

Facultad de Ingeniería

Escuela de Construcción Civil

Evaluar el desempeño del consumo energético mediante la simulación de pozos canadienses en Edificio Consistorial de la comuna de Quilpué

Por

Hanne Liesse Werkmeister Flores

Proyecto para optar al Título de Ingeniera en Construcción.

Profesor guía, Claudio Carrasco Aldunate

Valparaíso, junio 2023.

Agradecimientos

Agradezco a la vida por darme la oportunidad de poder estudiar una carrera universitaria y finalizarla después de tantos intentos.

Agradecer al profesor Claudio Carrasco, por la ayuda inmensa durante todo este proceso.

A mis amigos de la vida, quienes me daban ánimos para lograr el objetivo.

A mis hermanas, Scarlett y Stephie, mujerazas, que, a pesar de ver las cosas grises, ellas han podido surgir con una fuerza inimaginable junto a mis sobrinos Santi y Emi, motivo propio para darme mas energía para terminar esta etapa. Por sus palabras de aliento día a día y por la confianza plena que me demostraron.

A mis abuelos, por la paciencia y credibilidad, a pesar de pasar por momentos difíciles, esto es un granito de alegría para sus vidas. ¡Los amo mucho!

A mi compañera de vida, María, por su paciencia gigante, por bancarme noches de simulaciones infinitas, café tras café, por el aguante que implica tener poco tiempo entre el trabajo y el estudio. Siempre estuviste ahí, dándome aliento, confiando en mi y escuchando mis avances de la tesis. ¡Gracias mi vida!

A mi madre, quien, a pesar de no encontrarse en este mundo terrenal, sé que debe haber vivido este momento con la misma alegría que yo la viví.

Este logro es por ti mamá, ¡Te amo mucho!

Índice de Contenidos

Lista de Figuras	6
Lista de Tablas.....	9
CAPÍTULO I: Generalidades	10
1.1 Introducción:.....	10
1.2 Planteamiento del problema	11
1.3 Objetivos.....	13
1.3.1 Objetivo general:	13
1.3.2 Objetivos específicos:	13
1.4 Alcances.....	13
CAPÍTULO II: Estudio del estado del arte	14
2.1 Configuración del sistema	15
2.1.1 Distribución directos aislados	16
2.1.2 Distribución Techelmann	17
2.1.3 Distribución Bloque Techelmann	18
CAPÍTULO III: Marco Teórico	20
3.1 La energía	20
3.2 Energía Geotérmica	22
3.2.1 Tipos de sistemas de geotermia somera	28
3.3 Energía geotérmica en Chile	32
3.3.1 Geotermia somera en Chile	36
3.4 Transferencia de calor en la tierra	39
3.4.1 Leyes de la termodinámica.....	39
3.4.2 Inercia térmica.....	40
3.4.3 Conductividad térmica	40
3.4.4 Gradiente geotérmico	41
3.5 Intercambiador aire-tierra (pozo canadiense)	41
3.5.1 Componentes del sistema intercambiador aire-tierra	42
3.5.2 Fundamento teórico del intercambiador aire-tierra.....	43
3.5.3 Criterios de diseño para un intercambiador aire-tierra.....	46
3.5.4 Cálculos del sistema.....	46
3.5.5 Sistema de distribución del aire tratado	54

3.5.6 Ventajas y Desventajas del sistema.....	56
3.6 Caso de estudio, Edificio Consistorial de Quilpué	57
3.6.1 Ubicación	57
3.6.2 Topografía	57
3.6.3 Clima	58
3.6.4 Descripción del Edificio.....	63
CAPÍTULO IV: Metodología de Trabajo	67
4.1.- Diagnosticar el consumo energético del edificio en estudio	67
4.2.- Diseñar la solución de pozo canadiense para el edificio estudio.	68
4.3.- Evaluar el comportamiento energético de la implementación del pozo canadiense en el edificio en estudio.....	68
4.4.- Crear especificaciones técnicas para la construcción del pozo canadiense en el edificio en estudio:.....	69
4.5.- Presupuestar las obras asociadas a la ejecución del pozo canadiense.....	69
CAPÍTULO V: Desarrollo de la Experiencia.....	70
5.1 Toma de datos Edificio Consistorial de Quilpué.....	70
5.2 Determinar desempeño del edificio mediante software Design Builder	70
5.2.1 Registros climatológicos en el Caso de estudio	71
5.2.2 Definición Geométrica	73
5.2.3 Definición del material.....	75
5.2.4 Condiciones térmicas internas del edificio.....	80
5.3 Equipamiento.....	83
CAPÍTULO VI: Resultados y análisis	85
6.1 Comparación de datos.	86
6.2 Diagnóstico del edificio.....	88
6.2.1 Diseño de refrigeración	89
6.2.2 Diseño de calefacción.....	90
6.2.3 Consumo energético.....	92
6.3 Modelación de sistema “Pozos canadienses”	95
6.3.1 Datos para la propuesta	96
6.4 Simulación con propuesta incluida.....	101
6.4.1 Consumo total Edificio.....	101

6.4.2 Consumo anual desglosado	102
6.5 Análisis de resultados.	104
CAPÍTULO VII: Especificaciones técnicas pozos canadienses.....	104
7.1 Los componentes del sistema:	108
7.2 Presupuesto y análisis	112
CAPITULO VIII: Conclusión	114
CAPÍTULO IX: Propuestas.....	115
9.1 Propuesta 1: Edificio Consistorial con agotamiento de napas freáticas	116
9.1.1 Análisis propuesta 1	122
9.2 Propuesta 2: Edificio consistorial con doble sistema de pozos canadienses.	123
9.2.1 Simulación propuesta 2	124
9.2.2 Análisis precio unitario	136
CAPITULO X: Análisis crítico	138
Bibliografía.....	140
ANEXOS	144
Anexo 1. Instrumento de medición.....	144
Anexo 2. Unidad de aspiración	145

Lista de Figuras

Figura 2.1 Esquema básico del funcionamiento de tubos enterrados.....	15
Figura 2.1.1 Distribución directos aislados (anillos).....	16
Figura 2.1.1.1 Casa BASF	17
Figura 2.1.1.2 Viviendas populares ciudad de Moreno, 2016.....	17
Figura 2.1.2 Distribución Techelmann (rejillas)	18
Figura 2.1.2.1 Modelación de supermercado Tesco, Polonia.....	18
Figura 2.1.3 Distribución bloque Techelmann (bloque-rejilla).....	19
Figura 3.1 Energía renovable	21
Figura 3.2 Energía geotérmica.....	22
Figura 3.2.1 Gradiente geotérmico	23
Figura 3.2.2 Clasificación Entalpía	25
Figura 3.2.3 Tipos de energía geotérmica	26
Figura 3.2.4 Geotermia profunda y somera.....	27
Figura 3.3 Sistemas abiertos.....	29
Figura 3.3.1 Sistemas cerrados horizontales	30
Figura 3.3.2 Sistemas cerrados verticales.....	31
Figura 3.3.3 Sistemas no incluidos.....	32
Figura 3.4 Mapa de Evaluación Recursos Geotérmicos para la Implementación Chile	35
Figura 3.5 Proyectos de bombas de calor geotérmicas.....	39
Figura 3.6 Transferencia de calor	44
Figura 3.7 Funcionamiento del intercambiador aire-tierra.....	45
Figura 3.8 Datos históricos de clima en Quilpué.....	58
Figura 3.8.1 Temperatura promedio en Quilpué	59
Figura 3.8.2 Temperatura promedio por hora en Quilpué.....	60
Figura 3.8.3 Categorías de nubosidad en Quilpué.....	61
Figura 3.8.4 Probabilidad diaria de precipitación en Quilpué.....	62
Figura 3.8.5 Promedio mensual de lluvia en Quilpué	63
Figura 3.9 Vista aérea locación edificio	64
Figura 5.1 Temperaturas máximas, mínimas y promedio mensuales de bulbo seco del archivo climático.	71
Figura 5.2 Plantilla del sitio.....	72

Figura 5.3 Emplazamiento del Edificio Consistorial de Quilpué.....	73
Figura 5.4 Modelación modo asoleamiento con entorno	74
Figura 5.5 Edición muros	76
Figura 5.6 Resultados U edición muros.....	77
Figura 5.7 Edición cubiertas.....	78
Figura 5.8 Edición ventanas	79
Figura 5.9 Cargas de ocupación	81
Figura 5.9.1 Iluminación general.....	81
Figura 5.9.2 Densidad de equipamiento	82
Figura 6.1 Periodo de simulación software Design Builder	86
Figura 6.2 Medición confort 28 de marzo 2023	87
Figura 6.3 Simulación edificio año 2023.....	88
Figura 6.4 Diseño de refrigeración	89
Figura 6.5 Diseño de calefacción	90
Figura 6.6 Confort Edificio Consistorial	91
Figura 6.7 Consumo total anual.....	92
Figura 6.8 Consumo total desglosado.....	93
Figura 6.9 HVAC	96
Figura 6.9.1 Tubo subterráneo.....	96
Figura 6.9.2 HVAC intercambiador tierra-aire	98
Figura 6.9.3 Conexión zonas	99
Figura 6.9.4 Circuito de aire unitario conectado con zonas seleccionadas	100
Figura 6.9.5 Consumo total edificio en estudio incluido pozos canadienses.	101
Figura 6.9.6 Consumo desglosado incluidos tubos enterrados.....	102
Figura 7.1 Vista general planta de edificaciones conformantes del edificio consistorial de Quilpué	105
Figura 7.2 Perfil edificios 7 y 8	106
Figura 7.3 Identificación del sector a proyectar el sistema de tubos canadienses (P-7).....	107
Figura 7.4 Identificación sectorial de la ubicación del sistema.....	111
Figura 9.1 Vista general de los 8 edificios conformantes del edificio consistorial de Quilpué	116
Figura 9.2 Detalle de 8 calicatas exploradas	117

