



CÁLCULO Y ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO PARA MEJORAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA ESCUELA CARDENAL JOSÉ MARÍA CARO, CHILLÁN

F. Arriagada Arriagada¹, F. González Monsalve², C. Correa Rogel³

Resumen:

Existen varios procesos por los que atraviesa una edificación antes de encontrarse completamente operativa para los usuarios, procesos como planificación de obras, diseño, usos que tendrá, capacidad, materialidad, entre muchas otras, pero poco énfasis se le da al análisis de comportamiento energético que esta presenta al momento de alojar a sus usuarios, solo es posible observar estos problemas cuando ya permanece en funcionamiento, ya que no hay legislación o normativa obligatoria dentro de nuestro país para que se tenga este ámbito en consideración al momento de diseñar, y por ende, el intentar solucionar el problema se ve limitado el abanico de soluciones por diferentes motivos como: espacio limitado, modificar elementos estructurales estéticamente incompatible, entre otros.

Este análisis corresponde a un establecimiento con 30 años de antigüedad, la Escuela Cardenal José María Caro ubicada en la ciudad de Chillán que alberga diariamente a más de 140 estudiantes de todos los niveles. Al momento de su construcción no se consideran los efectos del cambio climático, ni tampoco el comportamiento térmico de estructuras. En este trabajo se pretende dar una solución eficiente, libre de contaminación, económica y automatizada a largo plazo y con un amplio espectro de alcance, implementando el sistema de pozos canadienses, que busca aprovechar la energía o la capacidad calorífica que presenta el suelo para que a través de ductos subterráneos el aire circulante calor al suelo o viceversa, usando la menor energía externa posible. Según lo proyectado esta solución genera una reducción promedio de 19% de la demanda energética de acondicionamiento térmico de la escuela en los meses de invierno y una demanda superficial energética de $51 Wh/m^2$, con un costo de instalación de \$11.701.670 y en promedio un costo de funcionamiento mensual de \$33.522 para un establecimiento de $1623 m^2$.

Palabras clave: Demanda energética, Intercambio de calor, confort térmico.

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

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

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



Abstract:

There are several processes that a building goes through before it is fully operational for users, processes such as work planning, design, uses it will have, capacity, materiality, among many others, but little emphasis is given to the analysis of energy behavior that this will present at the time of hosting its users, it is possible to observe these problems only when it is already in operation, since there is no mandatory legislation or regulation within our country so that this area is taken into consideration when designing, therefore trying solving the problem is already present, the range of solutions is limited for different reasons such as: limited space, modifying structural elements, aesthetically incompatible, among others.

In the case of our analysis, it is a 30-year-old establishment, the Cardenal José María Caro School located in the city of Chillán that houses more than 140 students of all levels daily, at the time of its construction it was not so evident the effects of climate change, nor the thermal behavior of structures is therefore that as a civil engineering student we sought to provide a solution according to the needs and factors at the level of the times in which we live, with a solution; efficient, pollution-free, economical and automated, to provide a definitive, long-term solution with a wide range of scope, under these criteria it was decided to implement the Canadian well system, which seeks to take advantage of the energy or heat capacity that the ground presents so that through underground ducts the air transfers heat to the ground or vice versa this will be generated with the least possible external energy, according to the project this solution would generate an average reduction of 19% of the energy demand of thermal conditioning of school and a surface energy demand of 51 Wh/m², with an installation cost of \$11.701.670 and an average monthly operating cost of \$33.522 for an establishment of 1299 m².

Keywords: Energy demand, Heat exchange, thermal comfort.



1. Introducción

A través de los años ha existido un perfeccionamiento en la forma en que vivimos, tanto como en materiales y técnicas, esto se logra evidenciar en los tipos de construcción más antiguas, en las que solo se contaba con la experiencia como única aliada al momento de realizar una edificación, al día de hoy la experiencia aún es fundamental. Pero va acompañada de técnicas más modernas, utilizando así métodos científicos exactos para diferentes edificaciones en las que se consideran varios factores, tales como, condiciones climáticas, presupuesto, habitantes, entre otros. Otro tema importante son las legislaciones de los diferentes países y regiones donde se pretende emplazar una construcción, con estos se hace referencia al cumplimiento de los objetivos establecidos con el fin de controlar las dimensiones, materialidad, resistencia sísmica y resistencia a fenómenos climatológicos.

Dentro de las nuevas directrices en la construcción existe el acondicionamiento térmico, el cual busca disminuir las consecuencias de la humedad, enfermedades, corrientes de aire, alto consumo eléctrico y/o combustibles fósiles para calefacción y refrigeración. En el año 2007 el Instituto Nacional de Normalización crea la NCh853.Of2007¹ (acondicionamiento térmico-envolvente térmica de edificios-cálculo de resistencias y transmitancias térmicas) en Chile, que busca mejorar la envolvente de una vivienda, ente otros propósitos. Si bien la norma es relativamente actual no se ha visto actualizada a las necesidades que afectan a la sociedad, tales como problemas energéticos y de contaminación, siendo así más una guía, debido a que no define exigencias mínimas como también no hace diferencia según el uso de las edificaciones.

Las envolventes térmicas permiten analizar la interacción de vivienda o estructura en las situaciones climáticas que se presenten y la forma que afecta a los ocupantes o la integridad de la misma², considerando esto, el objetivo principal es analizar esta situación en la Escuela Cardenal José María Caro construida hace más de 30 años, la cual alberga en la mayor de su tiempo a niños, niñas y adolescentes que están propensos a enfermedades estacionarias, por esto es posible identificar zonas de mayor deficiencia según la época del año con el fin de implementar una posible solución para abarcar las mayores falencias posibles.

¹Indicado en la página IV "Preámbulo" Nch853.Of2007.

²Análisis técnico - Económico para mejorar la envolvente térmica del edificio – Departamento torna galeones existentes en la comuna de Valdivia (Álvarez c., 2021).



2. Objetivos

2.1 Objetivos generales

Calcular y analizar el comportamiento térmico que posee actualmente la Escuela Cardenal José María Caro, Chillán.

2.2 Objetivos específicos

1. Evaluar y analizar el consumo energético de calefacción.
2. Indicar fallas existentes en la envolvente térmica.
3. Presentar soluciones funcionales y/o constructivas en la mejora del confort térmico.
4. Contrastar soluciones propuestas con la situación actual del establecimiento educacional.
5. Modelar la Escuela Cardenal José María Caro mediante el software Revit.

3. Metodología

Con el fin de que el trabajo de estudio y planteamiento de mejoras sea realizado de la forma más óptima posible, se identificaron los siguientes puntos a tener en consideración.

- Ubicación geográfica de la edificación y la orientación que esta posee.
- Estudio de condiciones externas y recopilación de datos climatológicos.
- Condiciones de uso (número de persona, horarios, entre otros).
- Planos arquitectónicos.
- Composición y dimensión de la materialidad de la construcción.
- Artefactos eléctricos y tipo de iluminación.

3.1 Área de estudio

La Escuela está ubicada en la ciudad de Chillán con dirección en Florindo Lagos número 46, referenciado en la **Figura 1**, en la región de Ñuble. Sus orígenes se remontan al año 1920, creado de la fusión de las escuelas 22 y 13, nace como Escuela Superior de Niñas N° 10, trasladándose a calle Carrera esquina El Roble donde funcionó hasta el año 1939³, siendo totalmente destruida por el terremoto que trajo desolación y muerte a la ciudad de Chillán ese mismo año. Una vez pasada la tragedia que duro un largo periodo, la corporación de Reconstrucción y Auxilio, con el propósito de atender las necesidades de matrícula de las poblaciones Pizarro, Rodríguez y Estadio. Se construyó como emergencia dicha escuela en la actual dirección, la que está emplazada en un terreno de 3370 metros cuadrados y la superficie construida actualmente asciende a los

³Reglamento interno Escuela Cardenal José María Caro Rodríguez (2012).

1623 metros cuadrados y cuenta con solo una planta estructural visualizada en la **Figura 2**.

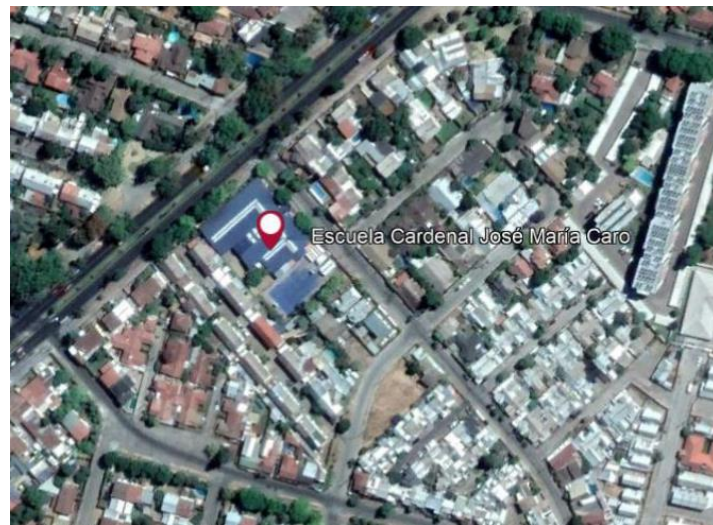


Figura 1: Ubicación satelital Escuela Cardenal José María Caro.
Fuente: Mapa satelital de Google hearth.

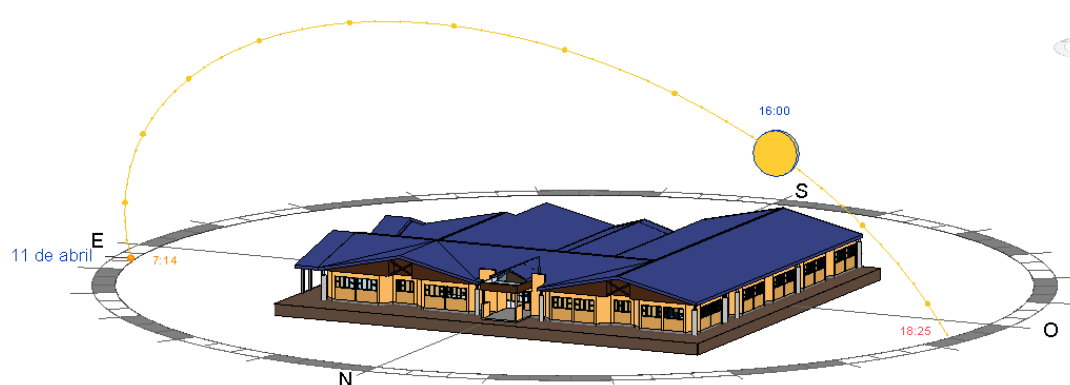


Figura 2: Escuela Cardenal José María Caro, modelo en software Revit con camino al sol activado.
Fuente: Elaboración propia en software Revit.

