distinta forma:

2.2.1.3.1. Carga interna sensible de iluminación para ampolletas incandescentes

$$\dot{Q}_{iii} = n * Pot_{ii} \quad (6)$$

Donde:

- \dot{Q}_{iii} : Carga interna sensible de iluminación para ampolletas incandescentes [W]
- n: Número de lámparas (ampolletas) incandescentes
- Pot_{ii} : Potencia de la ampolleta incandescente [W]

2.2.1.3.2. Carga interna sensible de iluminación para ampolletas de descarga

$$\dot{Q}_{iid} = 1.25 * n * Pot_{id} \quad (7)$$

Donde:

- \dot{Q}_{iid} : Carga interna sensible de iluminación para ampolletas de descarga [W]
- n: Número de lámparas (ampolletas) de descarga

2.2.1.4. Cargas sensibles por ocupante

Las cargas sensibles por habitante consideran la cantidad de personas que habitan o frecuentan el edificio, además de la actividad que habitualmente realizan las personas dentro. El cálculo se realiza mediante la siguiente ecuación:

$$\dot{Q}_{ips} = n * C_{sp} \quad (8)$$

Donde:

- n: Número de ocupantes de la vivienda
- C_{sp} : Carga sensible por persona, según la actividad realizada [W]

2.2.1.5. Cargas sensibles internas por artefactos

Para considerar las cargas internas por artefactos es necesario conocer la cantidad de artefactos, el porcentaje de utilización y tiempo de uso, para lo cual se utiliza la siguiente ecuación:

$$\dot{Q}_{ie} = \sum n * C_{art} \quad (9)$$

Donde:

- n : Número de artefactos en la vivienda
- C_{art} : Carga térmica sensible del artefacto [W]

2.2.1.6. Cargas sensibles de ventilación

Para las cargas sensibles de ventilación se considera la diferencia entre la temperatura interior y exterior, mediante la siguiente ecuación:

$$\dot{Q}_{vs} = C_{e,aire} * V_{inf} * \rho * \Delta T \quad (10)$$

Donde:

- $C_{e,aire}$: Calor específico del aire, en este caso es 1012 [J/kg °C]
- V_{inf} : Caudal de aire de ventilación [m³/s]
- ρ : Densidad del aire, a 21°C es 1.20 [kg/m³]
- ΔT : Diferencia de temperatura ambiente exterior e interior [°C]

2.2.2. Cargas latentes

Las cargas latentes generan una variación del contenido de agua en el ambiente. Entre ellas, se destacan las cargas latentes por ocupante y las cargas latentes de ventilación:

$$\dot{Q}_{latente} = \dot{Q}_{ipl} + \dot{Q}_{vl} \quad (11)$$

Donde:

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

A continuación, se indican las fórmulas para la obtención de las cargas latentes por ocupante y de ventilación:

2.2.2.1. Cargas latentes por ocupante

Para el cálculo de cargas latentes por ocupante, se utiliza la siguiente ecuación:

$$\dot{Q}_{ilp} = n * C_{lp} \quad (12)$$

Donde:

- n : Número de ocupantes de la vivienda
- C_{lp} : Carga latente por persona según la actividad que realiza [W]

2.2.2.2. Carga latente de ventilación

La carga latente por ventilación e infiltración se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\dot{Q}_{vl} = V_r * 0.84 * \Delta W \quad (13)$$

Donde:

- V_r : Caudal de aire de ventilación e infiltración [m^3/s]
- ΔW : Diferencia de humedad externa e interna, como factor
- 0.84: Corresponde al producto entre la densidad del aire y la entalpía de vaporización del agua, dividido la cantidad de segundos de una hora [J/m^3]

Para el cálculo del caudal de aire se considera la siguiente ecuación:

$$V_r = V * R.A.H \quad (14)$$

Donde:

- V : Volumen de la vivienda [m^3]
- R.A.H: Cantidad de renovación de aire por hora [l/s]

2.3. Condiciones de diseño

Para realizar el cálculo de las cargas térmicas del Centro Judicial de Chillán es necesario establecer condiciones de diseño, además de ciertas consideraciones para simplificar los cálculos.

Cabe mencionar que, el cálculo de cargas se realiza por meses agrupados según las estaciones del año, es decir, de diciembre a febrero, de marzo a mayo, de junio a agosto y de septiembre a noviembre.

2.3.1. Temperatura y humedad de diseño

La temperatura de diseño interior es de 21°C⁵ (294.15 K), mientras que la temperatura exterior es variable, debido a que se realizan los cálculos por hora, la cual se obtiene del Explorador Solar del Ministerio de Energía. Los datos de temperatura exterior utilizados corresponden a los valores registrados entre los años 2004 a 2016 de la estación meteorológica General Bernardo O'Higgins (código nacional 360011), los que fueron agrupados según los meses mencionados en el párrafo anterior (ver Tabla 1).

Tabla 1. Temperatura exterior promedio por meses agrupados, en grados Celsius. Fuente: Elaboración propia mediante los datos entregados por el Explorador Solar.

HORA	DIC-FEB	MAR-MAY	JUN-AGO	SEPT-NOV
0:00	16.2	12.2	7.6	10.8
1:00	15.5	11.6	7.3	10.2
2:00	14.7	11.1	7.0	9.6
3:00	14.0	10.6	6.7	9.1
4:00	13.3	10.1	6.5	8.7
5:00	12.6	9.6	6.3	8.2
6:00	12.0	9.2	6.1	7.7
7:00	12.4	8.9	5.8	7.6
8:00	13.5	9.0	5.8	8.4
9:00	15.3	9.9	6.3	9.8
10:00	17.7	11.5	7.2	11.9
11:00	20.4	13.5	8.4	14.1
12:00	23.0	15.8	9.7	16.1
13:00	25.1	17.7	11.0	17.8
14:00	26.7	19.2	12.0	19.1
15:00	27.7	20.2	12.5	19.9
16:00	27.9	20.3	12.6	19.8
17:00	27.0	19.4	11.5	19.0
18:00	25.7	17.8	10.4	17.6
19:00	23.7	16.3	9.6	15.7
20:00	21.5	15.1	9.0	14.2
21:00	19.7	14.1	8.6	13.0
22:00	18.3	13.3	8.2	12.2
23:00	17.1	12.7	7.9	11.5

⁵ Estándares de Construcción Sustentable para viviendas de Chile, Chile (MINVU, 2018)



Con el fin de asegurar el ambiente de confort dentro del edificio, se considera una humedad relativa de diseño de 60%. Los valores de humedad relativa ambiental existentes en la comuna de Chillán se obtienen de la Dirección Meteorológica de Chile, para lo cual se extraen los registros realizados en la estación climatológica en los años 2021 y 2020 (ver Tabla 2).

Tabla 2. Humedad relativa promedio entre los años 2021 y 2020 (HR%) de la estación meteorológica General Bernardo O'Higgins. Fuente: Dirección Meteorológica de Chile.