Figura 9.3 Perfil 1, edificios 1, 2 y 4.....	118
Figura 9.4 Perfil 2, edificios 5, 6 y 3.....	118
Figura 9.5 Vista general edificio Consistorial con identificación de sectores P-6, P-5 y P-3.	119
Figura 9.6 Vista general edificio Consistorial con identificación de sectores P-1, P-2 y P-4.	120
Figura 9.7 Vista frontal edificio Consistorial de Quilpué con identificación de sectores	121
Figura 9.8 Esquemización de pozos en forma paralela	123
Figura 9.9 Propuesta de dos sistemas	124
Figura 9.10 Distribución de los sistemas con sus respectivos sectores designados	125
Figura 9.11 Consumo total anual sin sistema en sectores 7-5-2 y 3.....	126
Figura 9.12 Consumo total desglosado sin sistema en sectores 7-5-2 y 3.....	127
Figura 9.13 Consumo total anual con sistema en sectores 7-5-3 y 2.....	129
Figura 9.14 Consumo total anual sin sistema 2 en sectores designados 6-4 y 1	131
Figura 9.15 Consumo total anual con sistema número 2 en sectores designados 6-4 y 1.....	133

Lista de Tablas

Tabla 1.1 Temperaturas y humedades relativas al exterior del edificio	85
Tabla 1.2 Temperaturas y humedades relativas al interior del edificio	85
Tabla 1.3 Consumo total desglosado	94
Tabla 1.4 Consumos total desglosado anual	103
Tabla 1.5 Comparación edificio estudio con edificio simulado incluida la propuesta Anual .	103
Tabla 1.6 Antecedentes mecánica de suelos	106
Tabla 1.7 Detalle presupuestario	112
Tabla 1.8 Consumo total anual comparativa	113
Tabla 1.9 Desglose de consumo total anual sin sistema en sectores 7-5-3 y 2	128
Tabla 1.10 Desglose de consumo total anual con sistema en sectores 7-5-3 y 2	130
Tabla 1.11 Desglose de consumo total anual sin sistema en sectores 6-4 y 1	132
Tabla 1.12 Desglose de consumo total anual con sistema en sectores 6-4 y 1	134
Tabla 1.13 Resumen comparativo edificio real versus simulaciones	135
Tabla 1.14 Comparación de dinero ahorrado anual de simulación original versus propuesta de simulación	135
Tabla 1.15 Detalle presupuestario sistema número 1 con sectores designados	136
Tabla 1.16 Detalle presupuestario número 2 con sectores designados	137

CAPÍTULO I: Generalidades

1.1 Introducción:

El Informe Brundtland (1987), manifiesta que el desarrollo sostenible es lo que el ser humano debe atender hoy. Esto significa que los recursos deben ser usados para satisfacer las necesidades de la población, pero manteniendo una calidad de vida. Es decir, sin afectar la posibilidad de que las generaciones futuras puedan disponer de recursos para enfrentar sus propias necesidades. Por lo tanto, lo esencial del concepto es que debe ser aplicado de manera multifocal y multidisciplinaria, incluyendo los aspectos tecnológicos, políticos, sociales, económicos, ecológicos y éticos. Se puede decir que la sostenibilidad tiene un triple fondo: ambiental, social y económico, ligado a la salud humana para el desarrollo del día a día (Cabezas, 2012). La transición energética (de energía primaria y secundaria) en el mundo no es algo nuevo, y la evidencia demuestra que es un proceso de cambio continuo de la matriz energética que avanza permanentemente a través del tiempo impulsada por los adelantos tecnológicos. (Dobles, 2018).

Las “energías primarias” son las que se obtienen directamente de la naturaleza, tanto las renovables (como la geotérmica, la solar, la hidráulica, la eólica y la biomasa) como las no renovables (como el gas natural, el petróleo y el carbón).

Las “energías secundarias” son aquellas que provienen de las energías primarias y que son generadas a través de los procesos que transforman la energía primaria en energía secundaria para usos o destinos específicos (como la electricidad, la gasolina, el diésel y el búnker). (Dobles, 2018).

La electricidad se conoce como el engranaje de la economía, registrando siempre un incremento anual, provocando mayor demanda y a su vez mayor desembolso económico. Es por esto que se busca mediante la transición eléctrica quien ahora no solo procede de producir energía de manera limpia sino a disminuir ese consumo y optimizar el uso de los recursos naturales. La energía geotérmica será un recurso bastante explotable para disminuir los GEI de la atmósfera y brindar confort en climatización a los hogares y empresas de Chile.

Su problema radica en el gran vacío legal que existe en cuanto a regulaciones, normas, licencias y trámites para este tipo de construcciones que poco a poco se espera se vaya haciendo conocer por académicos y profesionales en el tema.

El sistema de tubos enterrados busca de una u otra forma reemplazar los sistemas convencionales de refrigeración y/o calefacción para así disminuir los gastos que se generan por el uso de energía eléctrica en las regiones con temperaturas extremas de nuestro país.

1.2 Planteamiento del problema

El ser humano desde sus inicios ha necesitado de diversas fuentes de energía para satisfacer sus necesidades para realizar múltiples actividades. La energía eléctrica es una de las fuentes de energía mas utilizadas actualmente, de ello depende incluso casi la totalidad de sus demandas, presentando a su vez una dependencia creciente. Esta dependencia aumenta según número de consumidores y cantidad de energía eléctrica que requiere cada uno de ellos trayendo consecuencias de incremento en el consumo. Esto quiere decir que el consumo energético crece a nivel mundial y seguirá haciéndolo en un futuro no muy lejano. Inicialmente se produce la energía primaria, considerando su extracción o captación del recurso del medio. Posteriormente, se convierte esta energía en secundaria, la cual será transportada, almacenada y transformada hasta poder ser utilizable en puntos de consumos, como hogares, oficinas, industrias, entre otros. Pero el proceso de transformación de la energía conlleva un sobre coste económico, los denominados costes de transformación de la electricidad.

El sector energético, entendido como el sector de transformación y comercialización de la energía, es posiblemente una de las piezas clave dentro del engranaje económico, al depender de él prácticamente todos los demás. Existen diferentes fuentes de energía de las que se extrae, dependiendo siempre de su capacidad de regeneración.

Las procedentes de los combustibles fósiles (carbón, petróleo, gas natural y uranio) tardan miles de años en generarse, por lo tanto, se agotan. Esto implica que, a pesar de haber sido las fuentes mas empleadas históricamente, su uso se vaya haciendo cada vez mas complejo y costoso.

Chile posee escasas reservas de petróleo y lo mismo sucede con el gas natural, siendo estas dos fuentes energéticas primarias las más utilizadas, ya sea en hogares, empresas o instituciones. Por ello, hasta el momento dependemos de nuestros proveedores más inmediatos. En Chile, entre los años 2009 y 2020, se registró una tendencia de incremento en la evolución de la demanda de energía eléctrica cada año. En 2020, la demanda de energía casi alcanzó los 71,3 teravatios por hora, lo que representó un incremento de casi 35% respecto al año 2009. (Statista, 2022). Se prevé que para el año 2038, el consumo de energía eléctrica crecerá un 83%. (Generadoras de Chile, 2019).

Los edificios son responsables aproximadamente de un 40% del consumo de energía y estos a su vez se clasifican según uso, un 70% correspondería al residencial, un 25% al comercial, y un 5% al sector público. (Ministerio de Energía, 2020). En donde un 70% de los consumos de energía en edificios corresponde a usos térmicos, mientras que un 30% correspondería a usos eléctricos (iluminación, equipos eléctricos y climatización). (Ministerio de Energía, 2020). Como sabemos, el cambio climático traerá consecuencias en las variaciones de temperaturas, por lo que estaremos mas propensos a olas de calor, esto quiere decir que, si en un año normal el aire acondicionado gasta 52,6 kWh, en período de olas de calor este consumo sube a 97,7 kWh. (Campo, 2020). Si se continúan presentando olas de calor durante el verano, con temperaturas que sobrepasan los 37°C, el consumo energético de refrigeración aumentará en un promedio de 85% respecto al consumo en un año típico, lo que provoca un aumento en el costo de la energía superior a los 20 mil pesos en los hogares durante los meses más calurosos. (Campo, 2020).