3.2 Balance Térmico

Para conocer el comportamiento energético de una edificación se diseña una ecuación que busca aglomerar todas las posibles fuentes o pérdidas de energía que interactúan con ella. Estas son tanto condiciones internas como externas⁴, para un lapso de tiempo determinado, esta energía es el calor, representado en **Figura 3**. Este comportamiento cuenta con un punto de balance, estas son las condiciones de confort para los usuarios del establecimiento, al aumentar el valor de la energía presente en un sistema se ve en la necesidad de implementar un sistema externo de refrigeración y en

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

el caso contrario este valor disminuyese, debe contarse con un sistema de calefacción, para determinar se utiliza la ecuación que está definida por Ecuación (1):

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

Donde:

\dot{Q}_c : Balance térmico de los elementos de la envolvente [W].

\dot{Q}_s : Balance térmico de cargas solares [W].

\dot{Q}_i : Balance térmico de cargas internas [W].

\dot{Q}_v : Balance térmico de cargas de ventilación [W].

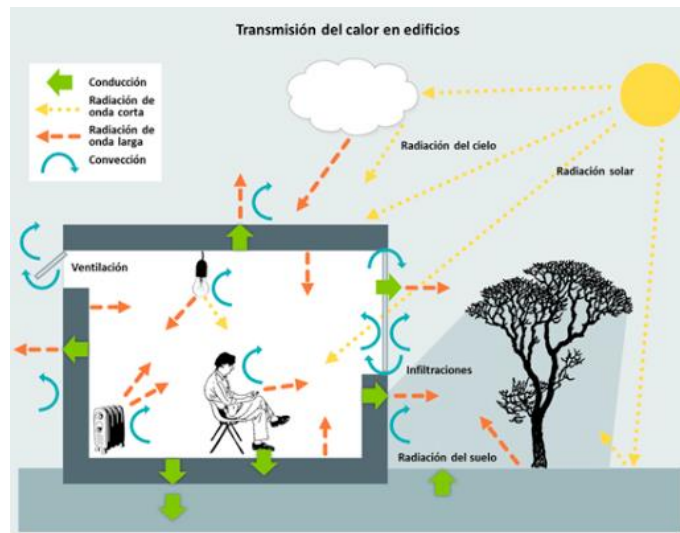


Figura 3: Transmisión de calor en edificios.

Fuente: Transmisión de calor en edificios, Arquitectura & Ingeniería, 2015.

3.2.1 Carga de los elementos de la envolvente \dot{Q}_c

Son las pérdidas o ganancias naturales de calor que tendrá la estructura por la interacción con su exterior⁵, esta dependerá de la diferencia de la temperatura del exterior con el interior del recinto, además de la materialidad de los elementos con contacto al exterior como muro, ventanas, puertas y cubierta. Se determina a partir de la Ecuación (2):

$$\dot{Q}_c = \left(\sum S_c * U_c \right) * (T_{ext} - T_{int}) \quad (2)$$

⁵Acondicionamiento térmico de edificios, Buenos Aires (Díaz, 2005).

Donde:

S_C : Superficie elemento de la envolvente [m^2].

U_c : Transmitancia térmica del elemento de la envolvente [W/m^2K].

T_{ext} : Temperatura externa del recinto [K].

T_{int} : Temperatura interna del recinto [K].

La transmitancia térmica se determinará según lo estipulado en NCh853⁶, siguiendo todos los procedimientos para cada tipo de elemento perteneciente a la envolvente térmica de la estructura y las condiciones que este presenta en el terreno.

3.2.2 Cargas solares \dot{Q}_s

El sol cuenta con la capacidad de emitir rayos solares, esta energía no se ve manifestada hasta que choca un receptor, la cual puede representarse de distintas formas: luz, energía eléctrica y calor. Para este análisis se clasifica esta interacción de dos formas, cuando los rayos inciden sobre superficies opacas como lo son muros y cubierta, estructuras más resistentes a ser penetrados por los rayos, denominadas cargas solares indirectas; y las superficies acristaladas son las que permiten un paso más libre para los rayos solares, denominadas cargas solares directas. La Ecuación **(3)** representa las cargas solares:

$$\dot{Q}_s = \dot{Q}_{sr} + \dot{Q}_{srt} \quad \mathbf{(3)}$$

Donde:

\dot{Q}_{sr} : Cargas solares directa [W].

\dot{Q}_{srt} : Cargas solares indirectas [W].

3.2.2.1 Carga solar directa \dot{Q}_{sr}

Las ganancias solares directas son aquellas dependientes de las ventanas o cualquier superficie acristalada o translúcida. En materiales con esta condición es posible que a través de ellos traspase una mayor cantidad de los rayos solares y actuando en el interior de la estructura aumentando la temperatura interna⁷. La Ecuación **(3a)** que determina esta interacción.

$$\dot{Q}_{sr} = \sum S_A * R * \theta \quad \mathbf{(3a)}$$

⁶Capítulo 5, Nch853.Of2007.

⁷Chávez Del Valle, F.J. Zona variable de confort térmico. Tesis doctoral, UPC, Departament de Construccions Arquitectòniques I, 2002.

Donde:

S_A : Superficie acristalada expuesta a la radiación [m^2].

R : Radiación solar que atraviesa al elemento [W/m^2].

θ : Coeficiente de ganancia solar.

El coeficiente de ganancia solar (SHGC) es una propiedad del tipo de cristal utilizado para las ventanas⁸. Se refiere a que tanto de los rayos solares incidentes se transforman en calor dentro de la estructura.

3.2.2.2 Carga solar indirecta \dot{Q}_{srt}

La carga solar indirecta, corresponde a los rayos solares que intentan atravesar objetos opacos⁹, esto quiere decir a muros estructurales o techumbres que interaccionen con el exterior, donde la luz incide directamente sobre ellos, pero un poco porcentaje logra generar alguna variación de la temperatura en el interior de la estructura. Se determina con la Ecuación **(3b)**.

$$\dot{Q}_{srt} = \left(\sum S_o * U_o \right) * R * \alpha * R_{so} \quad \text{(3b)}$$

Donde:

S_o : Superficie opacas expuesta a la radiación [m^2].

U_o : Transmitancia térmica de los elementos opacos [W/m^2K].

R : Radiación solar que atraviesa al elemento [W/m^2].

α : Absorbancia de la superficie.

R_{so} : Resistencia de la película exterior de aire [m^2K/W].

La absorbancia de la superficie es una propiedad por el tipo de acabado que tiene la capa expuesta a los rayos solares que puede permitir un mayor o menor paso de los rayos solares¹⁰.

La resistencia de la película exterior del aire cuantifica la influencia en la transferencia de calor de la película que forma el aire con la superficie expuesta¹¹.

3.2.2 Cargas internas \dot{Q}_i

Este tipo de cargas son dependientes únicamente de las condiciones internas del establecimiento, con las actividades que se realicen en el interior, aparatos tecnológicos y tipo de iluminación artificial con la que se cuente¹². Su determinación está dada por la Ecuación **(4)**.

⁸Manual de diseño para edificaciones energéticamente eficientes en el trópico, Caracas (Sosa).

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

¹⁰Influencia de la absorbancia solar en el comportamiento térmico de muros para condiciones de verano, Buenos Aires (Volantino, 2002).

¹¹Indicado en el apartado 5.1 en la tabla 2 de la norma Nch 853.

¹²Acondicionamiento térmico de edificios, Buenos Aires (Díaz, 2005).

$$\dot{Q}_i = \dot{Q}_{ie} + \dot{Q}_{ii} + \dot{Q}_{ip} \quad (4)$$

Donde:

\dot{Q}_{ie} : Carga interna por artefacto [W].

\dot{Q}_{ii} : Carga interna por iluminación [W].

\dot{Q}_{ip} : Carga interna por ocupantes [W].

3.2.2.1 Carga interna por artefacto \dot{Q}_{ie}

Estas cargas se generan por todos los aparatos eléctricos dentro de un recinto, ya que, si bien su principal función no es ingresar calor al sistema¹³. Estos sí generan esto como residuo. Además, no todos los aparatos cuentan con la misma eficiencia. Su cálculo se realiza con la Ecuación **(4a)**.

$$\dot{Q}_{ie} = \sum Pot * pu * \varepsilon \quad (4a)$$

Donde:

Pot: Potencia del artefacto [W].

pu. : Ponderación del uso horario del artefacto dentro del recinto [Factor adimensional].

ε : Eficiencia térmica del artefacto, la parte que se transforma en calor [Factor adimensional].

3.2.2.2 Carga internas por iluminación \dot{Q}_{ii}

Este valor se define como la potencia que las lámparas usadas dentro del recinto transforman la energía en calor¹⁴, y no todos los tipos de lámparas transfieren la misma cantidad de calor al sistema. Se definen dos tipos las que su luz proviene de diodos emisores de luz (LED) y las fluorescentes¹⁵. Se determinan con la Ecuación **(4b)**.

$$\dot{Q}_{ii} = \dot{Q}_{iil} + \dot{Q}_{iif} \quad (4b)$$

Donde:

\dot{Q}_{iil} : Carga sensible de iluminación por LED [W].

\dot{Q}_{iif} : Carga sensible de iluminación por lámparas fluorescentes [W].

¹³Acondicionamiento térmico de edificios, Buenos Aires (Díaz, 2005).

¹⁴Acondicionamiento térmico de edificios, Buenos Aires (Díaz, 2005).

¹⁵Estudio de la eficiencia energética en la climatización de la oficina del centro CEA por medio del programa TRNSYS, Córdova (Carballo, 2018).

3.2.2.2.1 Carga sensible de iluminación por lámparas LED \dot{Q}_{iil}

Estas cargas son provocadas por las lámparas LED, las que utilizan una resistencia de algún tipo de mineral que al calentarse generan temperaturas muy altas y que gracias a sus sistemas de refracción aumentan el rayo de luz iluminando grandes áreas. Estas transforman en menor medida la energía en calor¹⁶. Se determina su aporte con la Ecuación **(4b1)**.

$$\dot{Q}_{iil} = \sum Pot_{lam\ l} \quad \mathbf{(4b1)}$$

Donde:

$Pot_{lam\ l}$: Potencia de cada una de las lámparas LED [W].

3.2.2.2.2 Carga sensible de iluminación por lámparas fluorescentes \dot{Q}_{iif}

Estas cargas son provocadas por las lámparas fluorescentes, las que utilizan por lo general un gas por el cual circulan energía provocando su luz. Si bien existen muchos tipos de gases las más comúnmente utilizadas son de vapor de mercurio¹⁷, Estas presentan un mayor aporte de calor que las convencionales, calculándose con la Ecuación **(4b2)**.

$$\dot{Q}_{iif} = \sum Pot_{lam\ f} * 1.25 \quad \mathbf{(4b2)}$$

Donde:

$Pot_{lam\ f}$: Potencia de cada una de las lámparas fluorescentes [W].

3.2.2.3 Cargas interna por ocupante \dot{Q}_{ip}

Las cargas internas por ocupantes son provocadas por las personas que se encuentran en el interior del establecimiento y las actividades que estos realizan¹⁸. Se define por la Ecuación **(4c)**.

$$\dot{Q}_{ip} = \dot{Q}_{ips} + \dot{Q}_{ipl} \quad \mathbf{(4c)}$$

Donde:

\dot{Q}_{ips} : Carga interna sensible por ocupante [W].

\dot{Q}_{ipl} : Carga interna latente por ocupante [W].

