



ANÁLISIS DE ENVOLVENTE TÉRMICA DEL AEROPUERTO INTERNACIONAL CARRIEL SUR PARA LA EVALUACIÓN ENERGÉTICA Y PROPUESTA DE REDUCCIÓN DE ÉSTA

M. Donoso Méndez¹, F. González Monsalve² y C. Correa Rogel³

RESUMEN:

El **Aeropuerto Internacional Carriel Sur** por el cual transitan más de 1.200.000 personas por año, corresponde a uno de los principales aeropuertos de nuestro país. Para brindar un servicio de calidad con respecto a la principal función del aeropuerto, es necesario proporcionar un ambiente adecuado, tanto en temperatura, como humedad interior. Para analizar la potencia requerida para calefaccionar el Aeropuerto Internacional Carriel Sur, se realiza el balance de energía del recinto agrupado por estaciones del año, es decir, para los meses de diciembre a febrero, marzo a mayo, junio a agosto y septiembre noviembre, obteniendo así que la demanda máxima de calefacción y enfriamiento es de 866 kW y 1252 kW respectivamente.

Debido a la materialidad del edificio y a las condiciones climáticas de Talcahuano, la demanda de energía de calefacción es mayor que la demanda de enfriamiento.

Palabras clave: Aeropuerto Carriel Sur, demanda energética, potencia de calefacción.

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

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

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

**ABSTRACT:**

Carriel Sur International Airport, through which more than 1,200,000 people pass each year, is one of the main airports in our country. In order to provide a quality service with respect to the main function of the airport, it is necessary to provide an adequate environment, both in terms of temperature and interior humidity. To analyze the power required to heat the Carriel Sur International Airport, the energy balance of the enclosure is carried out grouped by seasons of the year, that is, for the months of December to February, March to May, June to August and September to November, obtaining so the maximum demand for heating and cooling is 866 kW and 1252 kW respectively.

Due to the materiality of the building and the climatic conditions of Talcahuano, the demand for heating energy is greater than the demand for cooling.

Keywords: Carriel Sur Airport, energy demand, heating power.

1. INTRODUCCIÓN

Hace más de 30 años que en Europa se ha aplicado el requerimiento energético para estimar el cálculo de calefacción que requiere un edificio, y de este modo emplear elementos y técnicas constructivas para disminuir este requerimiento, volviendo más eficientes las edificaciones. En Chile desde el 2007 se busca la manera de mejorar la envolvente térmica, rigiéndose por la NCh853-2007, la cual tiene como objetivo asegurar el confort térmico para los ocupantes, esto se aplica tanto para viviendas como para edificios. Este cálculo se le realiza al Aeropuerto Internacional Carriel Sur.

La importancia de la envolvente térmica es proteger a los ocupantes del clima exterior. Se estudia gran parte del Aeropuerto Internacional Carriel Sur (ver Figura 1 e Figura 2), el que se compone por los accesos principales, dos pisos, oficinas, baños, entre otros, para los cuales se recopilará información de los meses más fríos (temperatura, viento y dirección), para aplicar los cálculos correspondientes a la envolvente térmica y, de esta forma, determinar cuáles son los puntos más desfavorables o de mayor transmitancia térmica que tiene el edificio, y así entregar una o varias soluciones para evitar la pérdida energética.

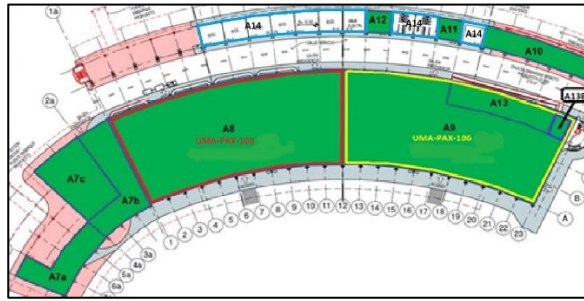


Figura 1: Zona de estudio primer piso Aeropuerto Carriel Sur. Fuente: Documentos adjuntos licitación

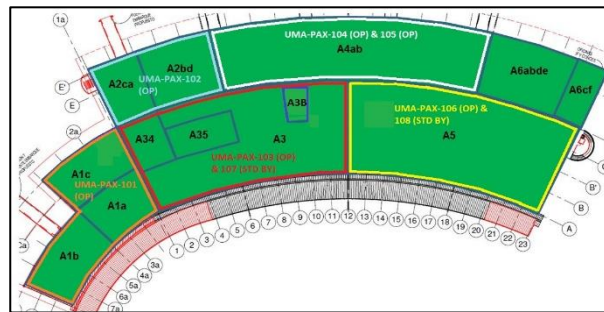


Figura 2: Zona de estudio segundo piso Aeropuerto Carriel Sur. Documentos adjuntos licitación

2. METODOLOGÍA

2.1. Consideraciones

Para el comienzo del estudio y posteriormente el cálculo de las cargas térmicas sobre el edificio, se consideran los siguientes aspectos:

- Ubicación tanto geográfica como orientación de la edificación.
- Capacidad del edificio
- Planos arquitectónicos y especificaciones técnicas
- Condiciones interiores, exteriores y climatológicas del sector.
- Número de personas que utilizan las instalaciones
- Artefactos eléctricos y tipo de iluminación

2.2. Área de estudio

El Aeropuerto Internacional Carriel Sur cuenta con una superficie del edificio terminal de 11.924 m², lo que considera el edificio general más bodegas, salas eléctricas, entre otras. El edificio está compuesto por termopaneles de vidrio, hormigón arquitectónico, madera, entre otros materiales tanto en interior como en exterior. Este es uno de los más importantes edificios del gran Concepción, dado que es una puerta para viajes dentro de Chile como hacia el extranjero.

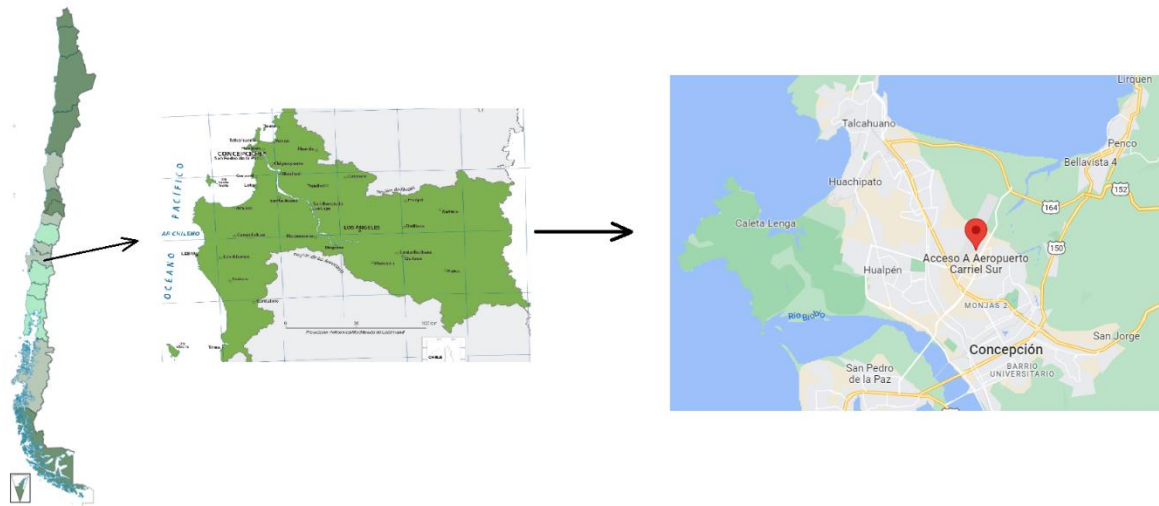


Figura 3: Ubicación del edificio Aeropuerto Internacional Carriel Sur. Fuente propia

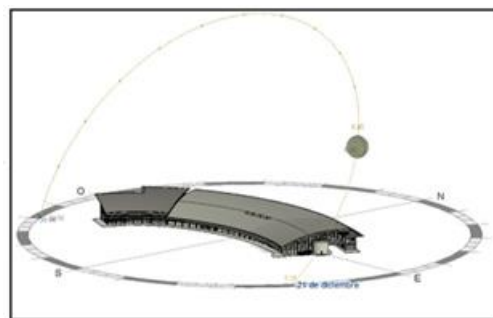


Figura 4: Modelo en Revit indicando el camino del sol. Fuente propia



La edificación (Figura 3 y Figura 4) se ubica en Av. Jorge Alessandri #5001, Talcahuano, Chile. La VIII región tiene como zonificación térmica 4⁴ y zona sur litoral⁵ (SL).