El problema de una demanda energética eléctrica conlleva entre otras consecuencias, un aumento en el costo al final de la factura, como también cortes en el suministro eléctrico, esto debido a que, cuando hay mucha demanda, se recalientan las líneas que tienen protecciones que saltan cuando se supera cierta temperatura e interrumpe el circuito para evitar que se incendie. Es por eso que, mediante los antecedentes reunidos se espera por medio de la utilización de energía geotérmica, mas específicamente pozos canadienses, ante la creciente demanda eléctrica, proponerlos como alternativa a la disminución del consumo energético eléctrico de climatizadores.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general:

Evaluar el desempeño del consumo energético mediante la simulación de pozos canadienses en edificio Consistorial ubicado en la comuna de Quilpué.

1.3.2 Objetivos específicos:

1. Diagnosticar el consumo energético del edificio en estudio.
2. Diseñar la solución del pozo canadiense para el edificio en estudio.
3. Modelar el comportamiento energético de la implementación del pozo canadiense en el edificio en estudio.
4. Crear especificaciones técnicas para la construcción del pozo canadiense en el edificio en estudio.
5. Presupuestar las obras asociadas a la ejecución del pozo canadiense.

1.4 Alcances

1. El edificio a estudiar será el edificio Consistorial de la comuna de Quilpué.
2. Los datos arquitectónicos, como de consumo energético eléctrico serán proporcionados por propietarios.
3. Se modelará el edificio en estudio mediante software, el cual generarán datos de demanda y consumo eléctrico.
4. Se modelará el edificio dentro de un periodo de un año.

CAPÍTULO II: Estudio del estado del arte

Las energías renovables son aquellas que se obtienen a partir de fuentes naturales que producen energía de forma inagotable e indefinida. Por ejemplo, la energía solar, la energía eólica, la energía mareomotriz o la energía geotérmica son fuentes de renovables de energía.

Una de las principales ventajas de las energías renovables es que, además de ser inagotables, presentan un nulo o bajo impacto negativo sobre el medio ambiente, por lo que son consideradas energías limpias. Existen muchas fuentes de energías renovables, pero nos centraremos en una de las mas sencillas de ser explotada, una rama de la geotermia. La energía geotérmica es una energía renovable que se obtiene mediante el aprovechamiento del calor del interior de la tierra, que se transmite a través de los cuerpos de roca caliente o conducción y convección, donde se suscitan procesos de interacción de agua subterránea y rocas, dando origen a los sistemas geotérmicos. La energía geotérmica se utiliza desde hace miles de años en algunos países para cocinar y calentar. Se trata simplemente de energía derivada del calor interno de la tierra. Es la gran desconocida entre el grupo de las energías renovables, por lo que muchas veces es ignorada, aunque ya existía y se conocía desde la antigüedad (Ocón, 2023)

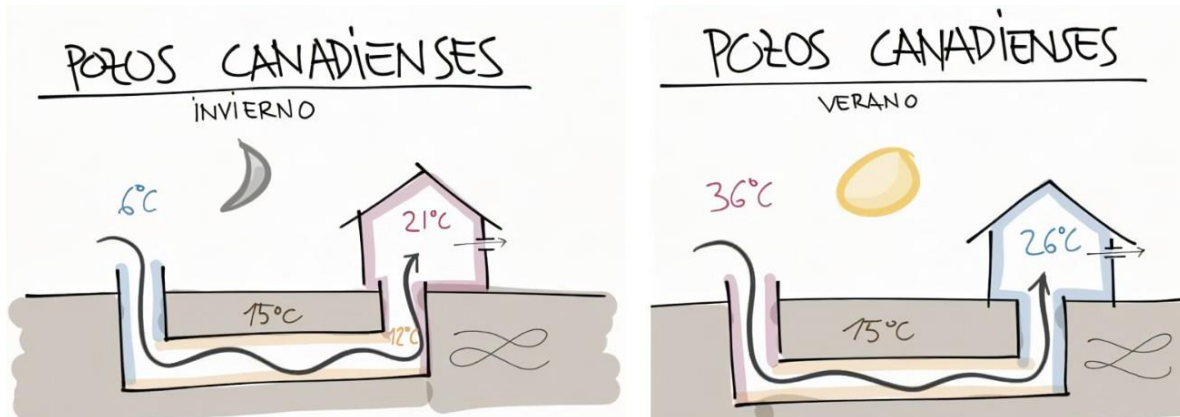
Un sistema de bomba de calor geotérmica puede aprovechar la temperatura constante de los 2 metros inferiores de la superficie de la tierra para calentar una casa en invierno.

Un método que se quisiera explotar en el área de la construcción es el de los tubos enterrados o “pozos canadienses”. Son tubos que se entierran en el subsuelo siendo intercambiadores de calor tierra-aire, que se utilizan con el objetivo de enfriar o calentar una corriente de aire que circula a través de éstos, contribuyendo a reducir la temperatura del aire que ingresa en los edificios durante el verano y aumentándola durante el invierno.

Todo esto es posible por el aprovechamiento de su inercia térmica como su termodinámica de intercambio de calor.

2.1 Configuración del sistema

Figura 2.1 Esquema básico del funcionamiento de tubos enterrados



Fuente: (scribd, s.f.)

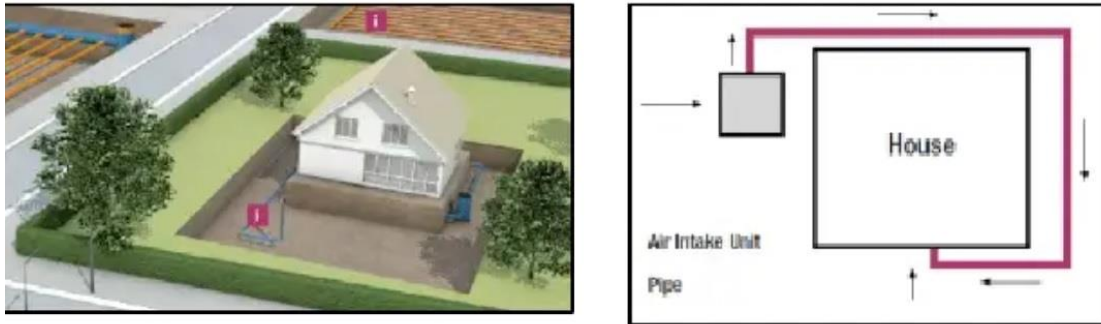
La configuración del sistema de tubos enterrados a implementar dentro de una construcción depende de los requerimientos del proyecto, es decir el uso del mismo, la superficie a aclimatar, el espacio disponible en donde se vaya a colocar el sistema, la cuantía de calefacción y refrigeración que se exija, y el caudal del aire demandado del espacio a climatizar (Cabezas, 2012). Existen varias empresas que se dedican al cálculo, implementación y mantenimiento de dichos sistemas.

La empresa REHAU, ha definido tres tipos diferentes de configuración de sistemas de tubos enterrados; tipo bloque Techelmann (bloque-rejilla), distribución Techelmann (rejilla) y directos aislados (anillos). Estos tipos de distribución verían entre sí por el número y la distribución de los tubos horizontales. (Rehau, Rehau, 2015)

2.1.1 Distribución directos aislados

Se aplica mayormente en viviendas familiares o construcciones pequeñas.

Figura 2.1.1 Distribución directos aislados (anillos)



Fuente: (Rehau, 2012)

Caso estudio con esta distribución:

Casa BASF, Universidad de Nottingham, Inglaterra.

La casa BASF, que abrió sus puertas en enero de 2008, es parte del proyecto Creative Energy Homes de la Universidad de Nottingham, en donde todos los diseños y sistemas fueron pensados en la sostenibilidad. (BASF, 2022)

Toda la construcción cuenta con sistemas de ventilación cruzada y tubos enterrados (University of Nottingham, 2008) (Cabezas, 2012)

Figura 2.1.1.1 Casa BASF

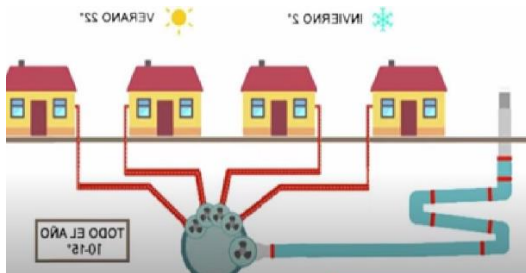


Fuente: (BASF, 2022)

Otro caso estudio con esta misma distribución

FOVISEE, es una fundación Argentina sin fines de lucro. En el año 2016 implementaron el sistema de climatización por geotermia en viviendas populares en la ciudad de Moreno y en 2017 en la ciudad de Bariloche. (Fovisee, s.f.)

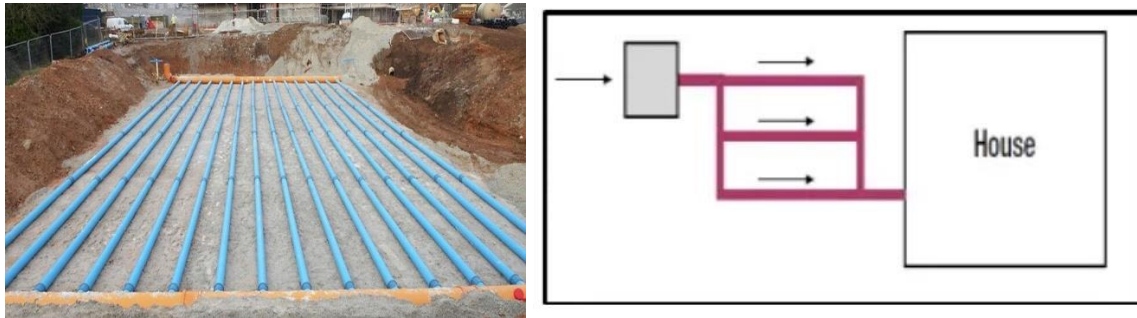
Figura 2.1.1.2 Viviendas populares ciudad de Moreno, 2016



Fuente: (Fovisee, s.f.)