¹⁶Acondicionamiento térmico de edificios, Buenos Aires (Díaz, 2005).

¹⁷Fundamentos para el tratamiento y disposición de tubos fluorescentes residuales, Buenos Aires (Leanza, 2009).

¹⁸Acondicionamiento térmico de edificios, Buenos Aires (Díaz, 2005).

3.2.2.3.1 Carga interna sensible por ocupante \dot{Q}_{ips}

Es el aporte de energía sensible provocada por los ocupantes del recinto durante sus distintas jornadas de actividades. Se determina con la Ecuación **(4c1)**.

$$\dot{Q}_{ips} = \sum C_{sen\ persona} \quad \mathbf{(4c1)}$$

Donde:

$C_{sen\ persona}$: Carga interna sensible de cada individuo dentro del recinto [W].

3.2.2.3.2 Carga interna latente por ocupante \dot{Q}_{ipl}

Este aporte de energía es provocado por los sistemas reguladores de energía presentes en el cuerpo humano, como lo son el sudor, respiración y temperatura corporal, este factor es menor a las cargas sensible, pero es más fluctuante con respecto a las distintas actividades. Se determina con la Ecuación **(4c2)**.

$$\dot{Q}_{ipl} = \sum C_{lat\ persona} \quad \mathbf{(4c2)}$$

Donde:

$C_{lat\ persona}$: Carga interna latente de cada individuo dentro del recinto [W].

3.2.3 Cargas de ventilación \dot{Q}_v

Estas cargas son provocadas por las infiltraciones de aire exterior y se determinan con la Ecuación **(5)**.

$$\dot{Q}_v = \dot{Q}_{vs} + \dot{Q}_{vl} \quad \mathbf{(5)}$$

Donde:

\dot{Q}_{vs} : Carga sensible de ventilación [W].

\dot{Q}_{vl} : Carga interna latente de ventilación [W].

3.2.3.1 Carga sensible de ventilación \dot{Q}_{vs}

Esta carga está compuesta por la pérdida de energía que se presenta al de cambiar la temperatura del aire que fluye desde el exterior, ya que este igualmente debe tener la temperatura de confort para los usuarios de la estructura¹⁹. Se determina con la Ecuación **(5a)**.

$$\dot{Q}_{vs} = C_e Aire * \rho_{Aire} * Q_{aire} * \Delta T \quad \mathbf{(5a)}$$

¹⁹Acondicionamiento térmico de edificios, Buenos Aires (Díaz, 2005).



Donde:

C_{eAire} : Calor específico del aire al exterior del recinto [$J/kg\ ^\circ C$].

ρ_{Aire} : Densidad del aire al exterior del recinto [kg/m^3].

Q_{aire} : Caudal del aire de infiltración [m^3/s].

ΔT : Diferencia de la temperatura del interior con el exterior [$^\circ C$].

El Caudal del aire de infiltración, es una propiedad de los fluidos en movimiento en este caso el aire, la cual relaciona la velocidad del fluido y el área que este atraviesa²⁰, esto se realiza con la Ecuación **(5a1)**.

$$Q_{Aire} = \sum (A_{infiltracion} * V_{viento}) \quad \mathbf{(5a1)}$$

Donde:

$A_{infiltracion}$: Área la cual atraviesa el aire de infiltración [m^2].

V_{viento} : Velocidad del viento en cierta orientación que ingresa al recinto [m/s].

Para determinar el área de infiltración, no solo debe considerarse el área de las ventanas o accesos. A estos valores deben ponderarse considerando; área de apertura del elemento, parte del tiempo que este permanece abierto y ángulo de apertura del elemento, para obtener un área de infiltración más representativo²¹.

3.2.3.2 Carga latente de ventilación \dot{Q}_{vl}

Esta carga está compuesta por el cambio del aire dentro de un recinto. Este es un proceso necesario por la generación de dióxido de carbono propio del sistema respiratorio. Cambia según el tipo de uso que se le del recinto y las distintas humedades relativas del aire en el intercambio²². Se determina con la Ecuación **(5b)**.

$$\dot{Q}_{vl} = Q_{re} * 0,84 * \Delta RH \quad \mathbf{(5b)}$$

Donde:

Q_{re} : Caudal según la tasa de renovación del aire dentro del recinto [m^3/s].

ΔRH : Diferencia de humedades del interior y el exterior.

0,84 : Producto entre la densidad del aire y el calor específico de la vaporización del agua [J/m^3].

La humedad del interior del recinto será una humedad óptima para los ocupantes, según varios autores este valor fluctúa de entre 50%-60%. Para este estudio se utiliza como humedad interior 55%²³.

²⁰Acondicionamiento térmico de edificios, Buenos Aires (Díaz, 2005).

²¹Acondicionamiento térmico de edificios, Buenos Aires (Díaz, 2005).

²²Acondicionamiento térmico de edificios, Buenos Aires (Díaz, 2005).

²³Confort térmico adaptativo dependiente de la temperatura y la humedad, Catalunya (E. Marincic, 2012).

El caudal según la tasa de renovación de aire, es las veces por segundo que debe cambiarse completa

mente el volumen de aire del establecimiento²⁴ según su uso. Se define con la Ecuación (5b1).

$$Q_{re} = V * R.S.A. \quad (5b1)$$

Donde:

V : volumen del recinto [m^3].

$R.S.A.$: Renovación total del aire por segundo según el uso [1/s].

4. Condiciones de diseño

El análisis de la Escuela Cardenal José María Caro debe ser completamente fidedigno a la realidad, por esto se debe recopilar información necesaria para un modelo analítico óptimo.

Algunos datos se encuentran en bancos de datos como: temperaturas, velocidad del viento, humedad, entre otros; Otros datos cuentan con una mayor dificultad de obtención como los artefactos utilizados, ocupantes del establecimiento, etc. Para la obtención de estos datos se realiza un catastro, recolección y clasificación a partir de visitas en terreno además de contar con planimetrías y mediciones como la representada en **Figura 4**. Los datos meteorológicos se modifican para un análisis estacionario, por motivos como, en los meses de enero y febrero su uso se encuentra reducido, en el caso de febrero el establecimiento se encuentra sin uso, de igual manera se enfoca la investigación en los meses más fríos del año; junio, julio y agosto, de igual manera el horario es modificado, al ser una escuela su uso es de 12 horas, que inicia a las 7:00 y termina a las 18:00 horas, en resumen esto fundamenta el realizar todos los cálculos como un régimen estacionario, en cuanto a lo estructural no se considera sectores como pasillos y el patio interior.

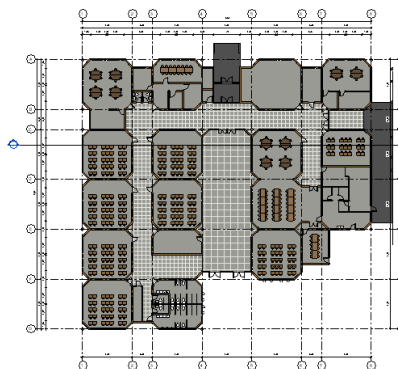


Figura 4: Escuela Cardenal José María Caro, modelo en software Revit vista en planta.
Fuente: Elaboración propia en software Revit.

²⁴Cálculo de un Sistema de Ventilación, Ambientec (2020).

4.1 Temperatura, humedad relativa y velocidad del viento de diseño

Estos datos son primordiales para conocer las condiciones actuales con la que cuenta el establecimiento, conocer su comportamiento y como afectan las condiciones climáticas propias del lugar e igualmente definir los objetivos.

4.1.1 Condiciones interiores de diseño

Las condiciones en las cuales la mayoría de los seres humanos se sienten confortados, para la temperatura se consideran 20°C, la humedad del aire de 55% y velocidad del viento de 1 m/s, resumido en **Tabla 1**. Cualquier variación de estos parámetros afecta las capacidades de las personas, y se definen como condiciones de diseño.

Tabla 1: Condiciones interiores de cálculo.

Temperatura operativa	Humedad relativa	Velocidad del viento
20°C	55%	1 m/s

4.1.2 Condiciones exteriores de cálculo

Las condiciones exteriores de diseño se obtienen de bases datos dispuestos por distintas instituciones que monitorean estos datos a lo largo de nuestro país, para una libre disposición de uso público. En el caso de temperatura y radiación solar, se extrae de un reporte solar entregado por la página del Ministerio de Energía²⁵, en conjunto con la Universidad de Chile, los cuales desarrollaron un explorador solar que entrega estos datos recopilados en **Tabla 2** (ver en Anexos) y **Tabla 3**. En el caso de la humedad relativa del aire y velocidad del viento, los datos se obtienen de Dirección de Aeronáutica Civil.

Tabla 3: Temperatura, humedad relativa promedio, velocidad del viento y radiación solar de los tres meses más fríos del año (junio, julio y agosto).

Mes	Junio	Julio	Agosto	Promedio
Humedad relativa (%)	92,20%	90,90%	89,40%	90,83%
Temperatura (°C)	8,58	8,04	9,08	8,57
Velocidad del viento (m/s)	8	7	7	7,33
Radiación solar (W/m ²)	247,80	216,45	251,60	238,61

²⁵<https://solar.minenergia.cl/exploración>.



4.2 Tipo de edificio y uso del local

El edificio en estudio es de uso público y está destinado para salas de clases, oficinas y un patio techado. Tiene un uso diario de 12 horas aproximadamente (de 7:00 horas a 19:00 horas). El mes de enero se encuentra sin uso, ya que tanto docentes como alumnos se encuentran en vacaciones, para el resto del año la cantidad y el tipo de usuarios del establecimiento se promedia un total de 186 ocupantes diarios entre: docentes, alumnos, directivos, asistentes de la educación y apoderados.

4.3 Radiación solar

Los datos de radiación solar que se utilizan se extrae del reporte solar que entrega el explorador solar implementado por el Ministerio de Energía en conjunto de la Universidad de Chile²⁶. Estos datos contemplan todo el año y a todas horas. Cabe mencionar que en la noche estos valores son nulos, el ángulo de declinación solar depende de la latitud que nos encontramos, ya que, el sol no incide de manera perpendicular sobre la superficie²⁷.

Las mediciones de la radiación solar son separadas por estaciones, datos resumidos en **Tabla 4** y **Tabla 5** (ver en Anexos), siempre enfocándose en los meses más fríos (junio, julio y agosto). La radiación no afecta a todas las caras del establecimiento con la misma intensidad, por ende, se considera como supuesto la descomposición de las distintas zonas.

- Este: la radiación solar se percibe en el horario que transcurre entre las 7:00 y las 11:00 horas.

- Norte: la radiación solar se percibe en el horario que transcurre entre las 12:00 y las 14:00 horas.

- Oeste: la radiación solar se percibe en el horario que transcurre entre las 15:00 y las 18:00 horas.

- Sur: La radiación solar directa no es perceptible a ninguna hora del día por el ángulo que este presenta, si bien incide luz esta es reflejada por otros elementos que no son cuantificables dentro de este estudio.

4.4 Absorbancia α

Absorbancia es una característica presente en la capa exterior del elemento que están en contacto con la radiación solar²⁸, ya que afecta a la transferencia de calor. Este factor depende del color de pintura que presente el elemento en contacto o al tipo de

²⁶Elaboración de un modelo de estimación de la distribución espacial de la radiación solar global mensual para Chile.