HUMEDAD RELATIVA (%)				
HORA	DIC-FEB	MAR-MAY	JUN-AGO	SEPT-NOV
0:00	48%	82%	98%	68%
1:00	56%	86%	99%	75%
2:00	64%	89%	100%	82%
3:00	71%	93%	100%	87%
4:00	76%	95%	100%	92%
5:00	80%	96%	100%	96%
6:00	84%	97%	100%	98%
7:00	87%	99%	100%	99%
8:00	90%	99%	100%	100%
9:00	93%	100%	100%	100%
10:00	94%	100%	100%	100%
11:00	89%	100%	100%	99%
12:00	82%	97%	100%	95%
13:00	73%	91%	100%	87%
14:00	65%	84%	100%	76%
15:00	58%	76%	97%	67%
16:00	51%	69%	91%	60%
17:00	45%	63%	85%	56%
18:00	40%	60%	80%	53%
19:00	36%	58%	78%	49%
20:00	34%	58%	78%	47%
21:00	34%	60%	80%	46%
22:00	37%	68%	88%	50%
23:00	41%	76%	95%	57%

2.4. Materialidad del edificio

2.4.1. Materialidad del edificio

El edificio en cuestión se compone de 7 pisos, 1 zócalo y 1 subterráneo, edificado principalmente en hormigón armado, con losas de 15 cm de espesor y termopaneles DVH 4+4/16/3+3 mm.

Tabla 3. Materialidad de elementos estructurales del Centro Judicial de Chillán. Fuente: Elaboración propia

ID	MATERIALIDAD	ESPESOR (m)
M1	Piedra 133 x 80 cm	0,02
	Poliestireno expandido de alta densidad	0,1
	Estuco	0,03
	Hormigón armado 25 cm	0,25
	Estuco	0,03
M2	Poliestireno expandido de alta densidad	0,1
	Estuco	0,025
	Hormigón armado 25 cm	0,25
	Estuco	0,025
	Porcelanato	0,003
M3	Piedra pulida 133 x 80 cm	0,02
	Perfil tubular metálico 50x50x3 mm	0,003
	Cámara de aire ventilada	0,5
	Poliestireno expandido de alta densidad	0,1
	Hormigón armado 25 cm	0,25
	Estuco	0,025
M4	Poliestireno expandido de alta densidad	0,1
	Celosía Aluzinc Microperforado	0,003
	Perfil rectangular acero inox. 50/25/2 mm	0,002
	Cámara de aire medianamente ventilada	0,055
M5	Muro cortina termopanel	0,025
	Celosía Celoscreen (Aluzinc 0.6 mm)	0,0006
	Perfiles aluminio	0,002
M6	Termopanel DVH 4+4/16/3+3 mm	0,03
	Perfiles aluminio	0,0006
L1	Termopanel DVH 4+4/16/3+3 mm	0,03
	Hormigón armado 15 cm	0,15
	Losa Hormigón armado 15 cm	0,15
C1	Perfiles Metalcón 0.85 mm	0,00085
	Cielo modular (placa fibra mineral 15 mm)	0,0015

2.5. Condiciones de carga térmica solar

Para el cálculo de radiación solar se utilizan los datos del Explorador Solar dispuestos por el Ministerio de Energía en conjunto con el Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile, considerando una latitud y longitud de -36.60 y -72.09 respectivamente. Los datos obtenidos corresponden a promedios por hora de mediciones de radiación solar directa entre los años 2004 y 2016, posteriormente agrupados por meses (diciembre-febrero, marzo-mayo, junio-agosto y septiembre-noviembre), tal y como se observa en la Tabla 4.

Tabla 4. Radiación solar (W/m²). Fuente: Explorador Solar del Ministerio de Energía.

HORA	DIC-FEB	MAR-MAY	JUN-AGO	SEPT-NOV
0:00	0,00	0,00	0,00	0,00
1:00	0,00	0,00	0,00	0,00
2:00	0,00	0,00	0,00	0,00
3:00	0,00	0,00	0,00	0,00
4:00	0,00	0,00	0,00	0,00
5:00	0,00	0,00	0,00	0,00
6:00	0,00	0,00	0,00	0,00
7:00	14,58	0,22	0,00	34,92
8:00	192,38	90,72	23,24	174,77
9:00	395,15	237,75	118,16	325,48
10:00	584,41	369,72	194,94	455,19
11:00	728,12	484,64	256,96	539,75
12:00	802,42	522,05	285,57	601,00
13:00	823,73	600,23	328,60	608,56
14:00	788,89	590,16	334,75	559,99
15:00	700,47	536,69	346,16	493,11
16:00	561,25	429,03	275,25	378,10
17:00	365,98	281,33	201,52	223,51
18:00	169,74	74,23	10,70	89,96
19:00	1,69	0,01	0,00	0,00
20:00	0,00	0,00	0,00	0,00
21:00	0,00	0,00	0,00	0,00
22:00	0,00	0,00	0,00	0,00
23:00	0,00	0,00	0,00	0,00

2.6. Coeficiente de ganancia solar

Según las especificaciones técnicas presentes en el proyecto, se considera un coeficiente de ganancia solar (SHGC) de 0.3.

2.7. Absortancia de las superficies

La absortancia considerada para cada muro se obtiene según el color de pintura y material de este. En la Tabla 5 se observa la absortancia correspondiente a los muros del edificio.

Tabla 5. Absortancia considerada de las superficies del edificio. Fuente: Elaboración propia.

ID	Absortancia de la superficie α , factor
M1	0,545
M2	0,475
M3	0,545
M4	0,345
M5	0,345
M6	0,22

Los valores de absortancia utilizados para el cálculo se presentan en la Figura 4.

METALES	Estado superficial	Absortividad	METALES	Estado superficial	Absortividad
Aluminio	pulido	0.10	Magnesio	pulido	0.19
Aluminio	anodizado	0.14	Magnesio	oxidado	0.55-0.2
Aluminio	en placas	0.15	Niquel	muy pulido	0.15
Bronce	pulido	0.3-0.5	Niquel	pulido	0.36
Bronce	mate	0.4-0.65	Niquel	oxidado	0.79
Cromo	electroplateado	0.41	Platino	brillante	0.31
Cobre	muy pulido	0.18	Plata	muy pulida	0.07
Cobre	decapado	0.25	Plata	pulida	0.13
Cobre	decolorada por exposición	0.64	Acero inoxidable	pulido	0.33
Oro		0.21	Acero inoxidable	decapado	0.52
Hierro	galvanizado pulido	0.34	Tungsteno	muy pulido	0.37
Hierro	galvanizado nuevo	0.64	Cinc	muy pulido	0.34
Hierro	mate, oxidado	0.96	Cinc	pulido	0.55
NO METALES			NO METALES		
Asfalto pavimento		0.85	Hormigón	descolorido	0.65
Asfalto pavimento	libre de polvo	0.93	Hormigón	marrón	0.85
Asfalto pavimento	nuevo	0.93	Hormigón	sucio, oscuro	0.71
Ladrillo	barnizado blanco	0.26	Granito		0.45
Ladrillo	arcilla, barnizado crema	0.36	Grasa		0.75-0.80
Ladrillo	rojo	0.70	Grava		0.29
Ladrillo rojo	satinado oscuro	0.77	Oxido de magnesio		0.15
Mármol	sin pulir	0.47	Pintura aceite	plomo blanco	0.24-0.26
Mármol	blanco	0.44	Pintura aceite	crema clara	0.30
Mármol	con fisuras	0.60	Pintura aceite	verde claro	0.50
Papel aglomerado		0.25	Pintura aluminio		0.55
Papel blanco		0.28	Pintura aceite	gris claro	0.75
Arena		0.76	Pintura aceite negra	sobre hierro galvanizado	
Serrín de madera		0.75	Pizarra	gris plateado	0.79
Nieve	limpia	0.2-0.35	Pizarra	gris azulado	0.85
Hollín, carbón		0.95	Pizarra	gris verdoso	0.88
Oxido de cinc		0.15	Pizarra	gris oscuro	0.90

Figura 4. Absortancia solar de superficies. Fuente: Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Buenos Aires.