2.1.2 Distribución Techelmann, se utiliza cuando la distribución tipo aislada no se puede realizar debido a que la longitud total de los tubos es muy grande porque existe un mayor volumen de flujo requerido, renovaciones y confort térmico. (Rehau, 2012)

Figura 2.1.2 Distribución Techelmann (rejillas)

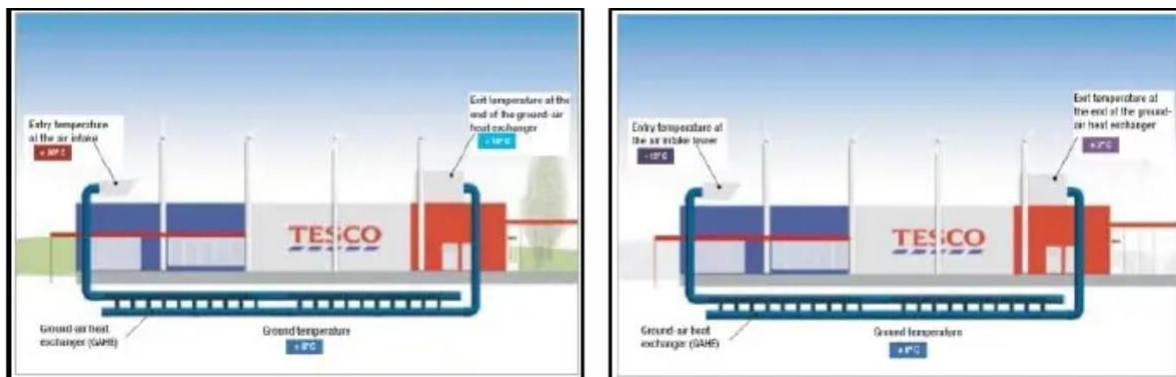


Fuente: (Rehau, 2012) (Cabezas, 2012).

Caso estudio con esta distribución:

Supermercado TESCO, Polonia.

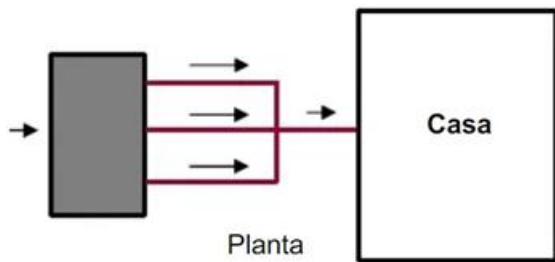
Figura 2.1.2.1 Modelación de supermercado Tesco, Polonia.



Fuente: (Cabezas, 2012)

2.1.3 Distribución Bloque Techelmann, este sistema conjuga los dos anteriormente descritos, pero implementándolos en un espacio limitado; por esto es que se construye la sección como un bloque con varias capas de tubo. (Cabezas, 2012)

Figura 2.1.3 Distribución bloque Techelmann (bloque-rejilla)



Fuente : (Rehau, Rehau, 2015)

Caso estudio con esta distribución:

Edificio de 3 pisos con 38 departamentos para personas mayores, Palma de Mallorca. Todas las unidades y espacios comunes cuentan con ventilación cruzada. Cuando las temperaturas son excesivamente altas, las ventanas permanecen cerradas, y se recurre al sistema de refrigerado mediante tubos enterrados. (Cabezas, 2012). En Chile, muy poco se sabe de este sistema, ya que incluso no hay ninguna normativa que regule este tipo de climatización.

Las energías renovables que se explotan más en este país son la solar, la fotovoltaica, pero en sí la geotérmica, como climatizador, muy poco.

CAPÍTULO III: Marco Teórico

3.1 La energía

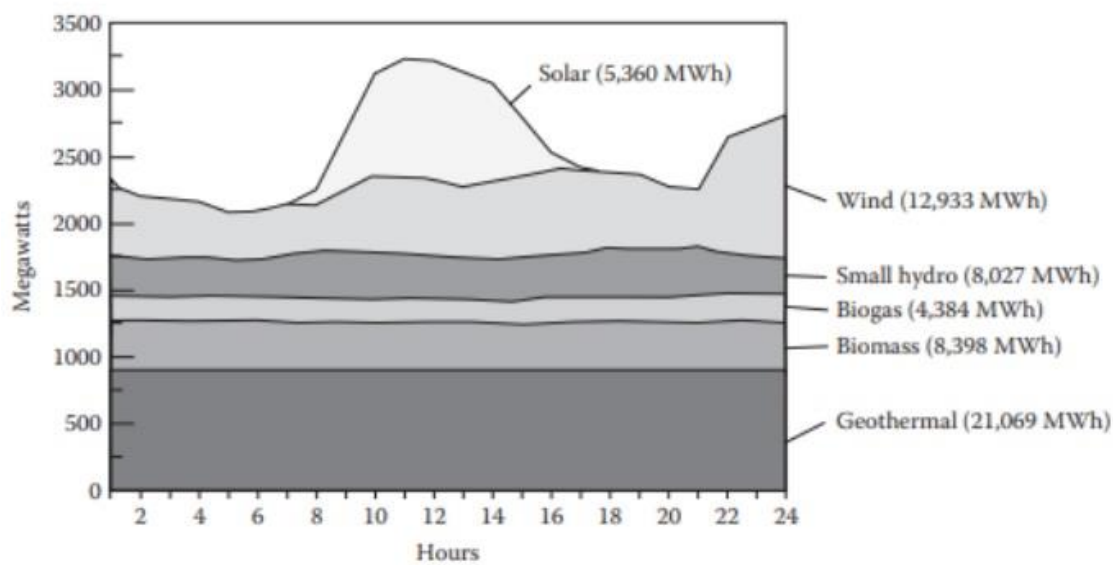
Se entiende por energía como la capacidad que posee un cuerpo para realizar una acción o un trabajo, producir un cambio o una transformación, y es manifestada cuando pasa de un cuerpo a otro. Una materia posee energía como resultados de su movimiento o de su posición en relación con las fuerzas que actúan sobre ella. Suele manifestarse en la naturaleza bajo muchas formas: energía cinética, potencial, eléctrica, química térmica, nuclear, eólica, hidráulica, mecánica, radiante o electromagnética, entre otras. El término proviene del vocablo griego energía, que significa “actividad” y se usa en diversas áreas del conocimiento como son la física y la química. Toda fuerza que realiza un trabajo sobre un objeto provocará un cambio de energía en él. Uno de los fundamentos básicos señala que ésta no puede crearse ni destruirse, tal como lo establece el principio de conservación de la energía, (CONCEPTO, s.f.) sin embargo, puede transformarse de un tipo a otro, así como sucede cuando se utiliza la energía eléctrica (conocida también como la lumínica), como la corriente eléctrica, calor, sonido, luz y movimiento. Diversos recursos naturales o fenómenos de la naturaleza son capaces de suministrar y brindarla en cualquiera de sus formas, por lo que se les considera fuentes naturales de energía o recursos energéticos. Existen dos tipos de fuentes de energía, las fuentes no renovables, que se agotan cuando son empleadas, como el petróleo, gas natural o el carbón y la renovables, cuya característica principal es que no se agotan, como por ejemplo la luz del sol, el viento, las lluvias, la corriente de los ríos, etc.. (CONCEPTO, s.f.) Cuando hablamos sobre las energías renovables nos referimos a las energías que no se agotan a escala humana y que en sus procesos de transformación y aprovechamiento de energía útil generan un impacto menor en el medio ambiente.

La energía renovable actualmente se clasifica en dos tipos: convencionales y no convencionales. Las fuentes no convencionales de energía renovable ERNC.