²⁷Elaboración de un modelo de estimación de la distribución espacial de la radiación solar global mensual para Chile central, Santiago (Aburto, 2007).

²⁸Influencia de la absorbancia solar en el comportamiento térmico de muros para condiciones de verano, Buenos Aires (Volantino, 2002).



acabado en caso de que este no cuente con una capa de pintura para el establecimiento. Los datos se encuentran en la **Tabla 6** (ver en Anexos) ²⁹.

4.5 Coeficiente de ganancia de calor solar (SHGC) θ

Este parámetro afecta a las superficies acristaladas en las que incide la luz solar dependiendo del tipo de cristal o material traslúcido³⁰, ejemplos en **Tabla 7** (ver en Anexos), igualmente depende de su configuración doble o simple y/o el color de acabado del mismo, permite que dentro del establecimiento indica una mayor o menor cantidad de luz afectando a la envolvente térmica. En el caso del establecimiento solo cuenta con vidrios simple claro, por ende, el factor a utilizar será de 0,86³¹.

4.6 Potencia de luminaria

Existen distintos tipos de métodos para generar luz artificial algunos de estos tipos son luz fluorescente, luces incandescentes, luces alógenas, luces de diodos, emisores (LED), entre otros, dentro del edificio analizado se pueden identificar dos métodos, las luces fluorescentes y ampollas que utilizan diodos emisores de luz (LED), se clasifican, ya que, según el método que utilizan tendrán una mayor o menor energía residual la cual afectará a la envolvente³². Para obtener esto se realiza un catastro de la luminaria utilizada en la escuela, visible en **Tabla 8** (ver en Anexos).

4.7 Carga interna sensible y latente por ocupante

Este tipo de cargas son residuales según las actividades que se realicen dentro del establecimiento³³, dependerá la cantidad de usuarios y el tipo de actividades que estos realicen, según el catastro realizado en el punto se clasificaron y determinaron en las siguientes clasificaciones, evidenciado en **Tabla 9** (ver en Anexos).

4.8 Artefactos

Este tipo de carga interna considera la parte de la potencia consumida por los distintos aparatos dentro del establecimiento que se transforma en calor³⁴, ya que esta afectará a las cargas internas, cabe destacar que no todos los aparatos aportan la misma cantidad, ya que no cuenta con el mismo funcionamiento, estos pueden ser: notebook, fotocopiadoras, entre otros en la **Tabla 10** (ver en Anexos) se encuentra el catastro realizado en el establecimiento.

4.9 Caudal de aire de ventilación Q_{aire}

El caudal del aire de ventilación es el volumen de aire que desplaza por segundo³⁵, para determinar este valor es necesario determinar el área por el cual este aire se desplaza, esto se determinó por medio de un catastro que se realizó en el

²⁹Manual de diseño para edificaciones energéticamente eficientes en el trópico, Caracas (Sosa).

³⁰Manual de diseño para edificaciones energéticamente eficientes en el trópico, Caracas (Sosa).

³¹Acondicionamiento térmico de edificios, Buenos Aires (Díaz, 2005).

³²Acondicionamiento térmico de edificios, Buenos Aires (Díaz, 2005).

³³Manual de aire acondicionado Carrier.

³⁴Acondicionamiento térmico de edificios, Buenos Aires (Díaz, 2005).

³⁵Acondicionamiento térmico de edificios, Buenos Aires (Díaz, 2005).

establecimiento, por ende, el área de infiltración dependerá de ciertos factores los cuales son:

- El área de infiltración se considera, tanto, área de ventanas como de accesos.
- Solo una parte del área de la ventana y acceso es de libre flujo de aire, ya que no todas las ventanas son abatibles completamente.
- En ángulo de apertura de las ventanas y accesos también permitirá una mayor área de infiltración.
- El tiempo de apertura que se contempla también dependerá del tipo de acceso o ventana que sea.
- Para elementos sin contacto en el exterior la velocidad del viento utilizada será de 2 m/s

Además del área de infiltración es necesario determinar la velocidad del viento en el que se cuenta, esto dependerá del sector del establecimiento, ya que hay sectores donde el viento cuenta con magnitud variada, por ende, se utiliza la rosa de los vientos expuesta en **Figura 5** proporcionada por el Ministerio de Energía³⁶ donde se definen los vientos más probables por sector y así obtener un caudal de aire los cuales se encuentran en **Tabla 11** y **Tabla 12** (ver en Anexos).

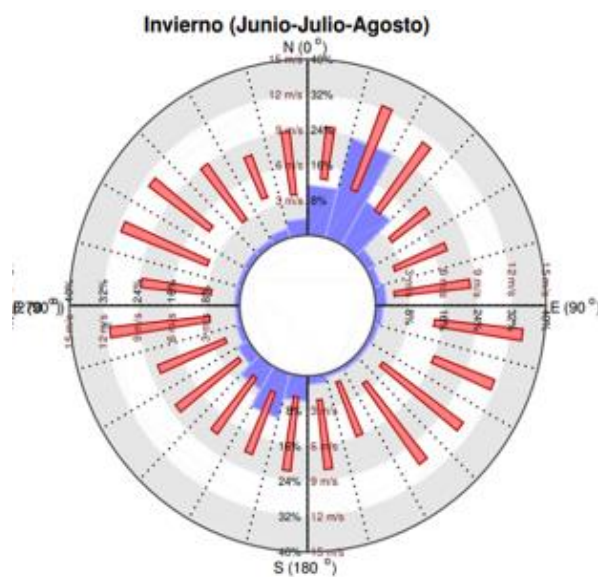


Figura 5: Rosa de los vientos para meses de invierno.
Fuente: Informe explorador solar ministerio de energía.

³⁶<https://solar.minenergia.cl/exploración>.

4.10 Renovación del aire por segundo

Este factor dependerá según el uso con el que cuente el establecimiento, ejemplos en **Tabla 13**, ya que un constante cambio de aire permite que la tasa de oxígeno aumenta y la cantidad de monóxido de carbono expulsado por los ocupantes disminuya y no afecte a los demás usuarios, para el caso de este establecimiento el cual es una escuela la renovación de aire por segundo debe ser de $5,5 \times 10^{-4}$ veces por segundo³⁷.

Tabla 13: Renovación de aire por segundo para establecimientos.

Tipo de establecimiento	Renovaciones de aire por segundo (hora)
Catedrales	13×10^{-4} (0,5)
Iglesias modernas	$2,7 \times 10^{-4}$ a $5,5 \times 10^{-4}$ (1 a 2)
Escuelas, aulas	$5,5 \times 10^{-4}$ a $8,3 \times 10^{-4}$ (2 a 3)
Hospitales	11×10^{-4} a 16×10^{-4} (4 a 6)
Oficinas generales	14×10^{-4} a 16×10^{-4} (5 a 6)
Restaurantes	14×10^{-4} a 16×10^{-4} (5 a 6)

5. Resultados

5.1 Cálculo de Cargas por envolvente.

Para el cálculo de la envolvente de se utilizan datos entregados en la **Tabla 14** (ver en Anexos), como lo son superficies y transmitancia térmicas de elementos tanto muros exteriores como techumbre, accesos ventanas y puertas, igualmente los elementos interiores, la temperatura interior se considera la temperatura de diseño definitiva en el partido y la temperatura exterior es utilizada la temperatura horaria entregada en el explorador solar³⁸, para los elementos en contacto con el interior se utiliza la temperatura medida en terreno.

Para determinar la carga por envolvente horaria se utiliza la Ecuación **(2)**, obtenido como resultado los datos de la **Tabla 15**.

³⁷Cálculo de un sistema de ventilación, Ambientec (2020).

³⁸<https://solar.minenergia.cl/exploración>.

Tabla 15: Cargas de envolvente horaria del establecimiento para meses más fríos (junio, julio y agosto).

Hora	Carga por envolvente \dot{Q}_c (W)
7:00	-46144
8:00	-47243
9:00	-43947
10:00	-41750
11:00	-38454
12:00	-35158
13:00	-29664
14:00	-27911
15:00	-25585
16:00	-25414
17:00	-27467
18:00	-30763

5.2 Cálculo de cargas solares

Las cargas solares afectan al establecimiento de dos formas, cargas solares indirectas para muros exteriores y techumbre, cargas solares directas para áreas acristaladas³⁹.

5.2.1 Carga Solar directa

Las cargas solares directas se determinan a través de los datos de radiación solar presentes dentro de la **Tabla 4** (ver en Anexos), coeficiente de ganancia solar definida en la **Tabla 7** (ver en Anexos), que para este establecimiento el valor es 0,84⁴⁰ y las superficies acristaladas determinadas en terrenos y a través de la planimetría resumida en la **Tabla 16** (ver en Anexos).

Para determinar el valor final de las cargas solares directas se utilizan los datos anteriormente mencionados y la Ecuación **(3a)**, obteniendo la radiación solar directa para los meses más fríos (junio, julio y agosto) en la **Tabla 17**.

³⁹Acondicionamiento térmico de edificios, Buenos Aires (Díaz, 2005).

⁴⁰Manual de diseño para edificaciones energéticamente eficientes en el trópico, Caracas (Sosa).

Tabla 17: Carga solar directa para el establecimiento en los meses más fríos (junio, julio y agosto).

Hora	Carga solar directa \dot{Q}_{sr} (W)
7:00	9322
8:00	9322
9:00	9322
10:00	9322
11:00	9322
12:00	12369
13:00	12369
14:00	12369
15:00	10463
16:00	10463
17:00	10463
18:00	10463

5.2.2 Cargas solares indirectas

Estas cargas como fue mencionado anteriormente son las que afectan a los elementos que componen la capa externa de la edificación, muros exteriores y cubierta⁴¹.

Los muros exteriores se encuentran compuestos por 5 tipos de muros: albañilería, albañilería a la vista, hormigón armado, tabiquería y muros translúcidos, en contrario la techumbre se encuentra compuesta por un solo tipo de cubierta principal, la transmitancia térmica de cada elemento se determina según lo definido en la Ecuación (2).

La superficie de estos, se consideran según su orientación, esto se determina a través de medidas en terreno, estos valores están resumidos en la **Tabla 18** y **Tabla 19** (ver en Anexos).

La Radiación solar para cada horario se define anteriormente, presente en la **Tabla 5** (ver en Anexos), donde se identifican los valores que afectaran a los muros exteriores y la techumbre.

La absorbanza de cada elemento que es afectado por las cargas solares indirectas se encuentra clasificados en la **Tabla 6** (ver en Anexos).

La resistencia de la película exterior de capa de aire (R_{so}) entregada a través del informe solar del explorador solar según lo definido en el apartado 3.2.2.2., el cual toma el valor de $0,055 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$, este valor es el mismo para techumbres y muros exteriores⁴².

⁴¹Acondicionamiento térmico de edificios, Buenos Aires (Díaz, 2005).

⁴²Indicado en el apartado 5.1 en la tabla 2 de la norma Nch 853.