2.8. Condiciones de carga interna

2.8.1. Iluminación

Para considerar la potencia de la iluminación presente en el edificio, se consultan las especificaciones técnicas del proyecto. La información se resume en la Tabla 6. La cantidad de ampollitas y focos varía según el piso.

Tabla 6. Iluminación presente en el edificio. Fuente: Elaboración propia.

Tipo de Lámpara
Panel rectangular 36 W
Hermelum 2X28 W
Foco LED Piano 4 W
Foco LED Mini 5 W
Foco LED Flat 20 W
Foco LED Bisel Opal 20 W
Panel LED Square 40 W
Foco LED Flat 20 W sobrepuesto
Plafón Oval Tortuga Grilla 15 W
Aplique Amatista
Batten LED 18 W
Equipo NEO BEGA
Neotriodo HP 50 W
Placa LED 1X15 W
Equipo UFO LED 30 W
Equipo UFO LED 20 W

2.8.2. Artefactos

Según la utilización del edificio, se consideran los artefactos eléctricos dispuestos en la Tabla 7.

Tabla 7. Cantidad de artefactos dispuestos por piso. Fuente: Elaboración propia.

Artefacto	Cantidad por piso	Potencia (W)
Computador	10	300
Smart TV 55"	3	360
Monitor 24"	10	120
Hervidor	2	1850
Microondas	3	1500
Refrigerador Fensa	2	250
Módem	10	50
Impresora	4	600
Cafetera	3	750
Equipo de audio	4	100

2.8.3. Tipo de edificio y uso del recinto

El edificio en cuestión corresponde a un edificio de propiedad del Estado, en donde se llevan a cabo juicios orales y reuniones de personas, por lo que el uso del edificio y las actividades realizadas en él corresponden principalmente a estar de pie (en marcha lenta) o estar sentado en las salas de audiencias y oficinas.

Para los cálculos relacionados a las cargas sensibles y latentes por ocupante, se considera un promedio de 333 personas por piso, según los estudios de densidad presentados en el proyecto. Además, se utiliza la Tabla 8 según el grado de actividad y temperatura seca del recinto.

Tabla 8. Carga sensible y latente según la temperatura y grado de actividad del edificio. Fuente: Ingenierosindustriales.com

Grado de actividad	Temperatura seca del local					
	26°C		24°C		21°C	
	W		W		W	
	Sensible	Latente	Sensible	Latente	Sensible	Latente
Sentados, en reposo	61	41	67	35	75	27
Sentados, trabajo muy ligero	63	53	70	46	79	37
Empleado de oficina	63	68	71	60	82	49
De pie, marcha lenta	63	68	71	60	82	49
Sentado, de pie	64	82	74	72	85	61
Sentado, restaurante	71	90	82	79	94	67
Trabajo ligero en banco de taller	72	147	86	133	107	113
Baile o danza	80	168	95	153	117	131
Marcha, 5 km/h	96	196	111	181	135	158
Trabajo penoso	142	282	153	270	176	247

En este caso se considera que la temperatura seca del local es de 21 °C, debido a que es el menor registro de temperatura existente para otorgar valores de potencia sensible y latente por ocupante.

2.9. Consideraciones de ventilación

2.9.1. Tiempo de ventilación

Para el cálculo de la ventilación sensible se realizan algunos supuestos, los cuales se presentan en la Tabla 9 y Tabla 10. Se observa que, en la Tabla 10, el tiempo de ventilación es de 10 horas (41.6 %), ya que es el tiempo de funcionamiento diario del edificio. Posteriormente, el porcentaje al que corresponden las 10 horas se distribuye por cada hora de

funcionamiento y se multiplica por el porcentaje de apertura de las puertas para tener una mejor aproximación de la infiltración de aire producto de los accesos.

Tabla 9. Tiempo de ventilación considerado para las ventanas. Fuente: Elaboración propia.

Tiempo de ventilación de ventanas				
Estación	Norte	Sur	Este	Oeste
Verano	12:00-16:00	12:00-16:00	12:00-16:00	12:00-16:00
Invierno	12:00-13:00	13:00-14:00	13:00-14:00	13:00-14:00

Tabla 10. Tiempo de ventilación considerado para las puertas. Fuente: Elaboración propia.

Tiempo de ventilación de puertas				
Estación	Norte	Sur	Este	Oeste
Verano	10 hrs	10 hrs	10 hrs	10 hrs
Invierno	10 hrs	10 hrs	10 hrs	10 hrs

2.9.2. Porcentaje de apertura

El porcentaje de apertura considerado en ventanas en las orientaciones Norte, Sur, Este y Oeste es de 15% en los meses de septiembre a febrero y de 2% en los meses más fríos (de marzo a agosto).

Para los accesos, el porcentaje de apertura considerado en las orientaciones Norte, Sur y Este es de 90% ya que la puerta se abre casi en su totalidad al momento de ingresar al edificio.

2.9.3. Renovaciones de aire por hora

Para el cálculo de la ventilación latente se consideran los valores de renovaciones por hora presentes en el Manual de Diseño para Soluciones en Edificaciones, las cuales se presentan en la Figura 5. Cabe mencionar que, se consideran 3 tipos de recinto para el edificio analizado: baño público, comedor y estar, en donde este último representa el valor máximo de renovaciones de aire por hora de una sala de estar, lo que corresponde a salas de audiencia y edificio en general.

Lugar	n
Baño público	60
Gimnasio	10
Dormitorio	0,5 - 1
Living	3 - 5
Comedor	3 - 5
Cocina	5 - 10
Baño casa	5 - 15

Figura 5. Renovaciones de aire por hora en distintos lugares. Fuente: Aislación térmica exterior: Manual de Diseño para Soluciones en Edificaciones.

2.9.4. Velocidad del viento y dirección predominante

La velocidad del viento utilizada corresponde al promedio de velocidades diarias registradas en el Explorador Eólico del Ministerio de Energía entre los años 2004 a 2016, mientras que la dirección predominante del viento corresponde a los datos registrados por el explorador mencionado, mediante los gráficos de rosa de los vientos. En la Tabla 11 y Tabla 12 se indica la velocidad y dirección predominante del viento respectivamente

Tabla 11. Velocidad del viento (m/s) registrada en las coordenadas -36.6, -72.09. Fuente: Explorador Eólico del Ministerio de Energía.

Velocidad del Viento (m/s)				
Hora	Dic-Feb	Mar-May	Jun-Ago	Sept-Nov
0:00	2,14	1,67	2,02	1,73
1:00	2,18	1,66	2,07	1,74
2:00	2,17	1,66	2,09	1,73
3:00	2,12	1,65	2,13	1,73
4:00	2,06	1,63	2,10	1,72
5:00	2,01	1,64	2,18	1,69
6:00	1,94	1,64	2,18	1,66
7:00	1,93	1,60	2,16	1,62
8:00	1,97	1,58	2,14	1,69
9:00	2,01	1,65	2,13	1,83
10:00	2,06	1,76	2,21	2,00
11:00	2,07	1,88	2,30	2,09
12:00	2,14	1,98	2,36	2,14
13:00	2,22	2,03	2,39	2,17
14:00	2,28	2,05	2,40	2,23
15:00	2,35	2,09	2,35	2,28
16:00	2,42	2,06	2,27	2,34
17:00	2,48	1,99	2,19	2,26
18:00	2,43	1,82	2,14	2,13
19:00	2,23	1,83	2,10	2,02



20:00	2,11	1,79	2,09	1,94
21:00	2,04	1,72	2,01	1,79
22:00	2,01	1,67	2,00	1,69
23:00	2,05	1,67	2,05	1,68

Tabla 12. Dirección de viento predominante diario. Fuente: Explorador Eólico del Ministerio de Energía.