Las ERNC son aquellos recursos de energía renovable disponibles a nivel mundial que son ambientalmente sostenibles, pero que en el país no son empleados o son utilizados de manera

marginal y no se comercializan ampliamente. Se consideran ERNC la biomasa, los pequeños aprovechamientos hidroeléctricos, la eólica, la geotérmica, la solar y los mares. (Zapata, 2014)

Figura 3.1 Energía renovable



Fuente: (Energy Renewable Energy and the environment (p.11), 2010)

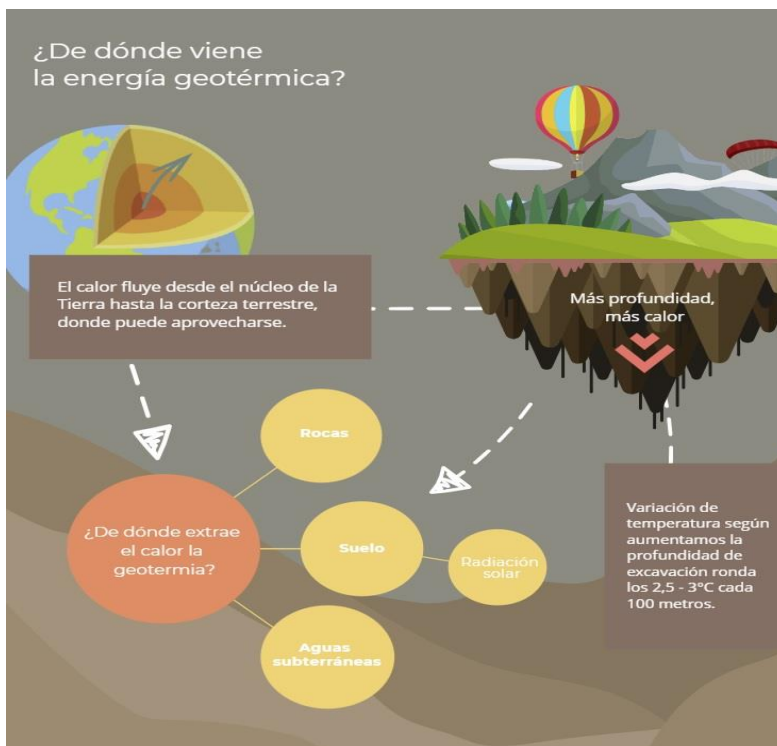
(Llopis, 2018) explica que “contrariamente a la energía solar o a la eólica, la energía geotérmica no depende del clima, de la radiación solar ni del viento. Está disponible 24 horas al día, 365 días al año.” (p. 40). Esta comparación incluye a las demás ERNC como se ve en la figura, donde por su sostenibilidad en el tiempo y su potencial supera la producción energética de las otras fuentes.

En Chile, se reconoce como energía renovable no convencional a la energía mini Hidroeléctrica (menor a 20 MW), energía solar, eólica, marina, bioenergía, biogás y geotérmica. (Tranformadores, s.f.)

3.2 Energía Geotérmica

Geotermia es una palabra de origen griego, deriva de “*geos*” que quiere decir tierra, y de “*thermos*” que significa calor: *El calor de la tierra*. Se emplea indistintamente para designar tanto a la ciencia que estudia fenómenos térmicos internos del planeta como al conjunto de procesos industriales que intentan explotar ese calor para producir energía eléctrica y/o calor útil al ser humano. (Guillermo Llopis Trillo, 2008). Se clasifica dentro de las energías renovables, procediendo del calor generado en el interior de la Tierra. Es energía almacenada en forma de calor en rocas, suelos y aguas subterráneas. Es importante destacar que en la zona interior del planeta tierra, se localiza el núcleo de esta, tratándose de una masa incandescente que irradia calor desde el interior hacia el exterior, siendo esa la razón por la cual según profundicemos en la tierra.

Figura 3.2 Energía geotérmica

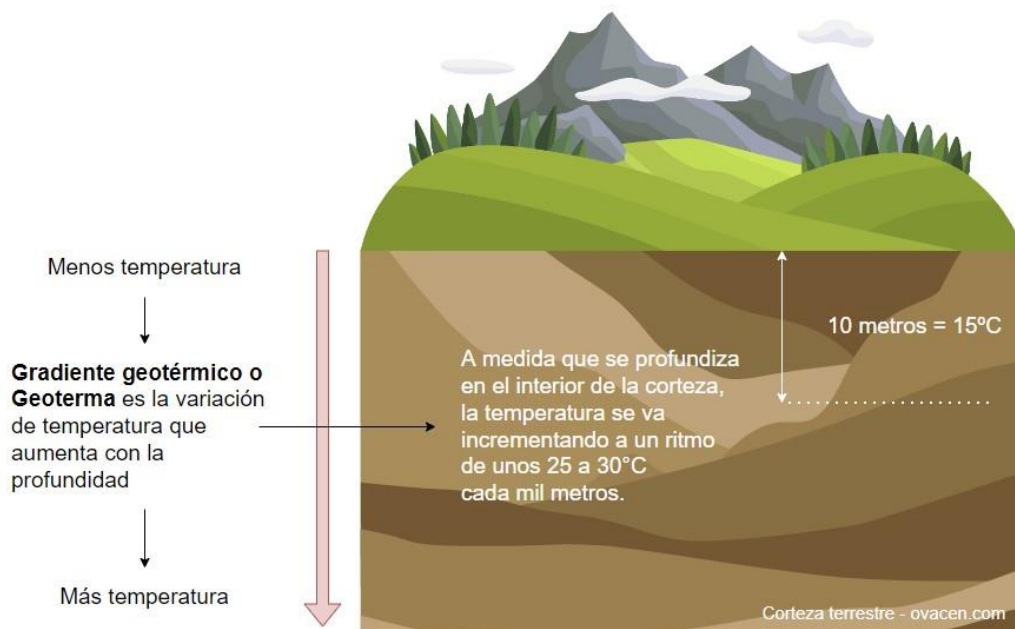


Fuente: (OVACEN, s.f.)

La temperatura interior del terreno a cierto nivel de profundidad, durante todo el año es constante, por lo que si en invierno nos encontramos a 10 °C o en verano estamos en 30 °C, en el interior del subsuelo, a cierta profundidad, nos encontraremos con temperaturas constantes entre 15-20 °C.

La temperatura irá incrementando en una progresión de 2,5 a 3 °C de temperatura por cada 100 metros que se va profundizando. Se estima que el flujo de calor del interior de la tierra es cercano a los 42 millones de megavatios de energía, los cuales continuarán fluyendo por algunos miles de millones de años más, razón por la cual se considera una fuente ilimitada de energía. (Marzolf, 2014). El gradiente geotérmico (Variación de temperatura según aumentamos profundidad de excavación) determina que a medida que profundizamos en el suelo, más calor encontraremos y, por lo tanto, más energía podemos extraer.

Figura 3.2.1 Gradiente geotérmico



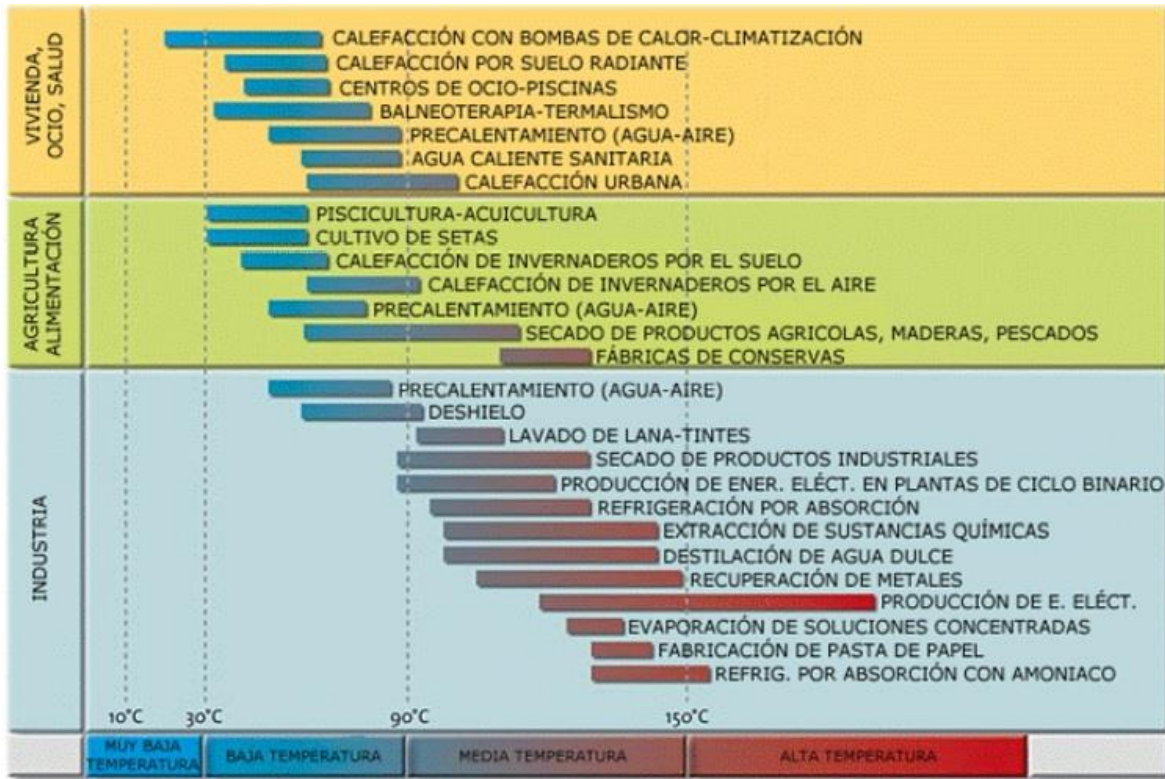
Fuente: (OVACEN, s.f.)

Se caracteriza la energía geotérmica por ser:

Una fuente de energía renovable e infinita porque el calor acumulado en el subsuelo se renueva constantemente. Una energía que aprovecha la fuente energética almacenada en el subsuelo para generar electricidad, calor, refrigeración y ACS (Agua caliente). Una fuente de energía sostenible, autóctona, sostenible, segura, poco invasora con respecto a un impacto ambiental en el suelo. Una de las mayores ventajas de la geotermia es que genera energía de forma constante y continua, sea de día o de noche y aunque la climatología cambie.