3. Balance térmico

La transferencia de calor en las viviendas es el resultado de una combinación de tres formas, pero el modo de transmisión más importante es por conducción a través de la envolvente. En una edificación las condiciones térmicas se determinan por pérdidas o ganancias de calor, donde se enfriará cuando sean mayores las pérdidas que las ganancias de calor y se calentará cuando las ganancias sean mayores que las pérdidas de calor, cuando estas condiciones superan o están por debajo del nivel de confort, se tendrá que optar por alguna fuente de energía térmica o refrigerante dependiendo del caso.

⁴ Bustamante, W. (s. f.). Guía de Diseño para la Eficiencia Energética en la Vivienda Social. Recuperado de http://old.acee.cl/576/articles-61341_doc_pdf.pdf

⁵ Arquitectura y construcción - Zonificación climático habitacional para Chile y recomendaciones para el diseño arquitectónico. (s. f.). Recuperado de <https://seigrapa.weebly.com/uploads/1/1/8/2/11828201/nch1079-1977.pdf>

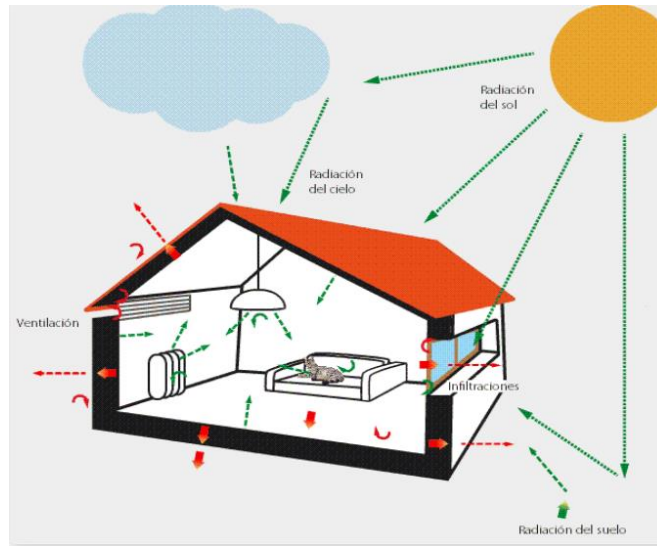


Figura 5: Transferencia de calor en una edificación. Fuente: <http://rctecnova.cl/>

El balance térmico de energía de una edificación (ver Figura 5), indica si requiere calefacción o enfriamiento, esto ocurre cuando se realiza una sumatoria de todos los factores que inciden en el edificio, se expresa con la siguiente (Ecuación 1)

$$\dot{Q}_{total} = \dot{Q}_s + \dot{Q}_i + \dot{Q}_c + \dot{Q}_v \quad (1)$$

Donde:

- \dot{Q}_s : Balance térmico de cargas solares [W].
- \dot{Q}_i : Balance térmico de cargas internas [W].
- \dot{Q}_c : Balance térmico de los elementos de la envolvente [W].
- \dot{Q}_v : Balance térmico de cargas de ventilación [W].

3.1. Balance térmico de cargas solares, \dot{Q}_s

3.1.1. Carga solar directa (elementos vidriados), \dot{Q}_{sr}

Las ganancias solares directas se obtienen a través de las ventanas, gracias a la radiación solar que pasa por la superficie de vidrio, la cual genera un aumento de la temperatura de la vivienda.

Los factores que la conforman, se encuentran expresados en la Ecuación (2).

$$\dot{Q}_{sr} = S * R * \theta \quad (2)$$

Donde:

- S: Superficie acristalada expuesto a la radiación [m^2].
- R: Radiación solar que atraviesa la superficie del cristal [W/m^2].
- θ : Coeficiente de ganancia solar.

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

Los datos de la radiación solar, fueron proporcionados por el Ministerio de Energía de Chile, en conjunto al Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile, los cuales fueron obtenidos de la página: <http://www.minenergia.cl/exploradorsolar/>.

3.1.1.2. Coeficiente de ganancia solar o SHGC (θ)

Expresa las ganancias solares que pasan a través de ventanas en relación a la radiación solar incidente. En este caso, se considera un coeficiente de ganancia solar de 0.3, debido a las especificaciones técnicas de los ventanales del aeropuerto.

$$\theta = 0.3$$

3.1.2. Carga solar indirecta, \dot{Q}_{srt}

La carga solar indirecta, corresponde a la carga de radiación solar que se transmite a través de los muros y techos opacos que forman parte de la envolvente.

Los factores que conforman esta carga están expresados en la Ecuación (3).

$$\dot{Q}_{srt} = U * S * (R * \alpha * R_{So}) \quad (3)$$

Donde:

- U: Transmitancia térmica del elemento [$W/m^2 K$].
- S: Superficie opaca expuesta a la diferencia de temperatura [m^2].
- R: Radiación solar total incidente [W/m^2].
- α : Absortancia de la superficie [0-1].
- R_{So} : Resistencia de la película exterior de aire [m^2K/W].

3.2. Balance térmico de cargas internas, \dot{Q}_i

3.2.1. Balance térmico de cargas internas de iluminación, \dot{Q}_{ii}

Se consideran como el aporte calórico emitido mediante convección, radiación y conducción a partir de ampollitas. Los factores que conforman esta carga están expresados mediante las siguientes ecuaciones dependiendo del tipo del tipo de ampollitas (4) y (5).

3.2.1.1. Carga interna sensible de iluminación para lámparas incandescentes, $\dot{Q}_{ii,incandes}$.

$$\dot{Q}_{iii} = n * Pot_{lámpara\ incandescente} \quad (4)$$

Donde:

- n: Número de lámparas de cada tipo.
- $Pot_{lámpara\ incandescente}$: Potencia de la bombilla, lámpara incandescente [W].

3.2.1.2. Carga interna sensible de iluminación para lámparas de descarga, $\dot{Q}_{ii,descarga}$

$$\dot{Q}_{iid} = 1,25 * n * Pot_{lámpara\ descarga} \quad (5)$$

Donde:

- n: Número de lámparas de cada tipo.
- $Pot_{lámpara\ incandescente}$: Potencia de la bombilla, lámpara de descarga [W].

3.2.2. Carga interna por artefacto, \dot{Q}_{ie}

La carga interna por artefacto, es la suma total de cada una de las potencias de los aparatos eléctricos que se encuentren en el recinto, transformando esta potencia en calor para la edificación.

Los factores que conforman esta carga están expresados en la **Ecuación (6)**.

$$\dot{Q}_{ie} = \sum (n * C_{artefacto}) \quad (6)$$

Donde:

- n: Número de artefactos en el recinto.
- $C_{artefacto}$: Carga térmica sensible de cada artefacto a considerar [W].

3.2.3. Carga interna sensible por ocupante, \dot{Q}_{ips}

Corresponde a las cargas que aporta cada persona a la edificación ya sea ganancia o pérdida de calor debido a radiación, convección, conducción, evaporación y respiración.

Los factores que conforman esta carga se expresan mediante la siguiente **Ecuación (7)**.

$$\dot{Q}_{ips} = n * C_{sensible, persona} \quad (7)$$

Donde:

- n : Número de usuarios estimados en el recinto.
- $C_{sensible, persona}$: Calor sensible por persona y actividad que realice [W].

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

La carga latente por ocupante, corresponde al calor latente que aporta cada persona a la edificación. Los factores que conforman esta carga se expresan mediante la **Ecuación (8)**.

$$\dot{Q}_{ipl} = n * C_{latente, persona} \quad (8)$$

Donde:

- n : Número de personas que ocupan el recinto.
- $C_{latente, persona}$: Carga latente por persona según actividad que realice.

3.3. Balance térmico de cargas de los elementos de la envolvente, \dot{Q}_c

El balance térmico de la envolvente se obtiene mediante la carga térmica de cada elemento que componen el cerramiento de la vivienda (muros, ventanas, puertas, techumbre, piso). Los factores que conforman esta carga se expresan en la **Ecuación (9)**.

$$\dot{Q}_c = U * S * (T_{ext} - T_{int}) \quad (9)$$

Donde:

- U : Transmitancia térmica del elemento [W/m² K].
- S : Superficie expuesta a la diferencia de temperatura [m²].
- T_{ext} : Temperatura de aire exterior [K].
- T_{int} : Temperatura de aire interior [K].

3.4. Balance térmico de cargas de ventilación

3.4.1. Carga sensible de ventilación, \dot{Q}_{vs}

La carga sensible de ventilación corresponde a la infiltración y ventilación del aire exterior. Los factores que conforman esta se expresan en la **Ecuación (10)**.