Dirección del Viento predominante				
Hora	Dic-Feb	Mar-May	Jun-Ago	Sept-Nov
0:00	Sur	Sur; Oeste	Norte; Este	Sur; Oeste
1:00	Sur	Sur; Oeste	Norte; Este	Sur; Oeste
2:00	Sur; Oeste	Sur; Oeste	Norte; Este	Sur; Oeste
3:00	Sur; Oeste	Sur; Oeste	Norte; Este	Sur; Oeste
4:00	Sur; Oeste	Sur; Oeste	Norte; Este	Sur; Oeste
5:00	Sur; Oeste	Sur; Oeste	Norte; Este	Sur; Oeste
6:00	Sur; Oeste	Sur; Oeste	Norte; Este	Sur; Oeste
7:00	Sur; Oeste	Sur; Oeste	Norte; Este	Sur; Oeste
8:00	Sur; Oeste	Sur; Oeste	Norte; Este	Sur; Oeste
9:00	Sur; Oeste	Sur; Oeste	Norte; Este	Sur; Oeste
10:00	Sur; Oeste	Sur; Oeste	Norte; Este	Sur; Oeste
11:00	Sur; Oeste	Sur; Oeste	Norte; Este	Sur; Oeste
12:00	Sur; Oeste	Sur; Oeste	Norte	Sur; Oeste
13:00	Sur; Oeste	Sur; Oeste	Norte	Sur; Oeste
14:00	Sur; Oeste	Sur; Oeste	Norte	Sur; Oeste
15:00	Sur; Oeste	Sur; Oeste	Norte	Sur; Oeste
16:00	Sur	Sur; Oeste	Norte	Sur; Oeste
17:00	Sur; Oeste	Sur; Oeste	Norte; Este	Sur; Oeste
18:00	Sur; Oeste	Sur; Oeste	Norte; Este	Sur; Oeste
19:00	Sur; Oeste	Sur; Oeste	Norte; Este	Sur; Oeste
20:00	Sur; Oeste	Sur; Oeste	Norte; Este	Sur; Oeste
21:00	Sur; Oeste	Sur; Oeste	Norte; Este	Sur; Oeste
22:00	Sur; Oeste	Sur; Oeste	Norte; Este	Sur; Oeste
23:00	Sur; Oeste	Sur; Oeste	Norte; Este	Sur; Oeste

3. RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados del edificio en su totalidad, es decir, considerando el conjunto de los 6 pisos utilizados regularmente.

3.1.Carga de envolvente

Las mayores pérdidas se generan en los meses de junio, julio y agosto, debido a la diferencia de temperatura exterior con respecto a la temperatura de diseño considerada. La pérdida principalmente se asocia a las losas de hormigón armado y a los muros cortina, debido a que los muros del edificio incluyen un sistema de aislación EIFS, por lo que no generan pérdidas de gran importancia.

En la Tabla 13 se presenta la carga de elementos que componen la envolvente térmica del edificio (ver Anexos).

3.2.Carga solar directa

En relación al aporte de carga solar directa del edificio, se observa que, entre las 11:00 y 16:00 horas se produce la mayor carga producto de la radiación solar. Cabe mencionar que, el aporte es considerable ya que el edificio cuenta con gran cantidad de muros cortinas en sus distintos niveles.

En la Tabla 14 se presenta la carga solar directa del edificio (ver Anexos).

3.3.Carga solar indirecta

El aporte de carga solar indirecta del edificio es menor que el aporte de carga solar directa. Esto debido al sistema EIFS que presentan los muros del edificio, lo cual impide un aumento significativo de temperatura dentro del recinto.

En la Tabla 15 se presenta la carga solar indirecta del edificio (ver Anexos).

3.4.Cargas internas

Las cargas internas del edificio se conforman en su mayoría por las cargas sensibles y latentes por ocupante. Esto debido a la capacidad de diseño del edificio de 2000 personas aproximadamente, las que se encuentran principalmente sentadas o en marcha lenta. En general, todos los aportes de cargas internas, ya sean de iluminación, artefactos u ocupantes, están limitadas por el horario de funcionamiento del edificio, el cual se encuentra en funcionamiento de lunes a viernes de 8:00 a 18:00 horas.

En la Tabla 16 se presentan las cargas internas presentes en el edificio (ver Anexos).

3.5. Cargas de ventilación

3.5.1. Ventilación sensible

Las cargas sensibles de ventilación son bajas debido a que son pocas las ventanas del edificio que se abren. Esto, en conjunto a los accesos del edificio, son los factores que generan pequeñas variaciones de temperatura con respecto a la temperatura interior del edificio y, por ende, pequeñas pérdidas de carga en el recinto.

En la Tabla 17 se presentan las cargas de ventilación sensible del edificio (ver Anexos).

3.5.2. Ventilación latente

La carga latente de ventilación del edificio es mayoritariamente positiva, debido a que la humedad exterior es principalmente mayor a la humedad de diseño. Entre las 17:00 y 23:00 horas se genera el efecto contrario, en donde se producen pérdidas de cargas debido a que la humedad exterior es más baja que la humedad de diseño.

En la Tabla 18 se presentan las cargas latentes de ventilación del edificio (ver Anexos).

3.6. Balance térmico

A continuación, se presentan las cargas térmicas totales del edificio, agrupado por meses. Se observa que, debido al clima presente en Chillán, se requiere de un mayor aporte energético para enfriar la temperatura interior del edificio en los meses de diciembre, enero, febrero, marzo, abril, mayo, septiembre, octubre y noviembre, aunque, de igual manera, en los meses de junio, julio y agosto, es donde se requiere un aporte energético necesario para calefaccionar el recinto.

En la Tabla 19, Tabla 20, Tabla 21 y Tabla 22 se presentan los resultados del balance térmico agrupado por meses (ver Anexos).

4. SOLUCIÓN PROPUESTA

4.1. Pozos canadienses

Como una forma de reducir el consumo de energía para lograr el ambiente de confort dentro del recinto se propone la instalación de pozos canadienses, también llamados pozos provenzales, los cuales consisten en un sistema de calefacción y refrigeración geotérmica que se basa en la estabilidad térmica que posee el suelo a cierta profundidad.

Según este método, se estudia la temperatura del suelo a una profundidad de 2 metros, debido a que a esa profundidad no existe una variación significativa de la temperatura, para posteriormente colocar tuberías enterradas en el suelo, las que producen calentar o enfriar el aire introducido en el recinto para aportar a la generación del ambiente de confort dentro de éste. El uso de ventiladores ayuda a la propagación de la temperatura de aire expulsado mediante el pozo canadiense al resto del edificio.