Finalmente se determina las cargas solares indirectas horarias a través de la Ecuación **(3b)**, por lo tanto, las cargas solares horarias para los meses más fríos (junio, julio y agosto) se encuentran en la **Tabla 20**.

Tabla 20: Carga solar directa horaria para el establecimiento en los 3 meses más fríos (junio, julio y agosto).

Hora	Cargas solares indirectas \dot{Q}_{srtr} (W)		
	Muros exteriores	Techumbre	Total
7:00	1124	6529	7653
8:00	1124	6529	7653
9:00	1124	6529	7653
10:00	1124	6529	7653
11:00	1124	6529	7653
12:00	2552	6529	9081
13:00	2552	6529	9081
14:00	2552	6529	9081
15:00	1275	6529	7804
16:00	1275	6529	7804
17:00	1275	6529	7804
18:00	1275	6529	7804

5.3 Cargas internas

Las cargas internas son propias del uso del establecimiento, artefactos y sistema de luz artificial interior con el que cuente el establecimiento.

5.3.1 Cálculo cargas internas por artefactos

Según el catastro realizado de los aparatos eléctricos que se encuentran en el interior del establecimiento presente en la **Tabla 10** (ver en Anexos), es posible cuantificar las cargas internas por artefactos la cual es constante y se determina a través de la Ecuación **(4a)** y en la **Tabla 21** (ver en Anexos) es posible apreciar la carga resultante, la que asciende al valor de 4981 W.

5.3.2 Cargas internas de iluminación

Para el cálculo de cargas internas de iluminación se realiza un catastro de la cantidad de ampollitas o tubos presente en la **Tabla 8** (ver en Anexos), este valor será constante ya que a partir del estudio no se obtuvo gran variación con respecto al uso de la luminaria, con lo cual se determinó la carga total a partir de la Ecuación **(4b1)** y **(4b2)**,



obteniendo los datos de la **Tabla 22** (ver en Anexos), la que alcanza el valor constante de 7047 W.

5.3.3 Cargas internas por ocupante

5.3.3.1 Cálculo Carga internas sensibles por ocupante

Para el cálculo de las cargas sensible por ocupante se utiliza el catastro presente en **Tabla 9**, con el que se cuenta con la cantidad de ocupantes y la clasificación de actividades según la carga aportante⁴³, se considera un 75% de ocupación la carga sensible por ocupante será un valor constante a lo largo de las horas de uso definida anteriormente, para determinar este valor se utiliza la Ecuación **(4c1)** entregando los valores presentes en **Tabla 23** (ver en Anexos), presentando las cargas internas latentes por ocupante el valor de 10392 W.

5.3.3.2 Cálculo cargas internas latentes por ocupante

Para el cálculo de las cargas latentes por ocupante se utiliza el catastro realizado en la **Tabla 9**, con el que se cuenta, con la cantidad de ocupantes y la clasificación de actividades según la carga aportante⁴⁴, se consideró un 75% de ocupación, la carga latente por ocupante será un valor constante a lo largo de las horas de uso definida anteriormente, para determinar este valor se utiliza la Ecuación **(4c2)** entregando los valores presentes en **Tabla 24** (ver en Anexos), presentando las cargas internas latentes por ocupante el valor de 9273 W.

5.4 Cargas ventilación

Las cargas de ventilación son provocadas por la infiltración de aire externo que puede ingresar energía al sistema o desplazar energía fuera del sistema⁴⁵.

5.4.1 Cálculo cargas sensible de ventilación

Las cargas sensibles de ventilación se determinan a través de los datos del caudal del aire presente en **Tabla 11** y **Tabla 12** (ver en Anexos), la diferencia de temperatura se determina gracias a la temperatura de diseño explicada en el apartado 4.1.1 y las temperaturas horarias presentes en **Tabla 2** (ver en Anexos), dotadas por el explorador solar⁴⁶ al igual que la densidad del aire y el calor específico del mismo⁴⁷, posterior a esto se realiza el cálculo según la Ecuación **(5a)** y los resultados presentados en la **Tabla 25**.

⁴³Acondicionamiento térmico de edificios, Buenos Aires (Díaz, 2005).

⁴⁴Acondicionamiento térmico de edificios, Buenos Aires (Díaz, 2005).

⁴⁵<https://solar.minenergia.cl/exploracion>

⁴⁶<https://solar.minenergia.cl/exploracion>

⁴⁷Cálculo de un Sistema de Ventilación, Ambientec (2020).

Tabla 25: Cargas sensibles de ventilación horaria para los 3 meses más fríos (junio, julio y agosto).

Hora	Carga sensible de ventilación \dot{Q}_{vs} (W)
7:00	-60755
8:00	-57882
9:00	-53843
10:00	-52984
11:00	-51404
12:00	-50339
13:00	-50295
14:00	-50391
15:00	-50325
16:00	-52419
17:00	-53746
18:00	-55562

5.4.2 Carga latente de ventilación

La carga latente de ventilación se determina a los datos de humedad entregada en la **Tabla 2** (ver en Anexos), el volumen y área de la institución que fue obtenida en los terrenos y en la planimetría, la renovación del aire que en este caso es 2 renovaciones por hora⁴⁸, ya que, es una escuela, **Tabla 13** (ver en Anexos), este valor es constante para cada estación y presente en **Tabla 26** (ver en Anexos), ascendiendo a -1676 W.

5.5 Balance térmico

Al generar la sumatoria de todas las cargas latentes y sensibles horarias, Ecuación (1), para los meses más fríos (junio, julio y agosto), se llega a los datos expresados en la **Tabla 27** (ver en Anexos), para la demanda de enfriamiento superficial se dividió la demanda total por la superficie del estableciendo $927,75 m^2$ obtenido de las planimetrías, determinado en **Tabla 28**.

⁴⁸Cálculo de un Sistema de Ventilación, Ambientec (2020).

Tabla 28: Demanda externa superficial para calefacción y enfriamiento.

Periodo Hora	Demanda superficial externa calefacción (W/m ²)			Demanda superficial externa enfriamiento (W/m ²)		
	Mar-May	Jun-Ago	Sep-Nov	Dic-Feb	Mar-May	Sep-Nov
7:00	-56	-85	-59	24		
8:00	-54	-83	-54	34		
9:00	-50	-75	-45	46		
10:00	-42	-71	-41	44		
11:00	-33	-66	-28	50		
12:00		-57		72	28	38
13:00		-51		80	39	45
14:00		-49		85	51	58
15:00		-50		81	61	54
16:00		-52		81	61	53
17:00		-55		78	50	48
18:00		-61		73	36	39
Promedio	-47	-63	-46	62	47	48

6. Propuesta de solución

Según los resultados del balance térmico con que cuenta la Escuela Cardenal José María Caro, la mayor pérdida de calor que presenta es por infiltración de aire exterior alrededor del 45% de las pérdidas se producen por este factor, esto genera una serie de inconvenientes para los niños y otros usuarios⁴⁹. Esto no cuenta con una fácil solución, ya que, es necesario mantener las ventanas abiertas por mantener una buena tasa de oxígeno en el aire para mantener la atención de los niños⁵⁰, otros factores para la salud, si bien es posible realizar esto en los lapsus de recreo, no es suficiente y menos en periodos fríos donde la mayoría se queda dentro de la sala dentro de estos lapsus, por las condiciones adversas del clima en el exterior, la propuesta de solución debe contar con una serie de condiciones autoimpuestas como; económica, fácil mantenimiento, bajo nivel de contaminación, acondicionamiento térmico para cualquier estación climática del año y que cuente con una factibilidad estructural, la solución que se pretende realizar es un intercambiador de calor geotérmico, o sistema de pozos canadienses⁵¹.

⁴⁹Clima social escolar y desarrollo personal (L. Leyva, 1999).

⁵⁰Clima social escolar y desarrollo personal (L. Leyva, 1999).

⁵¹Pozo canadiense: la climatización ecológica y eficiente (2018).



6.1 Pozos canadienses.

Los pozos provenzales o pozos canadienses, son un sistema de acondicionamiento térmico, cuyo sistema consiste en circular aire a través de conductos bajo tierra a baja profundidad, entre 2 a 5 metros, permite aprovechar la temperatura del suelo la cual en la mayoría de los casos no se ve afectada por las condiciones climáticas externas y presenta, por lo general, temperaturas que rodean de entre 18°C y 23°C⁵², lo cual permite que a través de un proceso de intercambio de calor, ya que solo al circular el aire por los tubos este perderán calor al estar su temperatura por sobre la temperatura del suelo o en caso contrario el suelo cederá su calor al aire que circula por la tubería, esto se produce por el principio de termodinámica, el balance térmico que se genera dependerá de factores como, el tipo de suelo, la humedad del suelo, humedad del aire, temperatura del ambiente, caudal de aire, potencia ventiladores, perdidas por filtros y/o geometría de tuberías, aportes térmicos externos⁵³.

Los beneficios de este tipo de sistema son la poca cantidad de energía que requieren, ya que prácticamente solo necesita un sistema de circulación de aire⁵⁴, no es necesario un gasto de energía adicional para aumentar o perder el calor propio del aire, algunos de los beneficios de estos beneficios son; es un sistema polivalente esto se debe a que es posible su funcionamiento tanto para condiciones de temperaturas por sobre la objetivo, como por las que estén por debajo del objetivo, automatizado, ya que, es posible programar este sistema para que a través de termostatos y a parámetros predefinidos, tenga un proceso completamente automatizado y optimice lo más posible su funcionamiento, bajo costo de mantención prácticamente las únicas mantenciones a largo plazo son las de cambio de filtros tanto los del intercambiador de calor, como las que se encuentran en el tramo que el aire baja por las cámaras, ya que, dependiendo de la humedad del suelo el aire podría absorber humedad, por ende debiese considerarse un proceso de secado del aire a condiciones óptimas igualmente cuenta con algunas desventajas como, aparatoso sistema de instalación por el tener que excavar el suelo, necesita de superficies libres de construcciones, no es apto para suelos granulares rocosos o bajos en humedad, ya que son suelos que no cuentan con una conductividad térmica óptima, por ende, estos son factores que deben estudiarse antes de definirlo como solución óptima en cualquier establecimiento objetivo.

⁵²Pozo canadiense: la climatización ecológica y eficiente (2018).

⁵³Pozo canadiense: la climatización ecológica y eficiente (2018).

⁵⁴Pozo canadiense: la climatización ecológica y eficiente (2018).