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

Donde:

- $C_{e, aire}$: Calor específico del aire [1012 J/kg °C].
- V_{infil} : Caudal de aire de ventilación [m³/s].
- ρ : Densidad de aire [1,18 kg/m³].

- ΔT : Diferencia de temperaturas entre el ambiente exterior e interior [°C].

3.4.1.1. Caudal de aire de ventilación, V_{infil}

El aire de infiltración se obtiene a través de la orientación y la velocidad del uso de las ventanas y puertas que están ubicadas en el exterior de la edificación. Los factores que lo conforman se expresan en la siguiente **Ecuación (11)**.

$$\dot{Q}_{infil} = A * V_{viento} \quad (11)$$

Donde:

- A: Área de la puerta o ventana [m²].
- V_{viento} : Velocidad del viento [m/s].

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

Las cargas latentes por ventilación, corresponden a las pérdidas o ganancias de calor transmitidas por infiltraciones y ventilaciones de aire, que van desde el exterior hasta el interior del recinto, dependiendo de las humedades existentes. Los factores que conforman esta carga están expresados mediante la **Ecuación (12)**.

$$\dot{Q}_{vl} = V_r * 0,84 * \Delta W \quad (12)$$

Donde:

- V_r : Caudal de aire infiltrado y ventilación [m³/s].
- ΔW : Diferencial de humedad entre el ambiente exterior e interior [$W_{ext} - W_{int}$], como factor.
- 0.84: Producto entre la densidad del aire y el calor específico de vaporización del agua [J/m³].

3.4.2.1. Caudal de aire infiltrado y ventilación:

Una vez determinada la cantidad de aire filtrado, se establece de forma global la base de un cierto número de renovaciones requeridas de acuerdo al tipo de recinto. Estas están expresadas en la **Ecuación (13)**.

$$V_r = V * R.A.H \quad (13)$$

Donde:

- V: Volumen del recinto [m³]
- R.A.H: Número de renovación por hora según el tipo de recinto [$1/h$], convertido en [$1/s$] para utilizar en Ecuación (12)

4. Condiciones de diseño

Para facilitar los cálculos de cargas térmicas se consideran los meses por grupos según las estaciones del año, las cuales son primavera (septiembre, octubre, noviembre), verano (diciembre, enero, febrero), otoño (marzo, abril, mayo) e invierno (junio, julio, agosto). De este modo, se recopila la información de temperatura y humedad de la zona donde se encuentra emplazado el Aeropuerto Internacional Carriel Sur.

4.1. Temperatura y humedad de diseño

El confort térmico es el ambiente ideal para las personas. Viene dado por una temperatura de 19°C a 21°C (292.15 K a 294.15 K)⁶, donde para este estudio se considera una temperatura del interior de 21°C. Como la temperatura del exterior es variable, se deben calcular las temperaturas para cada estación del año por hora. Éstos datos de temperatura exterior se obtienen desde la página web <http://solar.minenergia.cl/> “Explorador solar”, utilizando las coordenadas de ubicación del edificio, latitud -36.8 y longitud -73.1. En la Tabla 5 se indica la temperatura exterior promedio de los años 2006 a 2016 (ver Anexos).

Considerando los valores adecuados para garantizar el ambiente de confort dentro del edificio propuestos en “Estándares de Construcción Sustentable para viviendas de Chile”, se utiliza una humedad relativa de diseño del 60%. De la misma forma en la que se extraen los valores de temperatura, se obtienen los valores de humedad relativa presentes en la Tabla 6 (ver Anexos).

4.2. Materialidad y uso del edificio

El edificio en estudio es de propiedad del Estado de Chile, el cual presta servicios principalmente de transporte de pasajeros, aunque también se puede mencionar que existen tiendas o stand de renta car, además de venta de productos, tanto comestibles como de recuerdos, entre otros.

En la construcción del Aeropuerto se utilizan diversos materiales que componen la estructura principal de éste. En la Figura 6 se muestran los materiales principales utilizados en este edificio.

⁶Estándares de Construcción Sustentable para viviendas de Chile, Chile (MINVU, 2018)

Estructura	Material	Estructura	Material
V01 y V02	vidrio opaco con lamina satinada	TABIQUE ESTÁNDAR (T1) MÁS QUADROLINE	quadroline
	perfil aluminio anodizado 40 mm		volcanita
	pieza de madera 110x250 mm		volcanita
	espacio entre vidrios		lana mineral
	vidrio laminado incoloro		volcanita
MURO CORTINA MC01 Piso 1	vidrio opaco con lamina satinada	TABIQUE ESTÁNDAR (TE) MÁS SOFTWAVE	volcanita
	perfil aluminio anodizado 40 mm		softwave
	espacio entre vidrios		volcanita
	vidrio laminado incoloro		volcanita
	hormigón armado		lana mineral
PM02	vidrio opaco con lamina satinada	TABIQUE ESTÁNDAR (TE) CON FIBROCEMENTO	volcanita
	aluminio		volcanita
	espacio entre vidrios		fibrocemento
	vidrio laminado incoloro		fibrocemento
PV01	Madera		banda acústica
			lana mineral
			fibrocemento
			fibrocemento
PILARES PRINCIPALES A-1 AL A-23	hormigón armado	LOSA TIPO	hormigón armado
PILARES PRINCIPALES Aa-1a AL Aa-8a	hormigón armado	LOSA TIPO	hormigón armado
TECHO	aluzinc	TECHO	aluzinc
	fieltro asfáltico		fieltro asfáltico
	madera contrachapada (pino radiata)		madera contrachapada (pino radiata)
	cámara de aire (20°)		cámara de aire (20°)
	revestimiento madera		revestimiento madera

Figura 6: Materialidad de los elementos estructurales del Aeropuerto Carriel Sur

4.3. Condiciones de cargas térmicas solares

Estos datos se obtienen del Explorador Solar proporcionado por el Ministerio de Energía en conjunto al Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile, utilizando las coordenadas de ubicación del edificio, latitud -36.8 y longitud -73.1. Estos datos son promedios por hora de la radiación solar directa entre los años 2006 y 2016, los cuales se agrupan por las estaciones del año las cuales se mencionan anteriormente, como se muestra en la Tabla 7 (ver Anexos).

4.4. Coeficiente de ganancia solar

Valor proporcionado por las especificaciones técnicas del proyecto, el cual es (SHGC) de 0.3.

4.5. Absortancia térmica

Corresponde a la radiación absorbida por las partes del edificio, muros, techo y pilares dependiendo de su color de pintura y materialidad de este. En la Tabla 8 se muestra la absortancia de las superficies que componen al recinto (ver Anexos).

4.6. Condiciones de cargas internas

4.6.1. Iluminación

La potencia de iluminación es proporcionada por las especificaciones técnicas del proyecto. En la Tabla 9 se encuentran los tipos de iluminación junto a la potencia correspondiente (ver Anexos).

4.6.2. Artefactos

En la Tabla 10, se muestra la potencia de cada artefacto del Aeropuerto Internacional Carriel Sur (ver Anexos). Cabe mencionar que estos datos fueron obtenidos de las especificaciones técnicas y memorias de cálculo presentes en la licitación.

4.6.3. Cargas sensibles y latentes por ocupantes

Según las especificaciones técnicas presentes en la licitación, se indica que, en hora peak, el área máxima por ocupante es de 4m^2 , donde el área total estudiada es de 11.924m^2 , de lo cual se obtiene un total de 2.981 personas dentro del edificio. Para realizar un estudio más detallado de los ocupantes del recinto, se promedian los datos de viajes de llegada y salida diarios mensuales por hora del Aeropuerto Carriel Sur (obtenidos de la Junta Aeronáutica Civil), entre los años 2017 y 2021, con la finalidad de utilizar datos más cercanos a la realidad (ver Figura 7).

Además, se utilizan los datos de flujo medio diario de personas presente en el informe final del Ministerio de Planificación y Cooperación “*Diagnóstico y análisis del Aeropuerto*

Arturo Merino Benítez” con el objetivo de tener una aproximación más realista del flujo de pasajeros en distintas horas del día.