Se puede utilizar tanto para alimentar a pequeñas casas como para grandes edificaciones, para la red eléctrica o sector industrial. Aunque se puede realizar diferentes clasificaciones, lo más común es determinar los tipos de geotermia según el nivel de temperatura que se alcanza en su yacimiento geotérmico, los cuales dependen de características como el gradiente térmico y la entalpía. El primero tiene que ver con la variación de la temperatura de acuerdo a la profundidad; el segundo está ligado a la capacidad del suelo de intercambiar energía térmica como explica Llopis (2008, p. 31). Por ello, puede clasificarse en yacimientos de muy baja entalpía, baja entalpía, media entalpía y alta entalpía.

Figura 3.2.2 Clasificación Entalpía

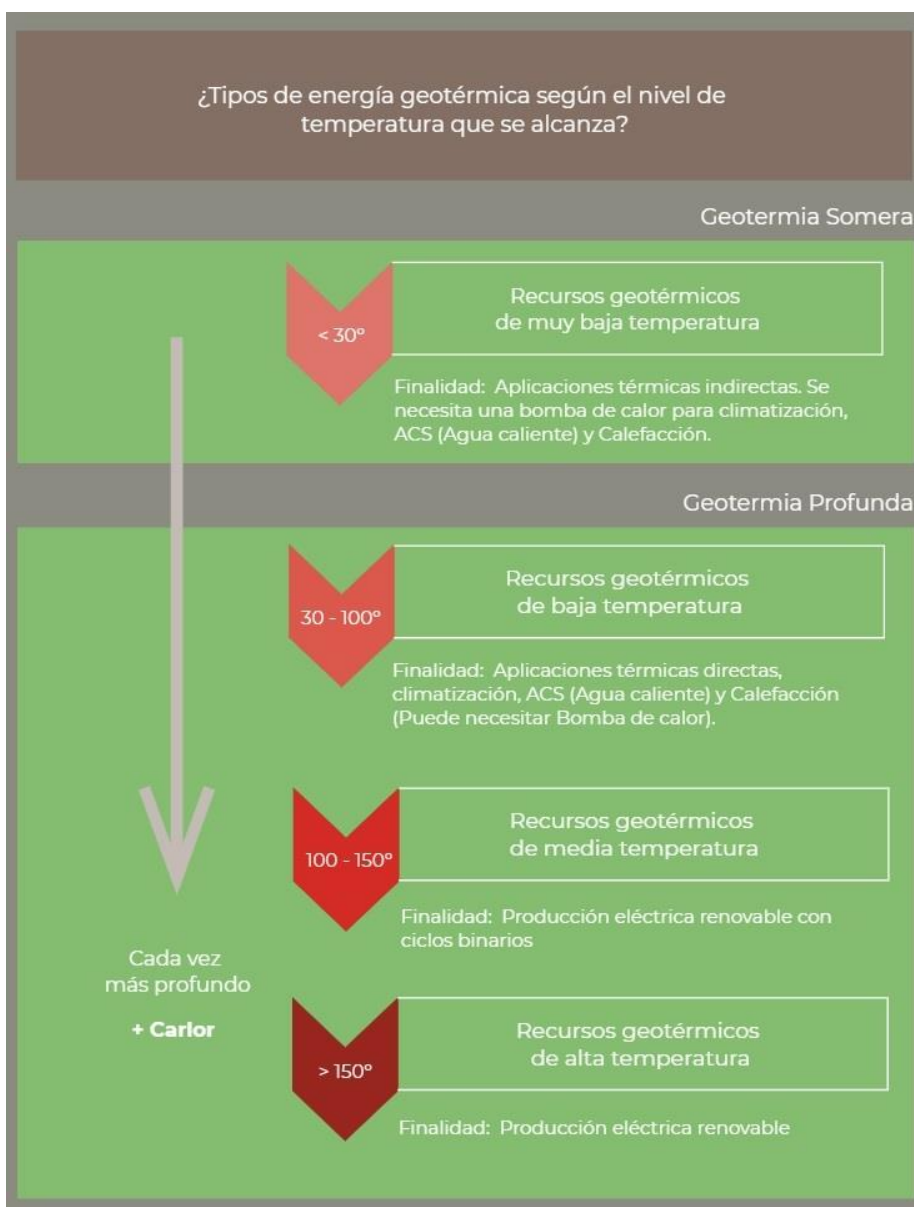


Fuente: (Guillermo Llopis Trillo, 2008)

Se establecen cuatro categorías siguientes para la energía geotérmica:

- Alta temperatura: más de 150 °c, permite transformar directamente el vapor de agua en energía eléctrica
- Media temperatura: entre 90 y 150 °c, permite producir energía eléctrica utilizando un fluido de intercambio, que es el que alimenta a las centrales
- Baja temperatura: entre 30 y 90 °c, su contenido en calor es insuficiente para producir energía eléctrica, pero es adecuado para calefacción de edificios y en determinados procesos industriales y agrícolas
- Muy baja temperatura: menos de 30 °c, que puede ser utilizada para calefacción y climatización, necesitando emplear bombas de calor (OVACEN, s.f.).

Figura 3.2.3 Tipos de energía geotérmica



Fuente: (OVACEN, s.f.)

Dependiendo del yacimiento geotérmico y las necesidades; usos domésticos, para edificios, uso industrial, urbano, producir electricidad, etc., la geotermia varía, al igual que el tipo de instalaciones que se necesitan.

Se suele dividir en dos grandes grupos: geotermia profunda (Producir electricidad y usos térmicos directos) y, por otra parte, la superficial o somera (Aplicaciones térmicas indirectas). En ambos casos, van en concordancia con la temperatura que se puede alcanzar.

Figura 3.2.4 Geotermia profunda y somera

Según profundidad	Temperatura del fluido	Aplicaciones	Uso general
Geotermia profunda (Uso a gran escala)	Alta Temperatura > 150°	Producción de electricidad (Central geotérmica)	Producir energía renovable
	Media temperatura 100 - 150°	Producción de electricidad con ciclos binarios (Central geotérmica)	Producir energía renovable
	Baja temperatura 30 - 100°	Aplicaciones térmicas directas (Puede necesitar bomba de calor)	Calefacción y refrigeración urbana geotérmica: edificios residenciales, invernaderos, piscinas, industrias, balnearios y muchos otros.
Geotermia somera o superficial (Uso doméstico)	Muy baja temperatura < 30°	Aplicaciones térmicas indirectas (Bomba de calor geotérmica)	Climatización, ACS y Calefacción por medio de bomba de calor geotérmica.

Fuente: (OVACEN, s.f.)

En los yacimientos de muy baja entalpía, también conocida como la geotermia somera, la temperatura del subsuelo suele estar por debajo o por encima de la temperatura ambiental dependiendo si es clima frío o caliente. El gradiente térmico suele ser normal, es decir, que puede ir de a 20 a 30 °C lo que hace este yacimiento especial para climatización de viviendas, bombas de calor, balnearios y aguas termales superficiales. La superficie del suelo intercambia calor con la atmósfera y sufre las variaciones diarias de temperatura hasta una profundidad de 0,5 m. A pocos metros de profundidad, la temperatura permanece relativamente estable, entre 7 y 13 °C, si se la compara con la temperatura ambiente en superficie. (Llopis, 2008, p. 47) Prácticamente la totalidad de la corteza terrestre del planeta constituye un extenso yacimiento de recursos geotérmicos de muy baja temperatura, menos de 30°C, que se ve interrumpido por la presencia de masas de agua continentales o marinas.

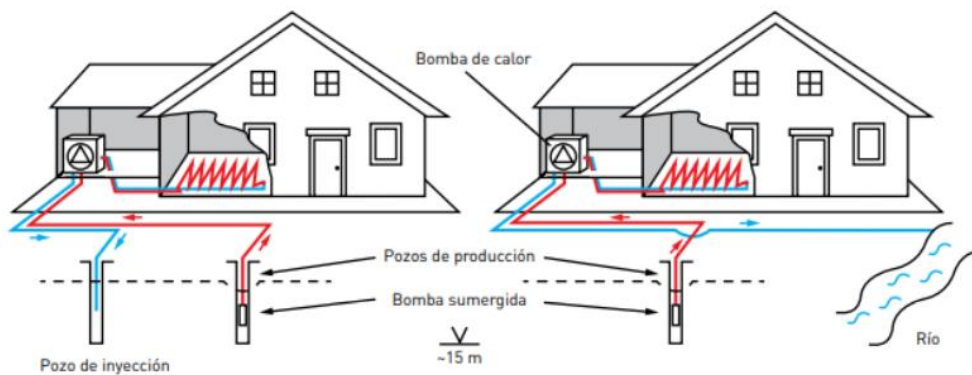
En cualquier punto de la superficie del planeta se puede captar y aprovechar el calor almacenado en las capas superficiales del subsuelo, a pocos metros de profundidad, o en acuíferos poco profundos, para climatización de casas individuales y edificios por intermedio de bombas de calor geotérmicas. (Guillermo Llopis Trillo, 2008)

3.2.1 Tipos de sistemas de geotermia somera

3.2.1.1 Sistemas abiertos

“Basados en el uso de aguas subterráneas, que suponen la captación de agua de un acuífero para su aprovechamiento. En este caso, el agua subterránea es el medio de transporte del calor.” (Sánchez, 2011). El ejemplo más claro son las bombas de calor geotérmica, las cuales pueden transferir calor desde una fuente superficial del suelo con el uso de fluidos (aire o agua) y se aprovecha para refrigerar o calentar, según sea el caso, el aire al interior de la vivienda. El sistema consiste en una instalación de bomba sumergida que transporta el agua subterránea hasta la bomba de calor (Ver figura 3.3) y al extraer su energía en forma de calor el reinyectada al suelo o se vierte a un cauce superficial.