4.1.1. Factores a considerar

Para el diseño de pozos canadienses se deben considerar ciertos aspectos técnicos:

- Temperatura de ingreso del aire y temperatura ideal para acondicionar el ambiente: Estos datos se obtienen mediante mediciones in situ o bien, mediante una modelación sinusoidal de la temperatura⁶.
- Tipo de suelo: Se debe verificar el estudio de suelo para la factibilidad de construcción del pozo canadiense.
- Profundidad: El valor típico de construcción de los pozos canadienses es de 1.5 a 3 metros.
- Tipo de material de las tuberías: El material a utilizar debe ser resistente al aplastamiento, debido a que se colocan bajo el suelo. Se sugiere el uso de tubos plásticos como PVC, polipropileno, hormigón pretensado, acero galvanizado, entre otros.
- Punto de captación de aire: Se sugiere que el punto de captación de aire se encuentre entre 1 a 1.5 metros por sobre la superficie del terreno.

- **Mantenimiento:** Para evitar la entrada de partículas a las tuberías, se deben colocar filtros, los cuales deben cambiarse periódicamente y simultáneamente para las entradas interiores y exteriores. Se sugiere el mantenimiento de los filtros cada 1 mes (limpieza) y cambio cada 3 meses.

4.1.2. Propuesta de diseño

Utilizando el software GAEA 1.4.05⁷, se utilizan ciertos valores de entrada para conseguir un diseño adecuado que ayude a ventilar el 20% del volumen del recinto, es decir, 7835 m³, con una vida útil de 30 años.

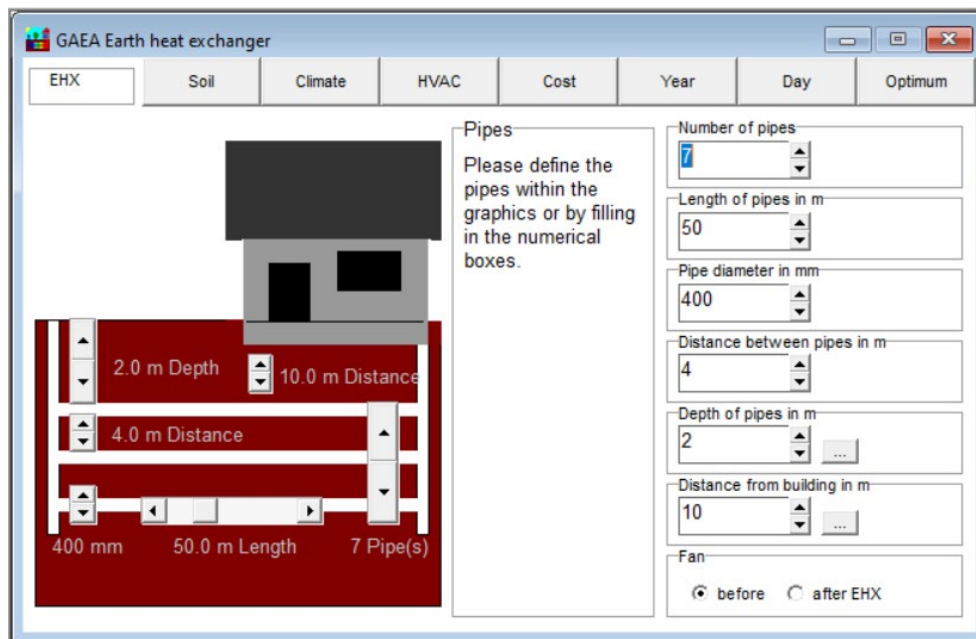


Figura 6. Pantalla de inicio del software GAEA. Fuente: Software GAEA 1.4.05.

Datos de entrada:

- Tipo de suelo: Grava arenosa, extraído de la mecánica de suelos presente en el proyecto de licitación.
- Nivel freático: -2.5 m, extraído de la mecánica de suelos de la licitación.
- Temperatura máxima mensual: 29°C
- Temperatura promedio anual: 17°C
- Temperatura mínima mensual: 5°C
- Mes donde se registra el máximo: Enero

⁷GAEA: Calculation of Earth Heat Exchangers, Alemania (Universität Siegen)

- Día donde se registra el máximo: 23
- Volumen del edificio: 7.835 m³
- Renovaciones por hora: 5
- Temperatura de diseño: 21°C
- Temperatura límite para calefaccionar: 19°C
- Temperatura límite para enfriar: 23°C

Datos obtenidos:

- Número de tuberías: 6
- Longitud de las tuberías: 50 m
- Diámetro de las tuberías: 750 mm
- Distancia entre las tuberías: 3 m
- Profundidad de las tuberías: 2 m
- Ventilador debe estar ubicado antes del sistema EHX (Earth Heat Exchanger) para succionar el aire y generar la circulación de este hacia el interior del recinto.
- Aporte energético anual de la propuesta: 97.619 kWh/a

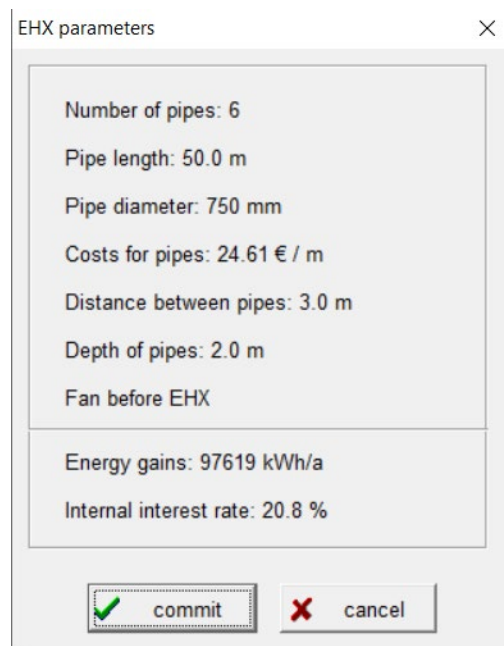


Figura 7. Parámetros de salida del programa GAEA, según los datos de entrada mencionados.
Fuente: Software GAEA 1.4.05.



Comparando los datos obtenidos en 3.6 con el aporte energético del diseño de pozo canadiense mencionado, se tiene que el sistema propuesto mejora en un 20% el acondicionamiento térmico interior del Centro Judicial de Chillán, debido a que el aporte del sistema es de 203.37 kW por hora, mientras que el mayor requerimiento energético calculado para enfriar y calefaccionar el edificio es de 804.78 kW y -411.76 kW respectivamente.

El análisis de costo de la solución planteada se resume en la Tabla 23 (ver Anexos).

5. CONCLUSIÓN

En general la materialidad del recinto analizado contribuye al acondicionamiento interno de este, principalmente por la radiación solar incidente. A pesar de esto, es necesario regular la temperatura y condiciones internas óptimas del edificio mediante la correcta ventilación de este y la implementación de sistemas geotérmicos, tales como el pozo canadiense planteado en este documento.

Debido a las características climáticas de Chillán, se requieren consumos considerables tanto para enfriar como para calefaccionar el recinto interior a la temperatura de diseño. Si bien el requerimiento energético para enfriar, según las consideraciones realizadas y las condiciones climáticas que caracterizan a Chillán, es mayor que el requerimiento energético necesario para calentar el edificio, se propone la solución de acondicionamiento geotérmico, el cual requiere de excavaciones y movimiento de tierra para llevarse a cabo, lo que podría ser tardío de realizar debido a que el recinto ya está construido.

Considerando la solución propuesta que consiste en la colocación de pozos canadienses enterrados a 2 metros de profundidad, el requerimiento energético disminuye en promedio un 37%, considerando los valores obtenidos de cargas de enfriamiento y calefacción requeridas. Esta solución constituye una opción sustentable de acondicionamiento interno, debido a que no existe un mayor daño al medio ambiente con la materialidad del sistema, el cual, además, tiene una vida útil de 30 años. De igual manera, para asegurar el correcto funcionamiento de éste, se recomienda realizar mantenciones cada 15 días a los filtros; de esta forma se evita una obstrucción de las tuberías por la posible entrada de polen, insectos, entre otros.