Flujo Diario total de personas por mes y hora del Aeropuerto Carriel Sur														
%/hora	Hora	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
0,5%	0:00	27	27	23	15	17	18	20	21	23	25	28	28	23
0,4%	1:00	22	22	18	12	14	14	16	17	18	20	23	22	18
0,5%	2:00	27	27	23	15	17	18	20	21	23	25	28	28	23
0,1%	3:00	5	5	5	3	3	4	4	4	5	5	6	6	5
0,3%	4:00	16	16	14	9	10	11	12	13	14	15	17	17	14
0,3%	5:00	16	16	14	9	10	11	12	13	14	15	17	17	14
1,6%	6:00	87	87	74	49	55	58	64	68	73	82	91	89	73
5,1%	7:00	277	278	236	156	176	185	205	216	232	260	289	282	232
8,3%	8:00	450	452	384	254	287	301	334	352	377	423	470	459	378
6,1%	9:00	331	332	282	187	211	221	246	259	277	311	345	337	278
5,2%	10:00	282	283	240	159	180	188	210	221	236	265	294	288	237
4,9%	11:00	266	267	226	150	170	177	197	208	223	250	277	271	223
6,2%	12:00	337	338	287	190	215	225	250	263	282	316	351	343	283
6,2%	13:00	337	338	287	190	215	225	250	263	282	316	351	343	283
6,5%	14:00	353	354	300	199	225	235	262	276	295	331	368	360	296
4,6%	15:00	250	251	213	141	159	167	185	195	209	234	260	254	210
6,2%	16:00	337	338	287	190	215	225	250	263	282	316	351	343	283
5,8%	17:00	315	316	268	178	201	210	234	246	264	296	328	321	264
4,4%	18:00	239	240	203	135	152	159	177	187	200	224	249	243	201
4,2%	19:00	228	229	194	129	145	152	169	178	191	214	238	232	191
6,9%	20:00	374	376	319	211	239	250	278	293	313	352	390	382	315
5,8%	21:00	315	316	268	178	201	210	234	246	264	296	328	321	264
5,4%	22:00	293	294	250	165	187	196	218	229	245	275	306	299	246
4,5%	23:00	244	245	208	138	156	163	181	191	204	229	255	249	205

Figura 7: Flujo diario total de personas por mes y hora del Aeropuerto Carriel Sur. Fuente: propia.

Para determinar las cargas sensibles y latentes es necesario utilizar los datos que se aprecian en la Figura 8 dependiendo del grado de actividad y temperatura seca del edificio.

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

Figura 8: Cargas sensibles y latentes, dependiendo del grado de actividad y temperatura seca. Fuente: Ingenierosindustriales.com

4.7. Condiciones de ventilación

4.7.1. Ventanas

Para el tiempo de ventilación del aeropuerto se considera un horario de 10:00 a 19:00 hrs, es decir, 8 horas para los meses de verano y primavera, y de 5 horas para los meses de



otoño e invierno; considerando que el aeropuerto funciona las 24 horas del día, las 8 y 5 horas consideradas de ventilación corresponden a un 33% y 20% respectivamente del total de horas de funcionamiento total durante el día, las que corresponden principalmente a ventanas pertenecientes a comedores y baños.

Con respecto al porcentaje de apertura de las ventanas, se considera un 20% para los meses de primavera y verano y un 10% para los meses de otoño e invierno. Los porcentajes de apertura son más bien bajos debido a que el aeropuerto tiene en su mayoría muros cortinas, por lo que gran parte de los sectores del recinto no pueden ser ventilados de forma manual, es decir, abriendo las ventanas, salvo los sectores de comedores, baños y otros recintos ajenos al hall y accesos principales.

4.7.2. Puertas

En relación al tiempo de ventilación producto de apertura de puertas, se realiza el supuesto de que los accesos se abren 500 veces al día. Partiendo de esta hipótesis, se tiene que el tiempo de apertura es de 15 segundos. Entonces se tiene que, durante las 500 veces que se abren las puertas en el día, se ocupan 7500 segundos, lo que equivale a 2 horas continuas de apertura, es decir, un 8.3% al día; por ende, un 0.35% cada hora de funcionamiento.

Bajo la hipótesis anterior también se considera que el porcentaje de apertura de los accesos es del 100%, debido a que las personas que ingresan al recinto cargan maletas, lo que hace necesario la apertura total de las puertas para un ingreso adecuado.

4.7.3. Cintas transportadoras

En relación a las cintas transportadoras de equipaje, se considera un tiempo de apertura del 100%, debido a que son accesos que están siempre abiertos. En relación al porcentaje de apertura, según el área que presentan estos accesos, se considera de un 15%.

4.7.4. Renovaciones de aire

Según lo indicado en el Manual de Diseño para Soluciones en Edificaciones, se consideran las renovaciones de aire por hora de baños públicos (60) y living, como área general y área hall (8) presentes en la Figura 9.

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 9. Renovaciones de aire por hora para diferentes lugares. Fuente: Aislación térmica-Manual de Diseño para Soluciones en Edificaciones

4.7.5. Velocidad del viento

Los datos de velocidad del viento fueron obtenidos del explorador eólico del Ministerio de Energía y corresponde al promedio de velocidades diarias registradas entre los años 2004 a 2016. En la Tabla 11 se resumen las velocidades de viento para la zona (ver Anexos).

4.7.6. Dirección del viento

Para la obtención de los datos de dirección del viento se realiza el registro de las direcciones predominantes presentes en los gráficos de rosa de los vientos del explorador eólico del Ministerio de Energía. En los gráficos, se selecciona la hora y los meses correspondiente para, posteriormente, agrupar la información en la Tabla 12 (ver Anexos); esto con el fin de determinar el caudal de aire infiltrado mediante ventanas, puertas y cintas transportadoras, según la orientación en donde se encuentran.

5. Resultados

5.1. Balance de cargas de elementos de la envolvente térmica, \dot{Q}_c

Los resultados del balance de cargas de elementos de la envolvente térmica se resumen en la Tabla 13, ver Anexos.

5.2. Balance térmico de las cargas solares

5.2.1. Cargas solares directas, \dot{Q}_{sr}

El balance térmico de las cargas solares directas se resume en la Tabla 14, ver Anexos.

5.2.2. Cargas solares indirectas, \dot{Q}_{srt}

El balance de las cargas solares indirectas se resume en la Tabla 15, ver Anexos.



5.3. Balance térmico de cargas internas, \dot{Q}_i

El balance térmico de las cargas se resume en la Tabla 16, ver Anexos.

5.4. Balance térmico de cargas de ventilación, \dot{Q}_v

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

El balance de cargas de ventilación sensible se resume en la Tabla 17, ver Anexos.

5.4.2. Cargas de ventilación latente, \dot{Q}_{vl}

El balance de cargas de ventilación latente se resume en la Tabla 18, ver Anexos.

5.5. Balance térmico total del aeropuerto

A continuación, se presenta la potencia de calefacción necesaria para el Aeropuerto Carriel Sur, según los meses de diciembre a febrero, marzo a mayo, junio a agosto y septiembre a noviembre en la Tabla 1, Tabla 2, Tabla 3 y Tabla 4 mostradas a continuación.

Tabla 1. Cargas totales de enfriamiento y calefacción para los meses de diciembre a febrero. Fuente: Elaboración propia.

CARGAS TOTALES DE ENFRIAMIENTO Y CALEFACCIÓN PARA LOS MESES DE DICIEMBRE A FEBRERO											
Hora	Q _c (kW)	Q _{sr} (kW)	Q _{srt} (kW)	Q _{sv} (kW)	Q _{vl} (kW)	Q _i (kW)	Q _t (kW)	Total Enfriamiento (kW)	Total Calefacción (kW)	Potencia necesaria para calefacción (kW/m ²)	Potencia necesaria para enfriamiento (kW/m ²)
0:00	-405,8	0,00	0,00	-6,9	15,41	179,50	-217,80	0	-218	0	0
1:00	-472,0	0,00	0,00	-6,9	21,43	178,74	-278,71	0	-279	0	0
2:00	-491,4	0,00	0,00	-6,9	25,25	179,50	-293,56	0	-294	0	0
3:00	-509,4	0,00	0,00	-7,0	29,28	176,46	-310,70	0	-311	0	0
4:00	-532,9	0,00	0,00	-7,1	32,87	177,98	-329,18	0	-329	0	0
5:00	-563,5	0,00	0,00	-7,2	35,45	177,98	-357,34	0	-357	0	0
6:00	-573,3	0,00	0,00	-7,6	37,47	187,87	-355,60	0	-356	0	0
7:00	-524,0	2,93	6,14	-7,5	39,42	214,50	-268,49	0	-268	0	0
8:00	-429,2	14,50	107,85	-7,7	40,59	238,85	-35,10	0	-35	0	0
9:00	-323,7	30,02	223,32	-41,8	41,53	222,11	151,42	151,4	0	0	0,013
10:00	-224,2	45,08	335,38	-53,8	41,77	215,26	359,45	359,4	0	0	0,030
11:00	-137,8	57,18	425,43	-42,7	36,98	212,98	552,07	552,1	0	0	0,046
12:00	-75,2	0,76	488,52	-26,7	24,97	222,87	635,24	635,2	0	0	0,053
13:00	-30,2	0,83	533,33	-10,5	13,57	222,87	729,82	729,8	0	0	0,061
14:00	-8,6	122,30	520,82	1,5	5,17	225,15	866,40	866,4	0	0	0,073
15:00	-12,7	147,41	465,43	7,3	-1,18	210,70	816,98	817,0	0	0	0,069
16:00	-40,9	118,26	373,38	2,2	-3,54	222,87	672,18	672,2	0	0	0,057
17:00	-85,5	78,73	248,59	-8,3	-5,60	219,83	447,81	447,8	0	0	0,038
18:00	-144,9	38,25	120,76	-24,5	-5,42	209,17	193,44	193,4	0	0	0,016
19:00	-221,6	2,07	4,98	-40,1	-4,13	207,65	-51,09	0,0	-51	0	0
20:00	-304,7	0,00	0,00	-5,4	-3,55	228,20	-85,48	0,0	-85	0	0
21:00	-359,7	0,00	0,00	-6,3	-1,14	219,83	-147,38	0,0	-147	0	0
22:00	-398,5	0,00	0,00	-6,7	1,96	216,78	-186,50	0,0	-186	0	0
23:00	-427,9	0,00	0,00	-3,4	7,28	209,94	-214,08	0,0	-214	0	0