6.2 Software Graphische Auslegung von ErdwärmeAustauschern GAEA.

GAEA es un software desarrollado por el departamento de Física de la Construcción y Energía Solar Universidad de Siegen, Alemania⁵⁵, se busca cuantificar las ganancias para los edificios que pretendan o tengan este sistema implementado, ingresando distintos parámetros propios del emplazamiento llegar a una solución óptima, parámetros como ciclos de temperatura, tipo de suelos, costos de materias primas, mantenimientos, instalación del sistema solucionar todas las dudas posibles, cuenta con dos tipos de utilización una determinando las ganancias propias de un sistema existente o en el caso del establecimiento, donde se busca una solución óptima. A continuación, se resumirá el proceso que realizado en el caso de la Escuela Cardenal José María Caro para dar con una solución óptima:

En primer lugar y bajo una recopilación estudio de suelos anteriores realizados en puntos cercanos a donde se ubica el establecimiento, los cuales identificaron como limoso el tipo de suelo, se utiliza el perfil predefinido por el programa de propiedades del suelo limoso⁵⁶, se pueden ingresar datos manuales, pero el estudio de suelo del cual se obtuvo la información no ensayo propiedades como la conductividad térmica o la capacidad calorífica del suelo, por ende, se optó por esta selección, el nivel freático fue tomando en consideración de estudio en sectores aledaños para la elaboración de pozos de aprovechamiento de aguas subterráneas, la cual entrega rango de entre 7-9 metros, considerando nosotros los 8 metros de profundidad cómo es posible observar en la **Figura 6** (ver en Anexos).

En segundo lugar, ingresar datos climatológicos de la zona, si bien hay varias opciones como: selección de clima por zona o estaciones climatológicas, estas solo aplican para Alemania o Europa, por ende, se debieron ingresar valores propios de la zona de estudio, estos datos se obtienen realizando un análisis a las distintas herramientas del explorador solar antes mencionado cuyos datos fueron recopilados detallado en **Figura 7** (ver en Anexos).

- Temperatura máxima mensual se obtuvo como temperatura 20,7°C.
- Temperatura promedio anual, se obtuvo como temperatura 13,8°C.
- El día pico de temperatura máxima, el día del mes que esta sucedió este pico fue el día 16 del mes de enero⁵⁷.

En tercer lugar, se debe ingresar los caudales de renovación de aire que presenta el establecimiento definiendo el volumen y las veces que este se renovara cada hora, este valor se determinó en el apartado y es $5567 \text{ m}^3/h$, en la segunda columna se

⁵⁵Calculation tool for earth heat exchangers GAEA, Siegen (Benkert, 1997).

⁵⁶Diagnóstico de la calidad de las aguas subterráneas de las regiones de Ñuble y del Biobío, Santiago (2019).

⁵⁷<https://climatologia.meteochile.gob.cl/application/informacion/fichaDeEstacion/360011>.



encuentra el tipo de uso que tendrá el sistema bajo que circunstancia de enfriamiento o calentamiento se utilizará, igualmente podría ser activado por periodos de tiempo específico. Pero se decidió que sea por límites de temperatura, estos límites se utilizaran los límites comunes temperatura que presenta el suelo, esto se indica, ya que si el sistema entra en funcionamiento solo si la temperatura del suelo es menor a la que se encuentra el interior del establecimiento, en la tercera columna se debe ingresar datos propios del sistema de ventilación, el primer dato a ingresar es la pérdida de presión, estas pérdidas se deben sistema de tuberías, filtros, entre otros el segundo valor es la eficiencia del ventilador, como en el caso se pretende utilizar un sistema de recuperador de calor, ya que es un sistema que cuenta con una alta eficiencia tanto térmica como energética, ya que aprovecha el calor del aire viciado que expulsa y la eficiencia que presentan estos sistemas es alrededor de un 45%-55%, el cual se fijó en 50% detallado en **Figura 8** (ver en Anexos).

El último paso antes de optimizar las soluciones, se debe ingresar opciones para minimizar valores a optimizar como profundidad, diámetros de tuberías, largo de tuberías entre otros, ya que iterar distribuciones que igualmente serán descartadas detallado en **Figura 9** (ver en Anexos).

El programa comienza a iterar e indica cuantas configuraciones ha realizado y cuantas son óptimas para nuestro caso, realiza esto de manera repetitiva graficando estos datos en una ventana secundaria visible en **Figura 10** (ver en Anexos).

Se selecciona si la solución que buscamos desea optimizar la energía o los costos, como mencionamos anteriormente el apartado de costos no fue tomado en consideración, por ende, se considera la solución que optimice la energía que entrega los parámetros de salida presentes en **Figura 11** (ver en Anexos).

La solución contempla 3 tuberías a una profundidad de 2,5 metros, espaciadas a 0,5 metros entre ellas, el diámetro de esta tubería es de 125 milímetros, una longitud de tubería de 30 metros y generar un aporte máximo de 14,9 *kWh*.

6.3 Evaluación económica de propuesta.

Se generan dos costos al instalar este tipo de sistemas, un costo de instalación inicial que contempla excavación, materiales como tuberías, cámaras de hormigón, etapas de secado, soportes, intercambiador de calor, entre otros materiales, mano de obra realizada por los instaladores, operadores y programadores del sistema, el segundo costo es el realizado a mantenimiento y consumo energético del sistema.

Se realiza una aproximación a los valores de instalación los que podrían variar, ya que, como es un sistema poco conocido no hay empresas que realicen un servicio completo. Este valor asciende a la cifra de \$11.701.670 considerando todos los equipos y mano de obra para su puesta en marcha **Tabla 29** (ver en Anexos), en un periodo de 10 días.

Se determina 3 gastos por funcionamientos, considerando los filtros tanto del intercambiador de calor como el proceso de secado del aire, mantención de ductos y consumo eléctrico del sistema. Este consumo es un periodo de 12 horas diarias durante 11 meses al año, ascendiendo a la cifra de \$402.260 este es el costo anual **Tabla 30**, mensualmente equivale a \$33.522, la cubicación se realizó según el esquema presente en la **Figura 12** (ver en Anexos).

Tabla 30: Costos anuales funcionamiento pozo canadiense.

Costos anual funcionamiento	Costo unitario	Unidad	Cubicación	Unidad	Costo total
Consumo eléctrico	110	\$/kWh	1200	kW año	\$ 132.000
Cambio Filtros	45880	\$/u	2	unidad	\$ 91.760
Mantención del sistema	178500	\$/u	1	unidad	\$ 178.500
				Costo anual	\$ 402.260

6.4 Evaluación térmica de propuesta.

Para evaluar la mejora térmica se debe representar de manera estacionaria la solución, el software entrega la variación de temperatura que tendrá el aire que ingresa al sistema y la energía de calefacción o refrigeración que este aporta, ejemplificado en **Figura 13** (ver en Anexos), por ende, se decide agrupar estos resultados por horario y estación, obteniendo así la ganancia externa, presentes en la **Tabla 31** (ver en Anexos). Aplicando los aportes externos, se obtiene un nuevo balance térmico el cual considera el aporte de pozos canadienses (P.C.), se encuentra en la **Tabla 32**.

**Tabla 32:** Balance térmico posterior mejora.

Balance térmico mejora (\dot{Q}_t)								
Periodo	Dic-Feb		Mar-May		Jun-Ago		Sep-Nov	
Hora del día	Mejora	Equilibrio con aporte P.C.	Mejora	Equilibrio con aporte P.C.	Mejora	Equilibrio con aporte P.C.	Mejora	Equilibrio con aporte P.C.
	(%)	(W/m ²)	(%)	(W/m ²)	(%)	(W/m ²)	(%)	(W/m ²)
7:00	15%	20	12%	-50	17%	-70	11%	-53
8:00	10%	30	12%	-47	18%	-68	12%	-48
9:00	8%	43	13%	-43	19%	-60	15%	-38
10:00	8%	40	11%	-38	20%	-57	5%	-39
11:00	31%	34	10%	-30	17%	-55	4%	-27
12:00	22%	56	22%	22	20%	-45	18%	31
13:00	20%	64	16%	32	22%	-39	15%	38
14:00	18%	69	12%	45	23%	-38	12%	51
15:00	16%	68	9%	56	20%	-40	17%	45
16:00	16%	68	10%	55	20%	-42	18%	44
17:00	17%	65	12%	44	18%	-45	20%	38
18:00	18%	60	16%	30	17%	-51	24%	30
Promedio	17%	52	13%	36	19%	51	14%	36



7. Conclusión

Según los cálculos del balance térmico de la Escuela Cardenal José María Caro la mayor parte de las pérdidas se debe a la ventilación, con un promedio de pérdida de 45% en invierno (junio, julio y agosto). Para dar solución a esta problemática se busca una fuente de calor externa. Luego de una serie de estudios de factibilidad, se opta por implementar un acondicionamiento térmico de pozos canadienses, el cual es un método poco utilizado en nuestro país, para la implementación se debe utilizar un software alemán con el fin de cuantificar la posible solución y porcentaje de aprovechamiento del mismo.

Los factores por los cuales se elige esta solución son las características del suelo, no genera contaminación, superficie libre de construcción, bajo costo de uso, bajo consumo energético y alta eficiencia.

La mejora del balance térmico es de 19% en los meses más fríos (junio, julio y agosto), un 16% de mejora anual y un equilibrio térmico superficial de 51 W/m^2 en los meses más fríos, cabe destacar que este sistema de pasivo de calefacción tiene mejor eficiencia en otoño (marzo, abril y mayo) y primavera (septiembre, octubre y noviembre), ya que el gradiente de temperatura externo es inferior que en invierno (junio, julio y agosto) y verano (diciembre, enero y febrero), si bien el costo inicial para la instalación es mucho más elevado que otros sistemas, ascendiendo a la suma de \$11.701.670, todo esto se amortigua con el costo mensual por funcionamiento el cual es de \$33.520, siempre pensando que es un establecimiento de 1623 m^2 con más de 140 usuarios diarios los cuales pasan alrededor de 12 horas al día al interior del establecimiento.

Por los motivos anteriormente mencionados y los datos obtenidos es posible afirmar que existe un sistema óptimo para implementar en la Escuela José María Caro y es el de pozos canadiense.



Anexos

Se debe tener en consideración los siguientes documentos Anexos:

- Planilla de cálculo Excel.
- Reporte meteorológico, explorador solar.
- Modelo Revit 2021, Escuela Cardenal José María Caro.
- Optimización de GAEA.
- Planimetría, Escuela Cardenal José María Caro.

Tabla 2: Temperatura, humedades relativas, velocidad del viento y radiación solar promedio para cada mes del lugar.

Mes	Humedad relativa (%)	Temperatura (°C)	Velocidad del viento (m/s)	Radiación solar (W/m ²)
Enero	56%	20,08	8	486,93
Febrero	70%	19,54	7	529,31
Marzo	69%	17,33	6	437,49
Abril	79%	13,42	7	389,27
Mayo	91%	10,46	6	265,78
Junio	92%	8,58	8	247,80
Julio	91%	8,04	7	216,45
Agosto	89%	9,08	7	251,60
Septiembre	80%	10,83	6	338,39
Octubre	72%	12,71	7	358,29
Noviembre	66%	15,42	7	436,27
Diciembre	58%	17,92	8	476,21

Tabla 4: Promedio mensual de radiación solar directa durante el día.

Mes	Radiación solar directa (W/m ²)
Enero	492,76
Febrero	515,36
Marzo	473,53
Abril	352,04
Mayo	209,67
Junio	170,95
Julio	168,16
Agosto	224,26
Septiembre	338,14
Octubre	353,27
Noviembre	412,75
Diciembre	438,35

Tabla 5: Cargas solares promedio para los 3 meses más fríos (junio, julio y agosto) presentes en cada sector del establecimiento.