Si bien la solución planteada ayuda a disminuir el requerimiento energético, la implementación de pozos canadienses es un método complementario para acondicionar el recinto, por lo que no debe considerarse como única opción, sino más bien complementarse con otro sistema de acondicionamiento que puede ser eléctrico, calderas, de materiales con buena eficiencia térmica para mejorar la envolvente del edificio, entre otros.

6. ANEXOS

A continuación, se presentan los resultados del balance de cargas, además del costo de aplicación de la solución planteada:

Tabla 13. Carga de elementos de envolvente (kW). Fuente: Elaboración propia.

CARGA DE ENVOLVENTE DEL EDIFICIO (kW)				
Hora	DIC-FEB	MAR-MAY	JUN-AGO	SEPT-NOV
0:00	-249,40	-371,37	-541,15	-471,64
1:00	-281,77	-390,76	-552,38	-495,96
2:00	-312,03	-410,09	-563,10	-519,28
3:00	-341,23	-431,22	-572,60	-540,37
4:00	-368,75	-450,20	-581,40	-558,88
5:00	-399,41	-466,99	-589,00	-577,39
6:00	-423,43	-481,18	-596,88	-597,18
7:00	-407,54	-493,88	-605,06	-601,78
8:00	-363,19	-488,60	-606,75	-570,33
9:00	-289,24	-455,77	-586,79	-511,88
10:00	-189,90	-397,44	-555,36	-427,66
11:00	-76,50	-320,96	-511,36	-337,74
12:00	28,84	-235,36	-460,71	-255,46
13:00	116,56	-161,30	-411,06	-183,64
14:00	180,24	-105,25	-373,77	-129,27
15:00	223,41	-67,66	-355,01	-100,27
16:00	230,29	-66,18	-352,16	-102,91
17:00	193,38	-100,59	-392,24	-133,63
18:00	139,21	-159,34	-433,36	-190,76
19:00	59,32	-216,83	-463,01	-269,01
20:00	-34,53	-262,36	-485,79	-332,38
21:00	-108,24	-298,77	-503,46	-380,07
22:00	-165,86	-328,07	-517,65	-415,01
23:00	-212,06	-352,22	-529,55	-443,15

Tabla 14. Carga de radiación solar directa del edificio (kW). Fuente: Elaboración propia.

CARGA RADIACIÓN SOLAR EDIFICIO (kW)				
Hora	DIC-FEB	MAR-MAY	JUN-AGO	SEPT-NOV
0:00	0	0	0	0
1:00	0	0	0	0
2:00	0	0	0	0
3:00	0	0	0	0
4:00	0	0	0	0
5:00	0	0	0	0
6:00	0	0	0	0
7:00	3	0	0	7
8:00	38	19	5	36
9:00	79	49	24	67
10:00	116	77	39	94
11:00	162	112	57	125
12:00	179	121	63	139
13:00	183	139	73	141
14:00	301	234	128	222
15:00	267	213	132	195
16:00	214	170	105	150
17:00	140	112	77	89
18:00	42	19	3	23
19:00	0	0	0	0
20:00	0	0	0	0
21:00	0	0	0	0
22:00	0	0	0	0
23:00	0	0	0	0

Tabla 15. Carga solar indirecta del edificio (kW). Fuente: Elaboración propia.

CARGA POR TRANSMISIÓN Y RADIACIÓN INDIRECTA (kW)				
Hora	DIC-FEB	MAR-MAY	JUN-AGO	SEPT-NOV
0:00	0	0	0	0
1:00	0	0	0	0
2:00	0	0	0	0
3:00	0	0	0	0
4:00	0	0	0	0
5:00	0	0	0	0
6:00	0	0	0	0
7:00	0,64	0,01	0,01	0,82
8:00	16,67	10,03	9,21	16,55
9:00	46,98	36,34	34,86	46,32
10:00	69,48	56,51	54,33	68,20
11:00	86,95	74,33	71,37	84,93
12:00	95,82	80,07	76,98	93,68
13:00	98,36	92,06	88,52	96,06
14:00	91,71	88,58	86,12	89,88
15:00	81,43	80,55	78,68	79,77
16:00	65,25	64,39	62,88	63,76
17:00	42,55	42,23	41,42	41,36
18:00	12,82	7,32	7,32	12,76



19:00	0,06	0,00	0,00	0,05
20:00	0	0	0	0
21:00	0	0	0	0
22:00	0	0	0	0
23:00	0	0	0	0

Tabla 16. Cargas internas del edificio (W y kW). Fuente: Elaboración propia.

CÁLCULO CARGAS INTERNAS		
Tipo	Potencia (W)	Potencia (kW)
\dot{Q}_{iii}	18572,82	18,57
\dot{Q}_{ie}	33885,6	33,88
\dot{Q}_{ipl}	41118,84	41,11
\dot{Q}_{ips}	68811,12	68,81
\dot{Q}_{it}	162388,38	162,39

Tabla 17. Carga de ventilación sensible del edificio (kW). Fuente: Elaboración propia.

CARGA SENSIBLE DE VENTILACIÓN (kW)				
Hora	DIC-FEB	MAR-MAY	JUN-AGO	SEPT-NOV
0:00	0,00	0,00	0,00	0,00
1:00	0,00	0,00	0,00	0,00
2:00	-0,01	0,02	0,04	0,01
3:00	0,00	0,03	0,04	0,02
4:00	0,00	0,03	0,04	0,02
5:00	0,01	0,03	0,04	0,03
6:00	0,02	0,03	0,04	0,03
7:00	0,02	0,04	0,04	0,04
8:00	-6,43	-8,19	-20,86	-9,29
9:00	-4,99	-7,94	-20,09	-8,92
10:00	-2,95	-7,29	-19,67	-7,95
11:00	-0,48	-6,13	-18,67	-6,30
12:00	15,71	-4,47	-9,55	-30,67
13:00	37,82	-3,35	-8,01	-36,09
14:00	57,59	-1,88	-6,88	-21,52
15:00	72,60	-0,67	-6,35	-12,30
16:00	32,40	-0,63	-6,07	-5,41
17:00	6,48	-1,41	-13,31	-1,93
18:00	-0,01	0,01	0,03	0,00
19:00	-0,01	0,00	0,02	0,00
20:00	-0,02	0,00	0,02	-0,01
21:00	-0,02	0,00	0,02	-0,01
22:00	-0,03	0,00	0,02	-0,01
23:00	-0,03	0,00	0,02	-0,01



Tabla 18. Carga latente de ventilación del edificio (kW). Fuente: Elaboración propia.