Tabla 2. Cargas totales de enfriamiento y calefacción para los meses de marzo a mayo. Fuente: Elaboración propia.

CARGAS TOTALES DE ENFRIAMIENTO Y CALEFACCIÓN PARA LOS MESES DE MARZO A MAYO											
Hora	Qc (kW)	Qsr (kW)	Qsrt (kW)	Qsv (kW)	Qvl (kW)	Qi (kW)	Qt (kW)	Total Enfriamiento (kW)	Total Calefacción (kW)	Potencia necesaria para calefacción (kW/m2)	Potencia necesaria para enfriamiento (kW/m2)
0:00	-646,3	0,00	0,00	-11,4	32,87	178,28	-446,55	0	-446,55	0,0375	0
1:00	-661,9	0,00	0,00	-10,6	36,11	177,76	-458,59	0	-458,59	0,0386	0
2:00	-677,4	0,00	0,00	-10,7	38,29	178,28	-471,51	0	-471,51	0,0396	0
3:00	-692,5	0,00	0,00	-23,4	40,38	176,21	-499,27	0	-499,27	0,042	0
4:00	-708,3	0,00	0,00	-24,0	42,13	177,25	-512,97	0	-512,97	0,043	0
5:00	-720,1	0,00	0,00	-25,7	43,63	177,25	-524,95	0	-524,95	0,044	0
6:00	-735,0	0,00	0,00	-25,8	44,23	183,96	-532,62	0	-532,62	0,045	0
7:00	-739,3	0,00	0,00	-26,4	45,44	202,05	-518,27	0	-518,27	0,044	0
8:00	-704,0	8,29	47,06	-25,2	46,10	218,59	-409,20	0	-409,20	0,0344	0
9:00	-625,4	23,30	132,27	-22,4	46,63	207,22	-238,33	0,0	-238,33	0	0,000
10:00	-525,3	36,60	207,71	-60,4	46,90	202,57	-91,96	0,0	-91,96	0	0,000
11:00	-435,6	47,06	267,07	-52,8	47,00	201,02	73,75	73,8	0,00	0	0,006
12:00	-365,5	0,60	302,14	-47,9	45,07	207,74	142,18	142,2	0,00	0	0,012
13:00	-319,1	0,63	318,18	-45,7	36,98	207,74	198,74	198,7	0,00	0	0,017
14:00	-293,0	96,85	315,47	-42,1	25,64	209,29	312,15	312,1	0,00	0	0,026
15:00	-302,7	117,84	284,55	-41,3	17,27	199,47	275,09	275,1	0,00	0	0,023
16:00	-329,6	94,36	227,87	-45,0	11,77	207,74	167,14	167,1	0,00	0	0,014
17:00	-379,7	62,60	151,17	-53,2	9,40	205,67	-4,03	0,0	-4,03	0	0,000
18:00	-446,2	19,06	46,02	-8,9	7,94	198,43	-183,64	0,0	-183,64	0	0,000
19:00	-510,3	0,22	0,41	-9,9	8,93	197,40	-313,22	0,0	-313,22	0	0,000
20:00	-555,4	0,00	0,00	-9,2	11,03	211,35	-342,25	0,0	-342,25	0	0,000
21:00	-586,1	0,00	0,00	-9,7	15,25	205,67	-374,85	0,0	-374,85	0	0
22:00	-609,7	0,00	0,00	-10,0	21,83	203,60	-394,25	0,0	-394,25	0,0331	0
23:00	-630,0	0,00	0,00	-10,3	28,72	198,95	-412,66	0,0	-412,66	0,0347	0

Tabla 3. Cargas totales de enfriamiento y calefacción para los meses de junio a agosto. Fuente: Elaboración propia.

CARGAS TOTALES DE ENFRIAMIENTO Y CALEFACCIÓN PARA LOS MESES DE JUNIO A AGOSTO											
Hora	Qc (kW)	Qsr (kW)	Qsrt (kW)	Qsv (kW)	Qvl (kW)	Qi (kW)	Qt (kW)	Total Enfriamiento (kW)	Total Calefacción (kW)	Potencia necesaria para calefacción (kW/m ²)	Potencia necesaria para enfriamiento (kW/m ²)
0:00	-797,0	0,00	0,00	-586,7	39,60	178,45	-1165,61	0	-1165,61	0,098	0
1:00	-808,9	0,00	0,00	-46,3	42,37	177,90	-634,92	0	-634,92	0,053	0
2:00	-817,3	0,00	0,00	-47,1	43,15	178,45	-642,81	0	-642,81	0,054	0
3:00	-825,5	0,00	0,00	-605,7	44,30	176,25	-1210,74	0	-1210,74	0,102	0
4:00	-833,3	0,00	0,00	-613,9	44,35	177,35	-1225,48	0	-1225,48	0,103	0
5:00	-839,9	0,00	0,00	-633,7	44,61	177,35	-1251,65	0	-1251,65	0,105	0
6:00	-843,2	0,00	0,00	-637,2	44,89	184,52	-1250,98	0	-1250,98	0,105	0
7:00	-850,5	0,00	0,00	-643,3	45,06	203,82	-1244,98	0	-1244,98	0,105	0
8:00	-840,0	2,05	11,65	-626,7	45,03	221,46	-1186,45	0	-1186,45	0,100	0
9:00	-796,3	14,22	80,79	-593,8	45,27	209,33	-1040,46	0,0	-1040,46	0,087	0
10:00	-735,7	24,52	139,35	-532,4	45,86	204,37	-853,97	0,0	-853,97	0,072	0
11:00	-667,7	31,47	178,80	-493,4	46,07	202,71	-702,08	0,0	-702,08	0,059	0
12:00	-614,1	0,39	199,41	-463,1	45,71	209,88	-621,79	0,0	-621,79	0,052	0
13:00	-577,0	0,41	208,03	-442,5	43,17	209,88	-557,94	0,0	-557,94	0,047	0
14:00	-555,4	60,72	200,16	-429,1	36,49	211,54	-475,57	0,0	-475,57	0,040	0
15:00	-553,3	81,19	199,38	-443,2	29,67	201,06	-485,14	0,0	-485,14	0,041	0
16:00	-573,5	64,32	157,96	-451,2	24,41	209,88	-568,14	0,0	-568,14	0,048	0
17:00	-616,5	47,77	117,31	-433,1	21,03	207,68	-655,90	0,0	-655,90	0,055	0
18:00	-666,6	4,22	10,36	-439,0	19,78	199,96	-871,30	0,0	-871,30	0,073	0
19:00	-702,9	0,00	0,00	-483,3	19,95	198,85	-967,39	0,0	-967,39	0,081	0
20:00	-732,4	0,00	0,00	-499,6	21,53	213,74	-996,66	0,0	-996,66	0,084	0
21:00	-754,5	0,00	0,00	-514,2	24,78	207,68	-1036,25	0,0	-1036,25	0,087	0
22:00	-770,5	0,00	0,00	-525,6	31,05	205,47	-1059,52	0,0	-1059,52	0,089	0
23:00	-783,5	0,00	0,00	-43,4	36,15	200,51	-590,23	0,0	-590,23	0,050	0

Tabla 4. Cargas totales de enfriamiento y calefacción para los meses de septiembre a noviembre. Fuente: Elaboración propia.