Dirección	Este	Norte	Oeste	Directa
Radiación solar (W/m ²)	110,33	300,79	198,43	203,18

Tabla 6: Absorbancia de acabados del establecimiento.

Estructura	Tipo de acabado	Absorbancia
Muros Exteriores	Pintura Naranja	0,5
Techumbre	Pintura Azul	0,4
Tragaluz	Policarbonato	0,18

Tabla 7: Coeficiente de ganancia de calor solar de disintos elementos acristalados.

Tipo de superficie acristalada	Coeficiente de ganancia solar
Vidrio simple claro	0,86
Vidrio simple bronce/gris	0,73
Doble claro	0,76
Doble claro/gris	0,62

Tabla 8: Clasificaron y contabilidad de elementos pertenecientes a la luminaria del interior del establecimiento.

Tipo luminaria	Diodo emisor de luz (LED)			Fluorescentes	
	Potencias (W)	7	10	12	9
Número de elementos	8	10	23	48	270

Tabla 9: Clasificación de usuarios y cargas residuales generados por los mismos.

Tipo de ocupante	Cantidad	Tipo de actividad	OCUP- \dot{Q} -SEN (W/persona)	OCUP- \dot{Q} -LAT (W/persona)
Docentes	12	De pie, trabajo ligero, andando	75	55
Alumnos	143	Sentado, trabajo moderado	72	60
Directivos	17	Sentado, trabajo ligero	70	50
Asistentes	12	Andando, trabajo ligero	110	185
Apoderados	2	Sentado	75	30

Tabla 10: Clasificación y contabilización de artefactos dentro de establecimiento.

Artefacto	Potencia (W)	Número de artefactos
Horno	2500	1
Microondas	700	2
Tostador	250	2
Hervidor	1700	2
Fotocopiadora	1950	1
Impresora	19	3
Computador escritorio	300	20
Computador portátil	30	15
Televisor	85	10
Proyector	345	2
Instrumentos musicales	1000	4
Ventilador pedestal	70	3
Ventilador techo	120	4
Refrigerador	500	1
Equipo musical	99	2
Cocina	2000	1
Alarma	45	1
Cámaras	4	8

Tabla 11: Determinación de caudales de aire a través de ventanas en el establecimiento.

Área y caudal total de infiltración por orientación				
Ventanas	Este	Norte	Oeste	Sur
Área de infiltración (m ²)	3,11	1,99	3,17	0,05
Caudal de infiltración (m ³ /s)	14,23	10,94	14,56	0,23
Velocidad del viento (m/s)	7,35	5,5	6,75	5

Tabla 12: Determinación de caudales de aire a través de accesos en el establecimiento.

Área y caudal total de infiltración por orientación				
Accesos	Este	Norte	Oeste	Sur
Área de infiltración (m ²)	3,51	0,00	0,00	0,26
Caudal de infiltración (m ³ /s)	13,84	0,00	0,00	0,66
Velocidad del viento (m/s)	7,35	5,5	6,75	5

Tabla 14: Transmitancia térmicas y superficies de elementos de la envolvente; muros exteriores, techumbre, ventanas y accesos.

Elemento		Transmitancia térmica U (W/m ² K)	Superficie (m ²)
Exteriores	Muro albañilería	2,08	214,10
	Muro albañilería a la vista	2,24	47,11
	Muros hormigón armado	3,42	102,40
	Muros tabiquería	0,74	14,70
	Cubierta Principal	1,13	927,75
	Ventanas aluminio	5,73	55,00
	Ventanas acero	5,73	98,20
	Accesos	2,54	7,20
Interiores	Muro albañilería	1,8	305
	Muro albañilería a la vista	1,9	24,9
	Muros hormigón armado	2,8	88,4
	Ventanas aluminio	4,1	4,97
	Ventanas acero	4,1	37,7
	Accesos	2,14	36,6

Tabla 16: Catastro de áreas acristaladas del establecimiento.

Dirección	Este	Norte	Oeste	Sur
Área acristalada (m ²)	36,74	53,53	61,31	23,05

Tabla 18: Transmitancia térmicas de elementos de muros exteriores del establecimiento y superficies.

Tipo	Transmitancia térmica U (W/m ² K)	Superficies (m ²)			
		Norte	Sur	Este	Oeste
Muro albañilería	2,078	55,95	55,03	64,00	39,13
Muro albañilería a la vista	2,245	13,86	6,96	19,60	6,69
Muros hormigón armado	3,416	26,30	22,31	29,31	24,43
Muros tabiquería	0,739	0,00	4,00	10,91	0,00

Tabla 19: Transmitancia térmicas de elementos de cubierta del establecimiento y superficies.

Tipo	Transmitancia térmica U (W/m ² K)	Superficie de techumbre (m ²)
Cubierta Principal	1,129	927,75

Tabla 21: Cálculo de carga internas por artefactos del establecimiento.

Artefacto	Potencia residual (W)	Proporción de uso	Número de artefactos	Aporte (W)	Carga interna por artefacto \dot{Q}_{ie} (W)
Horno	1750	0,29	1	510	4981
Microondas	315	0,29	2	184	
Tostador	125	0,29	2	73	
Hervidor	629	0,42	2	524	
Fotocopiadora	488	0,43	1	211	
Impresora	3	0,43	3	4	
Computador escritorio	141	0,83	20	2350	
Computador portátil	10	0,83	15	120	
Televisor	19	0,33	10	62	
Proyector	193	0,17	2	64	
Instrumentos musicales	120	0,58	4	280	
Ventilador pedestal	12	0,42	3	15	
Ventilador techo	23	0,33	4	30	
Refrigerador	125	1,00	1	125	
Equipo musical	18	0,25	2	9	
Cocina	1160	0,33	1	387	
Alarma	4	1,00	1	4	
Cámaras	4	1,00	8	29	

Tabla 22: Carga internas de iluminación según catastro de establecimiento.

Tipo lámpara	Diodo emisor de luz (LED)			Fluorescentes	
Potencias (W)	7	10	12	9	18
Número lámparas	8	10	23	48	270
Carga por tipo (W)	56	100	276	540	6075
Carga sensible iluminación \dot{Q}_{ii} (W)	7047				

**Tabla 23:** Cargas internas sensibles de ocupantes.

Tipo de ocupante	Docentes	Alumnos	Directivos	Asistentes	Apoderados
Cantidad	12	143	17	12	2
Carga unitaria (W)	75	72	70	110	75
Carga total (W)	900	10296	1190	1320	150
Carga sensible por ocupante \dot{Q}_{ips} (W)	10392				

Tabla 24: Carga latente por ocupantes del establecimiento.

Tipo de ocupante	Docentes	Alumnos	Directivos	Asistentes	Apoderados
Cantidad	12	143	17	12	2
Carga unitaria (W)	55	60	50	185	30
Carga total (W)	660	8580	850	2220	60
Carga latente por ocupante \dot{Q}_{ipl} (W)	9277,5				

Tabla 27: Demanda de potencia de calefacción para los meses más frío del establecimiento.

Hora	Cargas sensibles \dot{Q}_{st}	Cargas latentes \dot{Q}_{lt}	Total Establecimiento (W)	Total superficial (W/m ²)
7:00	-86059	7602	-78457	-85
8:00	-84284	7602	-76682	-83
9:00	-76949	7602	-69348	-75
10:00	-73892	7602	-66291	-71
11:00	-69017	7602	-61415	-66
12:00	-60182	7602	-52581	-57
13:00	-54645	7602	-47043	-51
14:00	-52987	7602	-45386	-49
15:00	-53777	7602	-46176	-50
16:00	-55701	7602	-48099	-52
17:00	-59081	7602	-51479	-55
18:00	-64193	7602	-56591	-61
Promedio	-65897	7602	-58296	-63

EHX	Soil	Climate	HVAC	Cost	Year	Day	Optimum
<p>Density: 1650.0 kg/m³</p> <p>Heat capacity: 2.85 kJ/(kg K)</p> <p>Thermal conductivity: 2.30 W/(m K)</p> <p>8.0 m depth</p>		<p>Soil</p> <p>Please choose the type of soil from the list or define a new type.</p> <p>Type of soil: loamy soil</p> <p>Density in kg/m³: 1650</p> <p>Heat capacity in kJ/(kg K): 2.85</p> <p>Thermal conductivity in W/(m K): 2.3</p> <p>Ground water level in m: 8</p>					

Figura 6: Ventana de clasificación de suelos.
Fuente: Software GAEA.

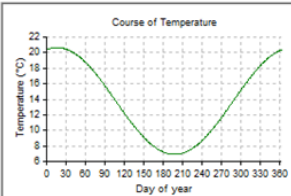
EHX	Soil	Climate	HVAC	Cost	Year	Day	Optimum
<p>Course of Temperature</p>  <p>Peak: 16. day</p>		<p>Temperature model</p> <p><input type="radio"/> Climatic region (Germany)</p> <p><input type="radio"/> Weather station (Europe)</p> <p><input checked="" type="radio"/> Sinusoidal course</p> <p><input type="radio"/> File</p> <p>Please choose one of the temperature models and define the values by clicking into the map or by filling in the numerical boxes.</p> <p>Max. monthly value in °C: 20.65</p> <p>Yearly mean temp. in °C: 13.785</p> <p>Min. monthly value in °C: 6.92</p> <p>Month with maximum: January</p> <p>Day with maximum: 16</p> <p>Name of climatic region (Germany): [dropdown]</p> <p>Choice by zipcode: [Zipcode]</p>					

Figura 7: Ventana de clasificación de clima.
Fuente: Software GAEA.

GAEA Heating / ventilation / air-conditioning							
EHX	Soil	Climate	HVAC	Cost	Year	Day	Optimum
<p>Building</p> <p><input checked="" type="radio"/> Quasi stationary</p> <p><input type="radio"/> File</p> <p>Building volume in m³: 3897</p> <p>Air change rate in 1/h: 2</p> <p>Ventilation flow in m³/h: 7794</p>		<p>EH-X control</p> <p><input checked="" type="radio"/> Temperature range</p> <p><input type="radio"/> Period of time</p> <p>Set point temperature in °C: 20</p> <p>Boundary value for heating in °C: 19.5</p> <p>Boundary value for cooling in °C: 20.5</p> <p>EH-X temperature offset in K: 0</p>		<p>Flow</p> <p>Constant pressure drop in Pa: 90</p> <p>Pressure drop in pipes in Pa/m: 61.11</p> <p>Total pressure drop in Pa: 3145.51</p> <p>Fan efficiency: 0.5</p> <p>Fan power in W: 13620.052</p> <p>Spec. energy consum. in Wh/m³: 1.75</p>			

Figura 8: Ventana de requerimientos de calefacción.
Fuente: Software GAEA.

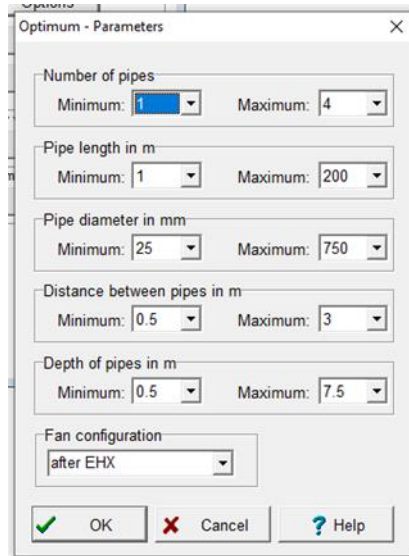


Figura 9: Ventana de parámetros de optimización.
Fuente: Software GAEA.