Figura 3.3 Sistemas abiertos

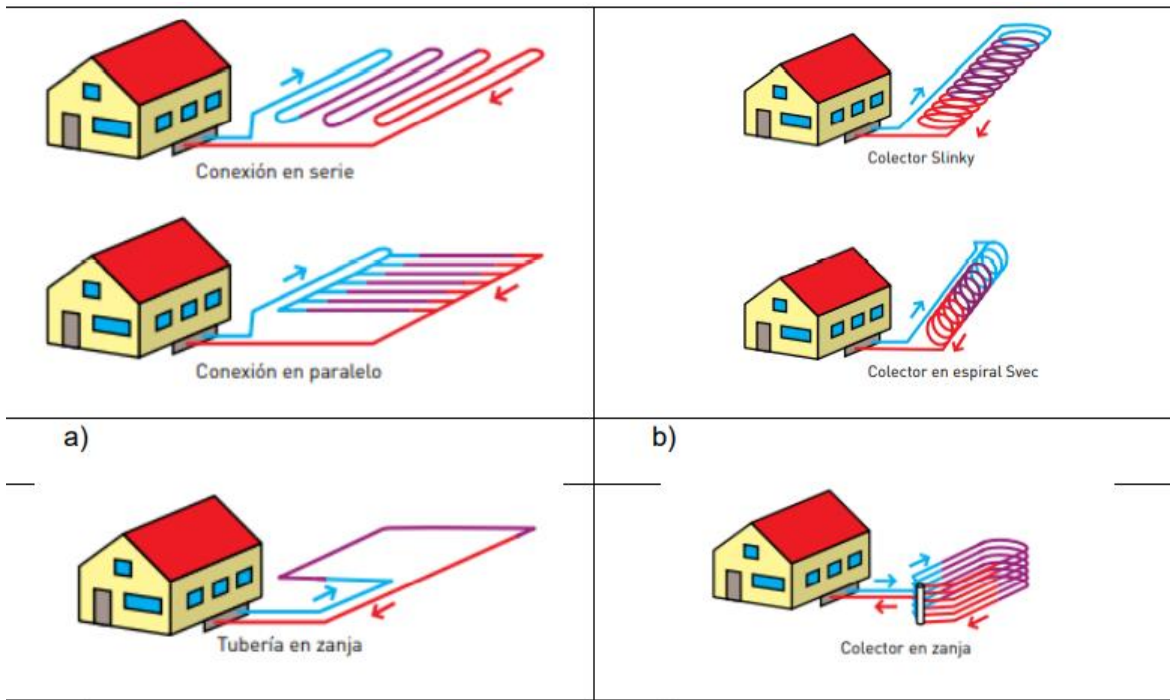


Fuente: Guía de la Energía Geotérmica (p.66), por Guillermo Llopis & Vicente Rodrigo, 2008, Dirección General de Industria, Energía y Minas.

3.2.1.2 Sistemas cerrados

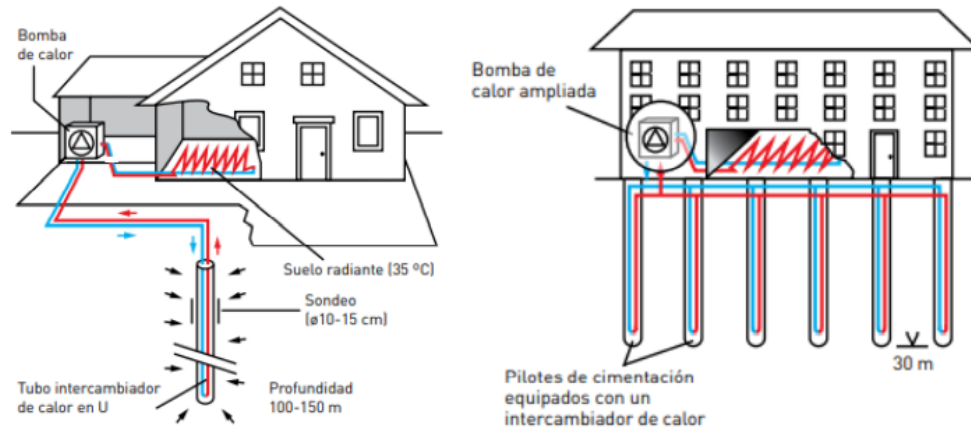
Pueden ser verticales u horizontales. Su función está dirigida a aprovechar la inercia térmica de los niveles más externos de la corteza terrestre entre los 2 a 10m. Aquí ya se aplican los tubos enterrados y el uso de algún fluido termoportador como puede ser un anticongelante, es decir, ya no se usan aguas subterráneas para llevar el calor del subsuelo a la bomba de calor. (Sánchez, 2011) En cuanto a flexibilidad, los sistemas horizontales (Figura 3.3.1) son más fáciles de instalar y no requieren de mucho movimiento de tierras o perforaciones profundas como los son los sistemas verticales (Figura 3.3.2). (Sánchez, 2011).

Figura 3.3.1 Sistemas cerrados horizontales



Fuente: Evaluación del potencial de energía geotérmica (p.56), por Sánchez, Sanz, & Ocaña, 2011, TECNOLOGÍA Y RECURSOS DE LA TIERRA, S.A.

Figura 3.3.2 Sistemas cerrados verticales



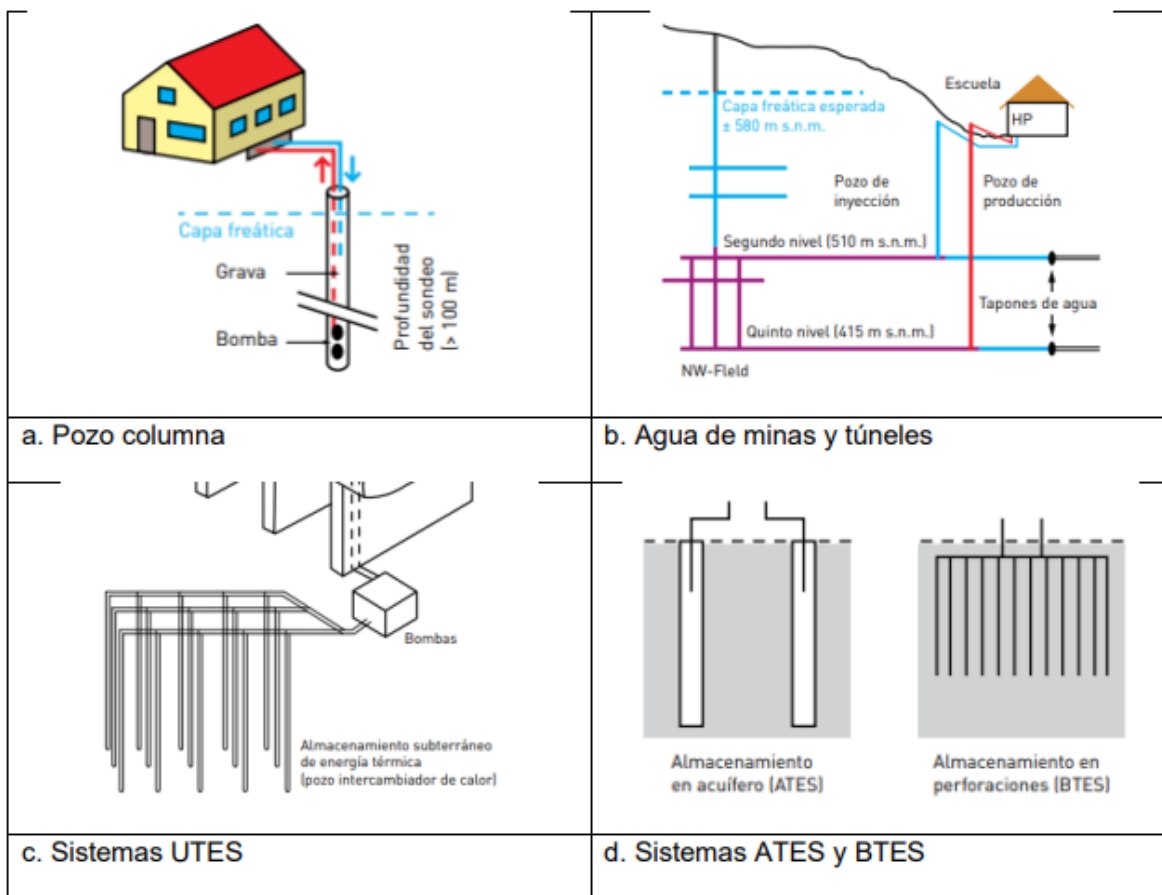
Fuente: Guía de la Energía Geotérmica (p.68), por Guillermo Llopis & Vicente Rodrigo, 2008, Dirección General de Industria, Energía y Minas.