CARGAS TOTALES DE ENFRIAMIENTO Y CALEFACCIÓN PARA LOS MESES DE SEPTIEMBRE A NOVIEMBRE											
Hora	Qc (kW)	Qsr (kW)	Qsrt (kW)	Qsv (kW)	Qvl (kW)	Qi (kW)	Qt (kW)	Total Enfriamiento (kW)	Total Calefacción (kW)	Potencia necesaria para calefacción (kW/m ²)	Potencia necesaria para enfriamiento (kW/m ²)
0:00	-760,8	0,00	0,00	-15,1	25,92	179,24	-570,82	0	-570,82	0,048	0
1:00	-783,5	0,00	0,00	-13,0	29,67	178,53	-588,34	0	-588,34	0,049	0
2:00	-805,1	0,00	0,00	-13,0	32,52	179,24	-606,39	0	-606,39	0,051	0
3:00	-825,6	0,00	0,00	-13,2	35,83	176,40	-626,56	0	-626,56	0,053	0
4:00	-847,1	0,00	0,00	-13,3	38,02	177,82	-644,55	0	-644,55	0,054	0
5:00	-865,3	0,00	0,00	-13,7	39,67	177,82	-661,54	0	-661,54	0,056	0
6:00	-871,6	0,00	0,00	-29,7	40,95	187,05	-673,34	0	-673,34	0,057	0
7:00	-832,1	10,05	20,46	-4,8	42,32	211,88	-552,12	0	-552,12	0,046	0
8:00	-749,6	15,67	113,28	-11,6	43,33	234,58	-354,35	0	-354,35	0,030	0
9:00	-647,9	29,20	211,08	-64,0	43,16	218,97	-209,55	0,0	-209,55	0,018	0
10:00	-549,1	42,21	305,18	-85,9	43,83	212,59	-31,19	0,0	-31,19	0,003	0
11:00	-466,9	50,39	364,29	-87,4	40,60	210,46	111,49	111,5	0,00	0	0,009
12:00	-411,8	0,64	415,11	-91,8	31,64	219,68	163,44	163,4	0,00	0	0,014
13:00	-376,2	0,68	438,20	-93,2	20,57	219,68	209,69	209,7	0,00	0	0,018
14:00	-361,5	99,35	411,17	-93,7	11,76	221,81	288,89	288,9	0,00	0	0,024
15:00	-372,0	118,12	362,44	-97,5	6,90	208,33	226,25	226,2	0,00	0	0,019
16:00	-402,6	94,30	289,35	-107,6	4,32	219,68	97,49	97,5	0,00	0	0,008
17:00	-443,7	54,71	167,87	-119,1	3,01	216,84	-120,38	0,0	-120,38	0,010	0
18:00	-503,9	23,05	70,71	-130,5	2,91	206,91	-330,80	0,0	-330,80	0,028	0
19:00	-579,4	0,00	0,00	-31,5	4,02	205,49	-401,45	0,0	-401,45	0,034	0
20:00	-639,2	0,00	0,00	-13,0	5,58	224,65	-421,99	0,0	-421,99	0,035	0
21:00	-681,4	0,00	0,00	-13,1	8,96	216,84	-468,69	0,0	-468,69	0,039	0
22:00	-711,1	0,00	0,00	-13,0	13,21	214,00	-496,96	0,0	-496,96	0,042	0
23:00	-735,5	0,00	0,00	-13,0	20,41	207,62	-520,45	0,0	-520,45	0,044	0

6. Propuesta de solución

Como propuesta para mejorar el aporte energético y lograr el ambiente de confort, se propone la colocación de pozos provenzales, también llamados canadienses. Este sistema consiste en la instalación de tubos, generalmente de PVC, que se entierran a una profundidad de 2 metros desde la superficie del suelo. De esta forma el aire exterior que circula a través de las tuberías se estabiliza a una temperatura más cerca a la temperatura de diseño requerida en el interior del recinto, debido a que la temperatura del suelo a la profundidad mencionada se mantiene sin grandes variaciones.

Para llevar a cabo el sistema se deben conocer ciertos datos como la temperatura del suelo, el tipo de suelo, la profundidad de la napa freática, el volumen a acondicionar, la cantidad de renovaciones de aire por hora del edificio, además de las temperaturas máximas y mínimas del emplazamiento de la construcción.

En el caso del Aeropuerto Carriel Sur, la temperatura del suelo promedio es de 14°C ⁷, por lo que, al implementar esta solución, el aire exterior se enfría o se calienta, según la estación, para generar un aporte en el acondicionamiento del recinto.

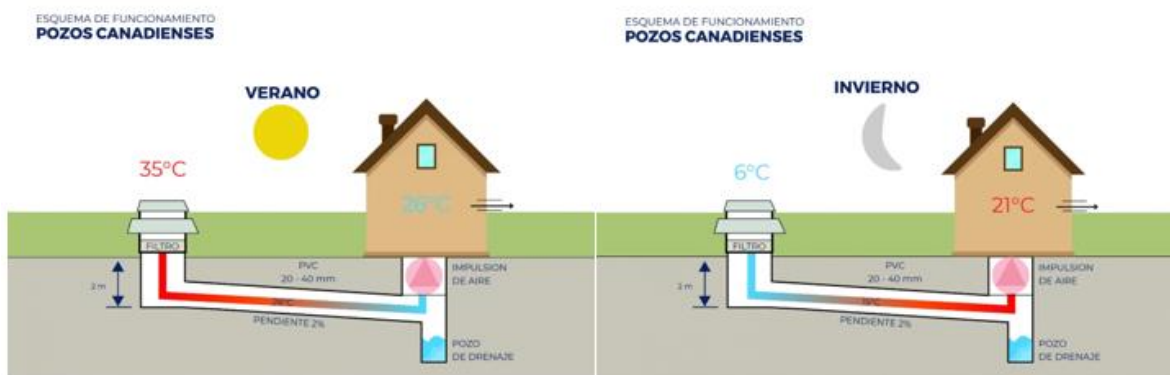


Figura 10. Sistema de pozo canadiense en verano e invierno. Fuente: evolucionplottier.org

Para la implementación del sistema, se colocan los tubos con una pendiente recomendada de 2%, de esta forma se busca acopiar el agua lluvia caída dentro de la apertura de extracción de aire, al pozo de drenaje. Además, para lograr que el aire entre dentro del recinto, se colocan ventiladores para facilitar el proceso.

⁷ La Temperatura del Suelo, Sergio Villaseca C. (Agricultura Técnica Chile, 1990)



6.1. Datos propuestos

Mediante la utilización del software GAEA, dispuesto por la Universidad de Siegen, Alemania, se calcula la combinación óptima para el área de embarque, la que corresponde a un 20% del área total del aeropuerto. A continuación, se indican los datos de entrada que necesita el programa:

- Tipo de suelo: Arena
- Profundidad napa freática: 2.5 m
- Temperatura máxima mensual: 22°C
- Temperatura mínima mensual: 6°C
- Temperatura promedio anual: 14°C
- Mes en donde se genera el máximo: Enero
- Día del mes donde se genera el máximo: 22
- Volumen: 6084 m³
- R.A.H: 8
- Temperatura límite para enfriar: 23°C
- Temperatura límite para calefaccionar: 19°C
- Temperatura ideal: 21°C

Luego de ingresar los datos de entrada en el software mencionado, se obtienen distintas iteraciones posibles. En este caso, se consideran los siguientes datos obtenidos:

- Número de tuberías: 6
- Longitud de las tuberías: 75 m
- Diámetro: 750 mm
- Distancia entre tuberías: 1 m
- Profundidad de las tuberías: 2 m
- Ventilador debe estar ubicado antes del sistema
- Aporte energético: 52509 kWh/año



Considerando la combinación obtenida mediante el software GAEA, se tiene un aporte energético de 52509 kW/año, es decir, 109.4 kWh. Comparando los resultados obtenidos en las tablas resumen del balance energético (Tabla 1, Tabla 2, Tabla 3 y Tabla 4) con el aporte energético del sistema, se tiene que el sistema de pozo canadiense aporta un 11% a la climatización del aeropuerto.

6.2. Costo de implementación

Para el cálculo del costo de implementación del sistema se consideran los precios unitarios de excavación presentes en la página “*Generador de Precios Chile*”, en donde se considera la excavación con la maquinaria, mano de obra y contención incluidas. Además, para las tuberías se considera PVC liso de 75 cm de diámetro y 6 metros de largo; el detalle del cálculo se encuentra en la Tabla 19 (ver Anexos).