CARGA LATENTE DE VENTILACIÓN (kW)				
Hora	DIC-FEB	MAR-MAY	JUN-AGO	SEPT-NOV
0:00	-11,7	21,5	37,3	7,7
1:00	-3,5	26,2	38,6	15,3
2:00	3,7	28,8	39,4	21,8
3:00	10,4	32,4	39,6	27,0
4:00	15,4	34,2	39,6	31,7
5:00	19,6	35,7	39,6	35,2
6:00	24,0	37,1	39,6	37,6
7:00	26,5	38,3	39,6	39,0
8:00	29,6	39,0	39,6	39,6
9:00	32,3	39,6	39,6	39,6
10:00	33,3	39,6	39,6	39,6
11:00	28,7	39,6	39,6	38,3
12:00	22,2	36,9	39,6	34,6
13:00	12,9	30,9	39,6	26,6
14:00	4,5	23,6	39,6	16,1
15:00	-2,3	16,3	36,2	6,7
16:00	-8,8	9,2	30,7	0,5
17:00	-14,8	3,2	24,5	-3,5
18:00	-19,8	-0,2	20,2	-7,2
19:00	-23,5	-2,3	18,1	-10,5
20:00	-25,6	-2,3	17,4	-13,0
21:00	-25,3	0,2	19,3	-13,7
22:00	-22,9	8,3	27,4	-10,0
23:00	-18,7	15,9	34,5	-2,6

Tabla 19. Balance térmico total del edificio correspondiente a los meses de diciembre a febrero. Fuente: Elaboración propia.

CARGAS TOTALES DE ENFRIAMIENTO Y CALEFACCIÓN PARA LOS MESES DE DICIEMBRE A FEBRERO											
Hora	\dot{Q}_c (kW)	\dot{Q}_{sr} (kW)	\dot{Q}_{srt} (kW)	\dot{Q}_{sv} (kW)	\dot{Q}_{lv} (kW)	\dot{Q}_i (kW)	\dot{Q}_t (kW)	Total Enfriamiento (kW)	Total Calefacción (kW)	Potencia necesaria para calefacción (W/m ²)	Potencia necesaria para enfriamiento (W/m ²)
0:00	-249,40	0	0	0,00	-11,7	162,39	-98,70	0	-98,70	9,57	0
1:00	-281,77	0	0	0,00	-3,5	162,39	-122,90	0	-122,90	11,92	0
2:00	-312,03	0	0	-0,01	3,7	162,39	-145,94	0	-145,94	14,16	0
3:00	-341,23	0	0	0,00	10,4	162,39	-168,44	0	-168,44	16,34	0
4:00	-368,75	0	0	0,00	15,4	162,39	-190,93	0	-190,93	18,52	0
5:00	-399,41	0	0	0,01	19,6	162,39	-217,39	0	-217,39	21,09	0
6:00	-423,43	0	0	0,02	24,0	162,39	-237,06	0	-237,06	22,99	0
7:00	-407,54	2,91	0,64	0,02	26,5	162,39	-215,10	0	-215,10	20,86	0
8:00	-363,19	38,34	16,67	-6,43	29,6	162,39	-122,58	0	-122,58	11,89	0
9:00	-289,24	78,76	46,98	-4,99	32,3	162,39	26,18	26,2	0	0	2,54
10:00	-189,90	116,48	69,48	-2,95	33,3	162,39	188,79	188,8	0	0	18,31
11:00	-76,50	162,04	86,95	-0,48	28,7	162,39	363,12	363,1	0	0	35,22
12:00	28,84	178,58	95,82	15,71	22,2	162,39	503,55	503,5	0	0	48,84
13:00	116,56	183,32	98,36	37,82	12,9	162,39	611,30	611,3	0	0	59,29
14:00	180,24	301,01	91,71	57,59	4,5	162,39	797,43	797,4	0	0	77,35
15:00	223,41	267,27	81,43	72,60	-2,3	162,39	804,78	804,8	0	0	78,06
16:00	230,29	214,15	65,25	32,40	-8,8	162,39	695,68	695,7	0	0	67,48
17:00	193,38	139,64	42,55	6,48	-14,8	162,39	529,63	529,6	0	0	51,37
18:00	139,21	42,34	12,82	-0,01	-19,8	162,39	336,94	336,9	0	0	32,68
19:00	59,32	0,42	0,06	-0,01	-23,5	162,39	198,64	198,6	0	0	19,27
20:00	-34,53	0	0	-0,02	-25,6	162,39	102,27	102,3	0	0	9,92
21:00	-108,24	0	0	-0,02	-25,3	162,39	28,84	28,8	0	0	2,80
22:00	-165,86	0	0	-0,03	-22,9	162,39	-26,35	0,0	-26,35	2,56	0
23:00	-212,06	0	0	-0,03	-18,7	162,39	-68,43	0,0	-68,43	6,64	0

Tabla 20. Balance térmico total del edificio correspondiente a los meses de marzo a mayo. Fuente: Elaboración propia.

CARGAS TOTALES DE ENFRIAMIENTO Y CALEFACCIÓN PARA LOS MESES DE MARZO A MAYO											
Hora	\dot{Q}_c (kW)	\dot{Q}_{sr} (kW)	\dot{Q}_{srt} (kW)	\dot{Q}_{sv} (kW)	\dot{Q}_{lv} (kW)	\dot{Q}_i (kW)	\dot{Q}_t (kW)	Total Enfriamiento (kW)	Total Calefacción (kW)	Potencia necesaria para calefacción (W/m ²)	Potencia necesaria para enfriamiento (W/m ²)
0:00	-371,37	0	0	0,00	21,5	162,39	-187,52	0	-187,52	18,19	0
1:00	-390,76	0	0	0,00	26,2	162,39	-202,22	0	-202,22	19,61	0
2:00	-410,09	0	0	0,02	28,8	162,39	-218,91	0	-218,91	21,23	0
3:00	-431,22	0	0	0,03	32,4	162,39	-236,39	0	-236,39	22,93	0
4:00	-450,20	0	0	0,03	34,2	162,39	-253,58	0	-253,58	24,60	0
5:00	-466,99	0	0	0,03	35,7	162,39	-268,87	0	-268,87	26,08	0
6:00	-481,18	0	0	0,03	37,1	162,39	-281,67	0	-281,67	27,32	0
7:00	-493,88	0,04	0,01	0,04	38,3	162,39	-293,09	0	-293,09	28,43	0
8:00	-488,60	18,78	10,03	-8,19	39,0	162,39	-266,56	0	-266,56	25,86	0
9:00	-455,77	49,23	36,34	-7,94	39,6	162,39	-176,18	0	-176,18	17,09	0
10:00	-397,44	76,56	56,51	-7,29	39,6	162,39	-69,66	0	-69,66	6,76	0
11:00	-320,96	112,05	74,33	-6,13	39,6	162,39	61,24	61	0	0	5,94
12:00	-235,36	120,70	80,07	-4,47	36,9	162,39	160,22	160	0	0	15,54
13:00	-161,30	138,77	92,06	-3,35	30,9	162,39	259,51	260	0	0	25,17
14:00	-105,25	233,94	88,58	-1,88	23,6	162,39	401,37	401	0	0	38,93
15:00	-67,66	212,74	80,55	-0,67	16,3	162,39	403,70	404	0	0	39,16
16:00	-66,18	170,06	64,39	-0,63	9,2	162,39	339,22	339	0	0	32,90
17:00	-100,59	111,52	42,23	-1,41	3,2	162,39	217,34	217,341	0	0	21,08
18:00	-159,34	19,24	7,32	0,01	-0,2	162,39	29,42	29,419	0	0	2,85
19:00	-216,83	0,01	0,00	0,00	-2,3	162,39	-56,68	0	-56,68	5,50	0
20:00	-262,36	0	0	0,00	-2,3	162,39	-102,30	0	-102,30	9,92	0
21:00	-298,77	0	0	0,00	0,2	162,39	-136,23	0	-136,23	13,21	0
22:00	-328,07	0	0	0,00	8,3	162,39	-157,41	0	-157,41	15,27	0
23:00	-352,22	0	0	0,00	15,9	162,39	-173,91	0	-173,91	16,87	0

Tabla 21. Balance térmico total del edificio correspondiente a los meses de junio a agosto. Fuente: Elaboración propia.