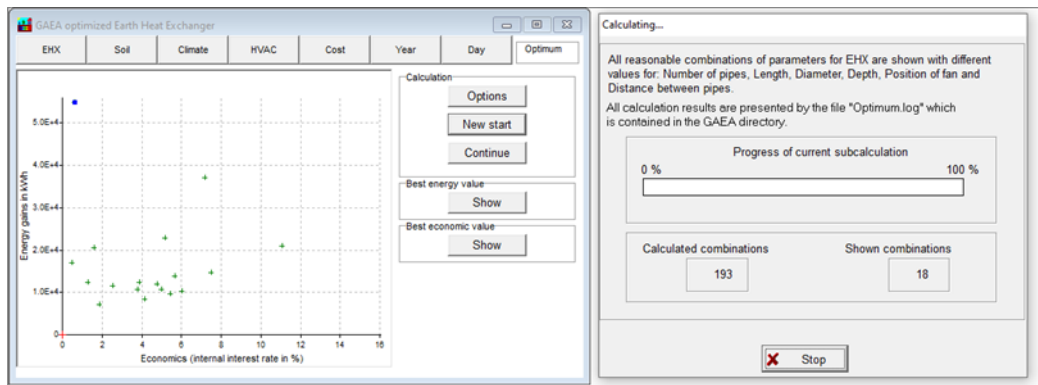


Figura 10: Ventana de optimización y visualización de progreso.
Fuente: Software GAEA.

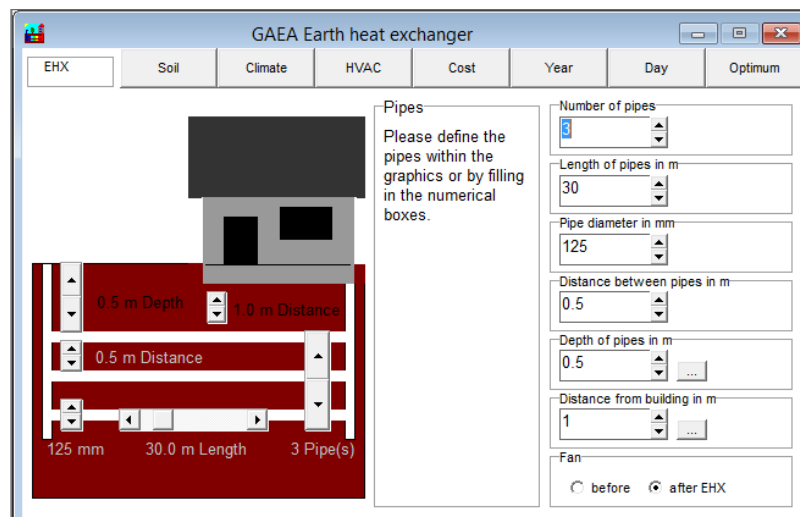


Figura 11: Parámetros de solución óptima energéticamente.
Fuente: Software GAEA.



Tabla 29: Costo instalación sistema pozo canadiense y recuperador de calor.

Costo por instalación	Costo unitario	Unidad	Cubicación	Unidad	Costo total
Movimiento de tierra	5000	\$/m ³	206,25	m ³	\$ 1.031.250
Tuberías PVC 125 mm	4150	\$/m	98	m	\$ 406.700
Conductos Fe Gal 200 mm	11930	\$/m	64	m	\$ 763.520
Cámaras hormigón	40316	\$/m	4	m	\$ 161.264
Filtros	85880	\$/u	1	unidad	\$ 85.880
Válvula de admisión	32000	\$/u	1	unidad	\$ 32.000
Ducto admisión suplementario	27900	\$/u	1	unidad	\$ 27.900
Ducto de escape	19300	\$/m	5	unidad	\$ 96.500
Celosías	12270	\$/u	16	unidad	\$ 196.320
Recuperador de calor 5350	7253596	\$/u	1	unidad	\$ 7.253.596
Termostatos	35990	\$/u	3	unidad	\$ 107.970
Sensores humedad	22900	\$/u	2	unidad	\$ 45.800
Filtros deshidratación	159000	\$/u	1	unidad	\$ 159.000
Sensores temperatura	13990	\$/u	3	unidad	\$ 41.970
Compuerta auxiliar	162000	\$/u	1	unidad	\$ 162.000
Estación PLC	152000	\$/u	1	unidad	\$ 152.000
Panel eléctrico	273000	\$/u	1	unidad	\$ 273.000
Electricista	30000	\$/día	2	día	\$ 60.000
Programador	50000	\$/día	2	día	\$ 100.000
Instalador	35000	\$/día	2	día	\$ 70.000
Ayudantes	40000	\$/día	3	día	\$ 120.000
Fontaneros	50000	\$/día	3,5	día	\$ 175.000
Especialista en climatización	30000	\$/día	6	día	\$ 180.000
				Costo instalación	\$11.701.670

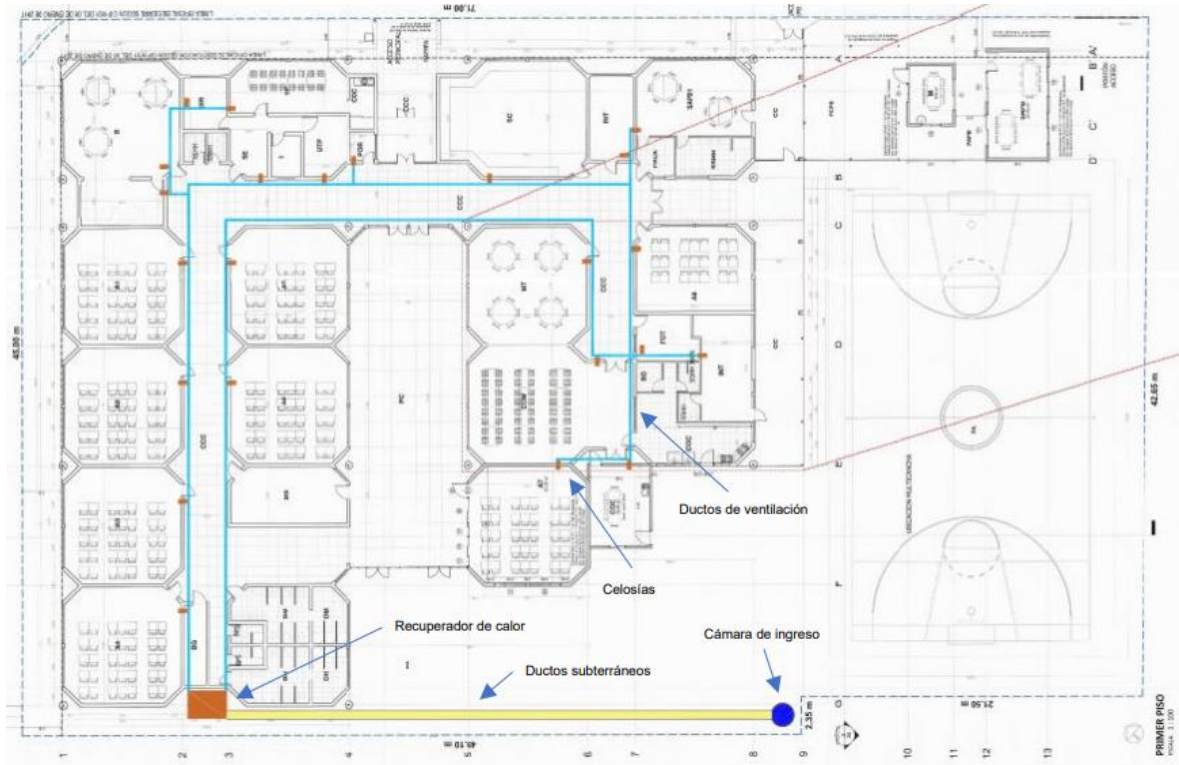


Figura 12: Esquema emplazamiento pozo canadiense.
Fuente: Software AutoCAD.

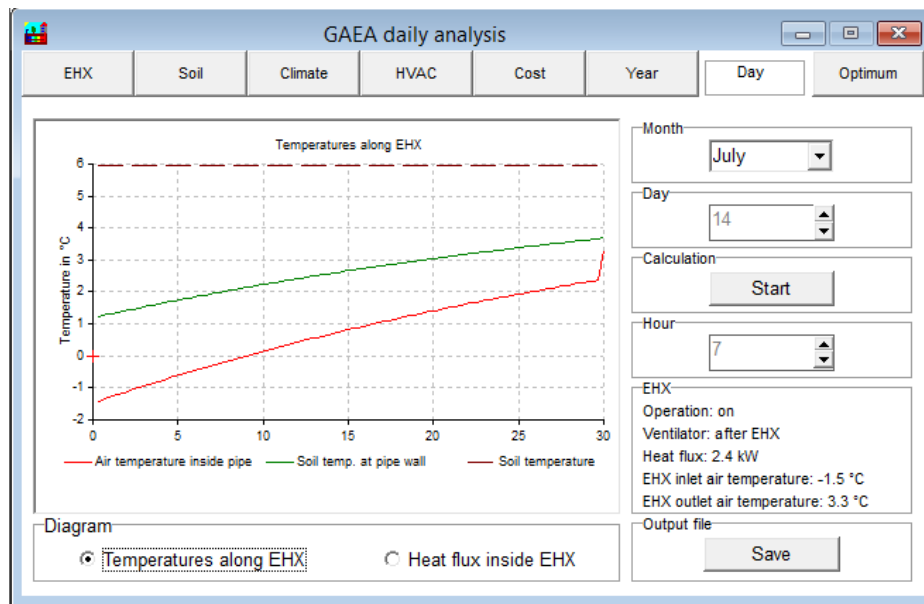


Figura 13: Grafica aporte externo pozo canadiense.
Fuente: Software GAEA.

**Tabla 31:** Aporte externo pozo canadiense.

Aporte externo pozo canadiense				
Periodo	Dic-Feb	Mar-May	Jun-Ago	Sep-Nov
Hora del día	W			
7:00:00	-3240,7	6059,0	13489,3	6059,0
8:00:00	-3240,7	6059,0	13489,3	6059,0
9:00:00	-3240,7	6059,0	13489,3	6059,0
10:00:00	-3240,7	4241,3	13489,3	2019,7
11:00:00	-14583,1	3029,5	10527,4	1009,8
12:00:00	-14583,1	-5888,2	10527,4	-6341,1
13:00:00	-14583,1	-5888,2	10527,4	-6341,1
14:00:00	-14583,1	-5888,2	10527,4	-6341,1
15:00:00	-12199,7	-5395,7	9411,2	-8633,2
16:00:00	-12199,7	-5395,7	9411,2	-8633,2
17:00:00	-12199,7	-5395,7	9411,2	-8633,2
18:00:00	-12199,7	-5395,7	9411,2	-8633,2