7. Conclusión

En general, el requerimiento energético del Aeropuerto Carriel Sur muestra una tendencia clara a enfriar el ambiente durante el día y calentar el ambiente durante la tarde-noche. Esto debido a las condiciones climáticas de Talcahuano, donde la temperatura máxima promedio es de 19°C, mientras que la temperatura mínima promedio es de 7°C, durando más la temporada fría (3,6 meses comparados a 3,3 meses de la temporada cálida). Considerando que, el flujo de personas en el aeropuerto es variable según el mes y la hora del día, se realiza el cálculo de las cargas internas por ocupante de manera variable para así, lograr una mejor aproximación en el balance de energía total del edificio.

Analizando el balance de energía total agrupado en las estaciones del año, se observa que la demanda energética es adecuada para un edificio de esta envergadura, donde además prevalece la necesidad de calefaccionar el recinto principalmente porque las condiciones climáticas de Talcahuano así lo ameritan. En relación a la carga total obtenida en el balance térmico, ésta principalmente está dada por la carga de envolvente, carga solar directa y carga interna, debido a la materialidad del edificio y al flujo constante de pasajeros.

Con respecto a la propuesta de pozos canadienses, se considera una medida adecuada, ya que permite el uso de energías renovables para aclimatar el ambiente interno del edificio, disminuyendo un 11% el requerimiento energético de este. Si bien es posible realizar esta



instalación, es necesario implementar un sistema de calefacción adicional para lograr el ambiente de confort considerado (21 °C de temperatura interna y 60% de humedad).

En relación a los datos obtenidos mediante el software GAEA, éstos se consideran factibles debido a las proporciones del terreno, ya que la longitud de las tuberías y el espaciado entre ellas es posible de realizar en las instalaciones del aeropuerto Carriel Sur.



8. ANEXOS

Tabla 5: Temperatura exterior promedio por estaciones del año, en grados Celsius.
Fuente: Elaboración propia mediante los datos entregados por el Explorador Solar

Hora	Dic-Feb	Mar-May	Jun-Agos	Sep-Nov
0:00	13,74814	11,3542	8,504307	9,847693
1:00	13,401	11,05985	8,27899	9,441437
2:00	13,05317	10,76661	8,121047	9,055207
3:00	12,72986	10,48221	7,965343	8,68883
4:00	12,30823	10,1825	7,81885	8,30429
5:00	11,76006	9,96143	7,693813	7,97757
6:00	11,58427	9,679277	7,63246	7,864543
7:00	12,46819	9,59409	7,49451	8,574137
8:00	14,16757	10,25849	7,692203	10,05103
9:00	16,0574	11,74399	8,515927	11,87101
10:00	17,84028	13,63677	9,66042	13,63913
11:00	19,39027	15,33404	10,94446	15,10956
12:00	20,51128	16,65939	11,95636	16,09273
13:00	21,31693	17,53668	12,65793	16,72932
14:00	21,70529	18,0309	13,06514	16,99253
15:00	21,63161	17,84683	13,10628	16,80282
16:00	21,12465	17,33845	12,72432	16,25616
17:00	20,32641	16,39082	11,91139	15,5212
18:00	19,2621	15,13253	10,96605	14,44585
19:00	17,88677	13,92157	10,28156	13,09372
20:00	16,39689	13,0704	9,72472	12,02415
21:00	15,41068	12,49123	9,306533	11,26988
22:00	14,71481	12,04585	9,00486	10,73697
23:00	14,18844	11,66241	8,759463	10,30088



Tabla 6: Humedad relativa promedio entre los años 2021 y 2020 (HR%) de la estación meteorológica Aeropuerto Carriel Sur Intl (SCIE). Fuente: Dirección Meteorológica de Chile.

HUMEDAD PROMEDIO POR MESES (%)				
Hora	DIC-FEB	MAR-MAY	JUN-AGO	SEPT-NOV
0:00	71%	83%	87%	78%
1:00	75%	85%	89%	81%
2:00	78%	87%	90%	83%
3:00	80%	88%	91%	85%
4:00	83%	89%	91%	86%
5:00	85%	90%	91%	88%
6:00	86%	91%	91%	88%
7:00	87%	92%	91%	89%
8:00	88%	92%	91%	90%
9:00	89%	92%	91%	90%
10:00	89%	93%	92%	90%
11:00	86%	93%	92%	88%
12:00	77%	91%	92%	82%
13:00	69%	86%	90%	74%
14:00	64%	78%	85%	68%
15:00	59%	72%	81%	65%
16:00	58%	68%	77%	63%
17:00	56%	67%	75%	62%
18:00	56%	66%	74%	62%
19:00	57%	66%	74%	63%
20:00	58%	68%	75%	64%
21:00	59%	71%	77%	66%
22:00	61%	75%	82%	69%
23:00	65%	80%	85%	74%

Tabla 7: Radiación solar (W/m^2). Fuente: Explorador Solar

Hora	Dic-Feb	Mar-May	Jun-Agos	Sep-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	8,76651	0	0	29,1910667
8:00	154,850433	85,9572067	21,2771167	162,623443
9:00	320,640713	241,579457	147,561003	303,015943
10:00	481,538103	379,363877	254,514573	438,106257
11:00	610,82641	487,787517	326,57045	522,96626
12:00	705,014137	555,569983	366,664823	599,071083
13:00	769,68402	585,05763	382,51364	632,38821
14:00	741,175053	569,511363	361,492783	584,8861
15:00	662,342067	513,694463	360,084473	515,56179
16:00	531,34607	411,371313	285,28261	411,591867
17:00	353,762567	272,91143	211,854647	238,79171
18:00	171,846343	83,0785967	18,7173433	100,587027
19:00	7,07944	0,73209	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 8: Absortancia de las superficies del edificio. Fuente: Elaboración propia

ID	Absortancia de la superficie α
Tabique estándar (T1) más quadroline	0,345
Tabique estándar (Te) con fibrocemento	0,83
CCP16 viga eje E 30x100	0,65
Pilares principales A-1 al A-23	0,65
Pilares principales AA-1A al AA-8A	0,65
Pilares de 700mm	0,65
Pilares (D4A/C4-A D3A/C3-A D2A/C2-A D-1A)	0,65
Techo	0,345

Estos valores son proporcionados por el Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Buenos Aires.

Tabla 9: Iluminación del edificio. Fuente: Elaboración propia

Tipo	Luminaria	Potencia Eléctrica c Balasto (W)
1	TBS 160 3xTL-D36W	135
2	TCW097 2xTL-D36W	90
3	Mastercolor CDM-T 70W	87,5
4	FBS120 2xPL-C/4P 18W	45
5	MBS145C 1xCDM-T35W	43,75
6	TOP15 DILUX	16,25
7	36" CDM-T 150 W	187,5
8	36" CDM-T 70 W	87,5
9	Industrial 2x36W 830	90
10	Embutido 2x36W 830	90
11	Embutido a Piso CDM-T 35W	43,75
12	TOP-18 1x26W	32,5
13	TOP-16 2x26W	65
14	CDM-R 35W	43,75

Tabla 10: Potencia de artefactos del edificio. Fuente: Elaboración propia

Tipo	Equipo Eléctrico	Potencia eléctrica (W)	% de utilización	Potencia eléctrica efectiva (W)
1	TDAyF	1200	100%	1200
2	Ascensor	2010	70%	1407
3	Escalera Mecánica	2250	100%	2250
4	Montacargas	92,5	85%	78,6
5	Maquina Rayos X	5000	100%	5000
6	Computadores	300	100%	300
7	Televisores	360	100%	360
8	Impresoras	600	80%	480
9	Refrigerador y Máquinas expendedoras	250	100%	250
10	Hervidor	1850	70%	1295



Tabla 11. Velocidades del viento en m/s. Fuente: Explorador eólico del Ministerio de Energía

Velocidad del Viento (m/s)				
Hora	Dic-Feb	Mar-May	Jun-Ago	Sept-Nov
0:00	1,78	2,04	2,87	2,46
1:00	1,59	1,71	2,77	1,85
2:00	1,41	1,64	2,78	1,74
3:00	1,28	1,60	2,84	1,68
4:00	1,17	1,59	2,84	1,62
5:00	1,06	1,68	2,90	1,61
6:00	0,98	1,64	2,91	1,61
7:00	1,04	1,68	2,92	1,60
8:00	1,24	1,70	2,88	1,58
9:00	1,73	1,69	2,87	1,60
10:00	2,39	1,70	2,76	1,83
11:00	2,92	1,84	2,82	2,22
12:00	3,27	2,07	2,90	2,74
13:00	3,52	2,44	2,97	3,18
14:00	3,66	2,66	3,04	3,56
15:00	3,81	2,81	3,19	3,82
16:00	3,89	2,83	3,18	3,96
17:00	3,83	2,81	3,05	3,90
18:00	3,61	2,56	2,86	3,68
19:00	3,25	2,37	2,77	3,32
20:00	2,85	2,19	2,76	2,83
21:00	2,58	2,07	2,73	2,55
22:00	2,34	1,96	2,71	2,31
23:00	2,06	1,89	2,70	2,13