CARGAS TOTALES DE ENFRIAMIENTO Y CALEFACCIÓN PARA LOS MESES DE JUNIO A AGOSTO											
Hora	\dot{Q}_c (kW)	\dot{Q}_{sr} (kW)	\dot{Q}_{srt} (kW)	\dot{Q}_{sv} (kW)	\dot{Q}_{lv} (kW)	\dot{Q}_i (kW)	\dot{Q}_t (kW)	Total Enfriamiento (kW)	Total Calefacción (kW)	Potencia necesaria para calefacción (W/m ²)	Potencia necesaria para enfriamiento (W/m ²)
0:00	-541,15	0	0	0,00	37,3	162,39	-341,50	0	-341,50	33,12	0
1:00	-552,38	0	0	0,00	38,6	162,39	-351,36	0	-351,36	34,08	0
2:00	-563,10	0	0	0,04	39,4	162,39	-361,25	0	-361,25	35,04	0
3:00	-572,60	0	0	0,04	39,6	162,39	-370,56	0	-370,56	35,94	0
4:00	-581,40	0	0	0,04	39,6	162,39	-379,36	0	-379,36	36,80	0
5:00	-589,00	0	0	0,04	39,6	162,39	-386,95	0	-386,95	37,53	0
6:00	-596,88	0	0	0,04	39,6	162,39	-394,84	0	-394,84	38,30	0
7:00	-605,06	0	0,01	0,04	39,6	162,39	-403,01	0	-403,01	39,09	0
8:00	-606,75	4,63	9,21	-20,86	39,6	162,39	-411,77	0	-411,77	39,94	0
9:00	-586,79	23,53	34,86	-20,09	39,6	162,39	-346,50	0	-346,50	33,61	0
10:00	-555,36	38,81	54,33	-19,67	39,6	162,39	-279,88	0	-279,88	27,15	0
11:00	-511,36	57,12	71,37	-18,67	39,6	162,39	-199,53	0	-199,53	19,35	0
12:00	-460,71	63,48	76,98	-9,55	39,6	162,39	-127,80	0	-127,80	12,40	0
13:00	-411,06	73,05	88,52	-8,01	39,6	162,39	-55,51	0	-55,51	5,38	0
14:00	-373,77	127,59	86,12	-6,88	39,6	162,39	35,07	35	0	0	3,40
15:00	-355,01	131,93	78,68	-6,35	36,2	162,39	47,86	48	0	0	4,64
16:00	-352,16	104,91	62,88	-6,07	30,7	162,39	2,61	3	0	0	0,25
17:00	-392,24	76,81	41,42	-13,31	24,5	162,39	-100,41	0	-100,41	9,74	0
18:00	-433,36	2,67	7,32	0,03	20,2	162,39	-240,73	0	-240,73	23,35	0
19:00	-463,01	0	0,00	0,02	18,1	162,39	-282,49	0	-282,49	27,40	0
20:00	-485,79	0	0	0,02	17,4	162,39	-306,01	0	-306,01	29,68	0
21:00	-503,46	0	0	0,02	19,3	162,39	-321,73	0	-321,73	31,21	0
22:00	-517,65	0	0	0,02	27,4	162,39	-327,83	0	-327,83	31,80	0
23:00	-529,55	0	0	0,02	34,5	162,39	-332,69	0	-332,69	32,27	0

Tabla 22. Balance térmico total del edificio correspondiente a los meses de septiembre a noviembre. Fuente: Elaboración propia.

CARGAS TOTALES DE ENFRIAMIENTO Y CALEFACCIÓN PARA LOS MESES DE SEPTIEMBRE A NOVIEMBRE											
Hora	\dot{Q}_c (kW)	\dot{Q}_{sr} (kW)	\dot{Q}_{srt} (kW)	\dot{Q}_{sv} (kW)	\dot{Q}_{lv} (kW)	\dot{Q}_i (kW)	\dot{Q}_t (kW)	Total Enfriamiento (kW)	Total Calefacción (kW)	Potencia necesaria para calefacción (W/m ²)	Potencia necesaria para enfriamiento (W/m ²)
0:00	-471,64	0	0	0,00	7,7	162,39	-301,58	0	-301,58	29,25	0
1:00	-495,96	0	0	0,00	15,3	162,39	-318,23	0	-318,23	30,87	0
2:00	-519,28	0	0	0,01	21,8	162,39	-335,09	0	-335,09	32,50	0
3:00	-540,37	0	0	0,02	27,0	162,39	-351,00	0	-351,00	34,05	0
4:00	-558,88	0	0	0,02	31,7	162,39	-364,74	0	-364,74	35,38	0
5:00	-577,39	0	0	0,03	35,2	162,39	-379,74	0	-379,74	36,83	0
6:00	-597,18	0	0	0,03	37,6	162,39	-397,14	0	-397,14	38,52	0
7:00	-601,78	7,22	0,82	0,04	39,0	162,39	-392,34	0	-392,34	38,05	0
8:00	-570,33	36,15	16,55	-9,29	39,6	162,39	-324,93	0	-324,93	31,52	0
9:00	-511,88	67,33	46,32	-8,92	39,6	162,39	-205,15	0	-205,15	19,90	0
10:00	-427,66	94,16	68,20	-7,95	39,6	162,39	-71,25	0	-71,25	6,91	0
11:00	-337,74	124,66	84,93	-6,30	38,3	162,39	66,25	66,25	0	0	6,43
12:00	-255,46	138,80	93,68	-30,67	34,6	162,39	143,30	143,30	0	0	13,90
13:00	-183,64	140,55	96,06	-36,09	26,6	162,39	205,86	205,86	0	0	19,97
14:00	-129,27	221,74	89,88	-21,52	16,1	162,39	339,28	339,28	0	0	32,91
15:00	-100,27	195,26	79,77	-12,30	6,7	162,39	331,55	331,55	0	0	32,16
16:00	-102,91	149,72	63,76	-5,41	0,5	162,39	268,02	268,02	0	0	26,00
17:00	-133,63	88,50	41,36	-1,93	-3,5	162,39	153,21	153,21	0	0	14,86
18:00	-190,76	23,29	12,76	0,00	-7,2	162,39	0,46	0,46	0	0	0
19:00	-269,01	0	0,05	0,00	-10,5	162,39	-117,03	0	-117,03	11,35	0
20:00	-332,38	0	0	-0,01	-13,0	162,39	-182,96	0	-182,96	17,75	0
21:00	-380,07	0	0	-0,01	-13,7	162,39	-231,43	0	-231,43	22,45	0
22:00	-415,01	0	0	-0,01	-10,0	162,39	-262,60	0	-262,60	25,47	0
23:00	-443,15	0	0	-0,01	-2,6	162,39	-283,39	0	-283,39	27,49	0



Tabla 23. Tabla de costos de implementación de la solución planteada. Fuente: Elaboración propia.

ITEM	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (\$)	P. TOTAL
EXCAVACIÓN (INCLUYE M.O ⁸ Y MAQUINARIA)	M3	1950	3000	\$ 5.850.000
TUBERÍA HDPE 750 MM X 6 M	M	54	650000	\$ 35.100.000
				\$ 40.950.000

⁸ M.O: Mano de obra.