Tabla 12. Dirección predominante del viento. Fuente: explorador eólico del Ministerio de Energía

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



Tabla 13. Carga de envolvente total \dot{Q}_c por hora y meses. Fuente; Elaboración propia

CARGA DE ENVOLVENTE TOTAL POR HORA Y MESES (kW) \dot{Q}_c				
Hora	DIC-FEB	MAR-MAY	JUN-AGO	SEPT-NOV
0:00	-405,8	-646,3	-797,0	-760,8
1:00	-472,0	-661,9	-808,9	-783,5
2:00	-491,4	-677,4	-817,3	-805,1
3:00	-509,4	-692,5	-825,5	-825,6
4:00	-532,9	-708,3	-833,3	-847,1
5:00	-563,5	-720,1	-839,9	-865,3
6:00	-573,3	-735,0	-843,2	-871,6
7:00	-524,0	-739,3	-850,5	-832,1
8:00	-429,2	-704,0	-840,0	-749,6
9:00	-323,7	-625,4	-796,3	-647,9
10:00	-224,2	-525,3	-735,7	-549,1
11:00	-137,8	-435,6	-667,7	-466,9
12:00	-75,2	-365,5	-614,1	-411,8
13:00	-30,2	-319,1	-577,0	-376,2
14:00	-8,6	-293,0	-555,4	-361,5
15:00	-12,7	-302,7	-553,3	-372,0
16:00	-40,9	-329,6	-573,5	-402,6
17:00	-85,5	-379,7	-616,5	-443,7
18:00	-144,9	-446,2	-666,6	-503,9
19:00	-221,6	-510,3	-702,9	-579,4
20:00	-304,7	-555,4	-732,4	-639,2
21:00	-359,7	-586,1	-754,5	-681,4
22:00	-398,5	-609,7	-770,5	-711,1
23:00	-427,9	-630,0	-783,5	-735,5



Tabla 14. Carga de radiación solar total \dot{Q}_{sr} . Fuente: Elaboración propia

CARGA RADIACIÓN SOLAR TOTAL (kW) \dot{Q}_{sr}				
	Dic-Feb	Mar-May	Jun-Agos	Sep-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	2,93	0,00	0,00	10,05
8:00	14,50	8,29	2,05	15,67
9:00	30,02	23,30	14,22	29,20
10:00	45,08	36,60	24,52	42,21
11:00	57,18	47,06	31,47	50,39
12:00	0,76	0,60	0,39	0,64
13:00	0,83	0,63	0,41	0,68
14:00	122,30	96,85	60,72	99,35
15:00	147,41	117,84	81,19	118,12
16:00	118,26	94,36	64,32	94,30
17:00	78,73	62,60	47,77	54,71
18:00	38,25	19,06	4,22	23,05
19:00	2,07	0,22	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

**Tabla 15.** Carga de radiación solar indirecta total, \dot{Q}_{srt} . Fuente: Elaboración propia

CARGA RADIACIÓN SOLAR INDIRECTA TOTAL (kW) \dot{Q}_{srt}				
Hora	Dic-Feb	Mar-May	Jun-Agos	Sep-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	6,14	0,00	0,00	20,46
8:00	107,85	47,06	11,65	113,28
9:00	223,32	132,27	80,79	211,08
10:00	335,38	207,71	139,35	305,18
11:00	425,43	267,07	178,80	364,29
12:00	488,52	302,14	199,41	415,11
13:00	533,33	318,18	208,03	438,20
14:00	520,82	315,47	200,16	411,17
15:00	465,43	284,55	199,38	362,44
16:00	373,38	227,87	157,96	289,35
17:00	248,59	151,17	117,31	167,87
18:00	120,76	46,02	10,36	70,71
19:00	4,98	0,41	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



Tabla 16. Cálculo de cargas internas. Fuente: Elaboración propia

CÁLCULO CARGAS INTERNAS \dot{Q}_i (kW)				
Hora	Dic. A Feb.	Mar. A May.	Jun. A Ago.	Sep. A Nov
0:00	179	178	178	179
1:00	179	178	178	179
2:00	179	178	178	179
3:00	176	176	176	176
4:00	178	177	177	178
5:00	178	177	177	178
6:00	188	184	185	187
7:00	215	202	204	212
8:00	239	219	221	235
9:00	222	207	209	219
10:00	215	203	204	213
11:00	213	201	203	210
12:00	223	208	210	220
13:00	223	208	210	220
14:00	225	209	212	222
15:00	211	199	201	208
16:00	223	208	210	220
17:00	220	206	208	217
18:00	209	198	200	207
19:00	208	197	199	205
20:00	228	211	214	225
21:00	220	206	208	217
22:00	217	204	205	214
23:00	210	199	201	208

Tabla 17. Carga sensible de ventilación. Fuente: Elaboración propia.

Carga Sensible de Ventilación (kW) \dot{Q}_{sv}				
Hora	DIC-FEB	MAR-MAY	JUN-AGO	SEPT-NOV
0:00	-6,9	-11,4	-586,7	-15,1
1:00	-6,9	-10,6	-46,3	-13,0
2:00	-6,9	-10,7	-47,1	-13,0
3:00	-7,0	-23,4	-605,7	-13,2
4:00	-7,1	-24,0	-613,9	-13,3
5:00	-7,2	-25,7	-633,7	-13,7
6:00	-7,6	-25,8	-637,2	-29,7
7:00	-7,5	-26,4	-643,3	-4,8
8:00	-7,7	-25,2	-626,7	-11,6
9:00	-41,8	-22,4	-593,8	-64,0
10:00	-53,8	-60,4	-532,4	-85,9
11:00	-42,7	-52,8	-493,4	-87,4
12:00	-26,7	-47,9	-463,1	-91,8
13:00	-10,5	-45,7	-442,5	-93,2
14:00	1,5	-42,1	-429,1	-93,7
15:00	7,3	-41,3	-443,2	-97,5
16:00	2,2	-45,0	-451,2	-107,6
17:00	-8,3	-53,2	-433,1	-119,1
18:00	-24,5	-8,9	-439,0	-130,5
19:00	-40,1	-9,9	-483,3	-31,5
20:00	-5,4	-9,2	-499,6	-13,0
21:00	-6,3	-9,7	-514,2	-13,1
22:00	-6,7	-10,0	-525,6	-13,0
23:00	-3,4	-10,3	-43,4	-13,0



Tabla 18. Cargas latentes de ventilación, \dot{Q}_{vl} . Fuente: Elaboración propia.

CARGA LATENTE DE VENTILACIÓN (kW) \dot{Q}_{vl}				
Hora	DIC-FEB	MAR-MAY	JUN-AGO	SEPT-NOV
0:00	15,41	32,87	39,60	25,92
1:00	21,43	36,11	42,37	29,67
2:00	25,25	38,29	43,15	32,52
3:00	29,28	40,38	44,30	35,83
4:00	32,87	42,13	44,35	38,02
5:00	35,45	43,63	44,61	39,67
6:00	37,47	44,23	44,89	40,95
7:00	39,42	45,44	45,06	42,32
8:00	40,59	46,10	45,03	43,33
9:00	41,53	46,63	45,27	43,16
10:00	41,77	46,90	45,86	43,83
11:00	36,98	47,00	46,07	40,60
12:00	24,97	45,07	45,71	31,64
13:00	13,57	36,98	43,17	20,57
14:00	5,17	25,64	36,49	11,76
15:00	-1,18	17,27	29,67	6,90
16:00	-3,54	11,77	24,41	4,32
17:00	-5,60	9,40	21,03	3,01
18:00	-5,42	7,94	19,78	2,91
19:00	-4,13	8,93	19,95	4,02
20:00	-3,55	11,03	21,53	5,58
21:00	-1,14	15,25	24,78	8,96
22:00	1,96	21,83	31,05	13,21
23:00	7,28	28,72	36,15	20,41



Tabla 19. Presupuesto de implementación de la solución propuesta. Fuente: Elaboración propia.

ITEM	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO (\$)	P. TOTAL (\$)
Excavación, considerando maquinaria, M. de O. y entibaciones	m3	1425	\$ 15.000	\$ 21.375.000
Tubería PVC 75 cm	un	75	\$ 13.000	\$ 975.000
			TOTAL	\$ 22.350.000