3.2.1.3 Sistemas que no pueden incluirse

Aquellos que no pueden clasificarse puesto que aprovechan otras fuentes de calor como lo son las aguas de minas u obras subterráneas como túneles. Se encuentran los pozos tipo columna que consisten en pozos profundos para el bombeo de agua para la obtención de calor y se reinyecta en la grava exterior del pozo, otro es la utilización de agua de minas y túneles las cuales tienen un potencial geotérmico importante ya que esta agua suele mantener constante su temperatura sin alteraciones por el ambiente o tiempo. (Sánchez, 2011)

Otro sistema es el intercambiador aire-tierra (pozo canadiense o provenzal), que es uno de los sistemas de más bajo costo y con muchos beneficios en cuando a climatización y ventilación de espacios además de su bajo consumo energético. Por último, los sistemas UTES (Underground Thermal Energy Storage) que como su traducción lo explica, consiste en sistemas de almacenamiento de energía térmica en bombas de calor enterradas también se subdivide en sistemas abiertos y cerrados, a su vez dependiendo de la fuente si es un acuífero o el subsuelo. (Sánchez, 2011)

Figura 3.3.3 Sistemas no incluidos



Fuente: Adaptado de Evaluación del potencial de energía geotérmica (p.56), por Sánchez, Sanz, & Ocaña, 2011, TECNOLOGÍA Y RECURSOS DE LA TIERRA, S.A.

3.3 Energía geotérmica en Chile

Chile está emplazado en la Cordillera de los Andes, la mayor cadena volcánica de la Tierra, con presencia de cientos de volcanes y numerosas manifestaciones termales. De hecho, se estima que un 20% de los volcanes continentales activos están ubicados en el territorio chileno. El calor natural de la Tierra es una fuente de energía inagotable que puede ser captada y usada con una mínima emisión de gases con efecto invernadero.

La energía geotérmica normalmente se obtiene en áreas con alto gradiente geotérmico debido a la presencia de magma cerca de la superficie. Por esta razón, el gradiente geotérmico en nuestro

territorio (es decir, el aumento de la temperatura a medida que profundizamos al interior de la Tierra) es alto y, en muchos sectores, anormalmente elevado, lo que favorecería encontrar reservorios de aguas geotermales a relativa poca profundidad y hacerlos, por lo tanto, económicamente rentables. (Donoso, 2012).

Curiosamente Chile fue un país pionero en desarrollar estudios sobre el potencial geotérmico, y ya en los años 60 y 70 académicos del Departamento de Geología de la Universidad de Chile apuntaban al alto potencial presente en el país. Sin embargo, a pesar de esos promisorios estudios preliminares, hasta la fecha la alta anomalía geotermal existente en Chile se utiliza, casi exclusivamente, para fines recreacionales. No obstante, esta situación está próxima a cambiar, ya que en la actualidad varias empresas privadas están realizando intensas campañas de exploración geológica-geotérmica en diferentes partes del país con miras a comenzar en un futuro inmediato el proceso de explotación. El potencial geotérmico de Chile es muy alto. Las cifras sobre potencial geotérmico que se manejan hoy en Chile van desde los 3.350 MW (Enap) hasta los 16.000 MW (Lahsen, 1988), lo que podría representar un 91% de la capacidad instalada actual de la matriz energética del país. Sin embargo, la geotermia es la energía renovable no convencional (ERNC) menos conocida, la más ignorada y la con mayor potencial dentro de todas las ERNC posibles de desarrollar en el país. Chile podría disponer de una importante fuente renovable de energía y amigable con el medio ambiente.

Las primeras exploraciones geotérmicas en Chile datan de 1921-1922, de manos de una colonia italiana en la nortina ciudad de Antofagasta, donde un equipo técnico de Larderello perforó dos pozos de entre 70 y 80 metros de profundidad. Luego entre 1968 y 1976 se realizaron una serie de estudios geológicos, geofísicos y geoquímicos en áreas seleccionadas de la zona norte del país apoyados por un proyecto suscrito entre la Corporación de Fomento a la Producción (Corfo) y las Naciones Unidas, que culminó en la perforación de pozos exploratorios en la zona de El Tatio (Al., 2005). Desde esa época en adelante, la Universidad de Chile y el Servicio Nacional de Geología y Minería realizaron diversos estudios, de los cuales se desprende gran parte del conocimiento actual que se tiene sobre el potencial geotérmico del país.

Los programas en pos del desarrollo geotérmico en Chile fueron paralizados hacia 1979 a nivel estatal, y hasta 1995 la Universidad de Chile fue la principal institución que se dedicó a la investigación en esta área (al, 2010)

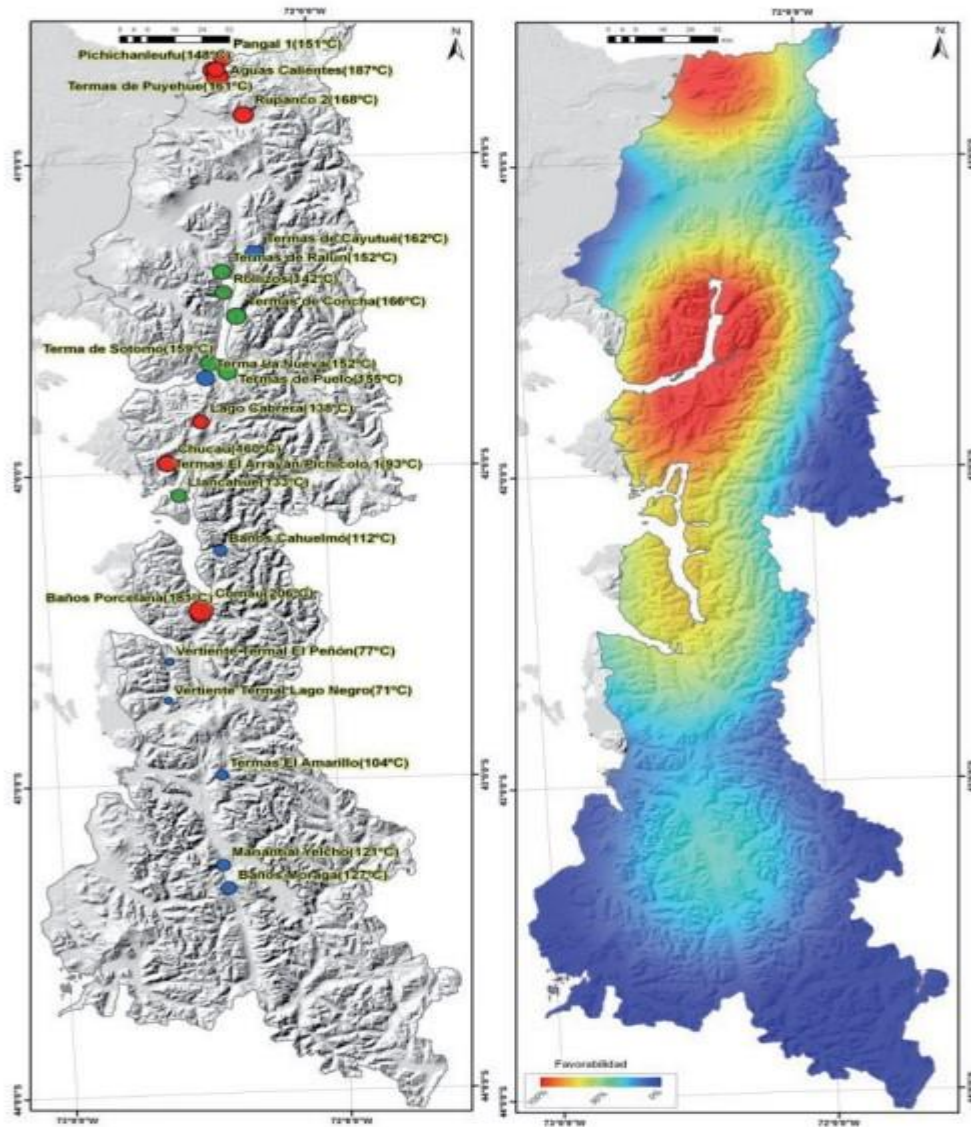
En el año 2000 se creó la ley geotérmica, que promueve la exploración y explotación de recursos geotérmicos por parte de la empresa privada, y establece la existencia de concesiones de exploración y explotación que se conceden mediante el Ministerio de Energía. La ley trata sobre concesiones geotérmicas, licitaciones, seguridad, relaciones de propiedad el rol del Estado en relación con la energía geotérmica. Se establece que cualquier persona chilena o jurídica establecida de acuerdo con las leyes chilenas podrá solicitar o participar en una licitación para una concesión geotérmica.

Según la ley, la propiedad superficial y los derechos de explotación son distintos. Los derechos de concesión se dividen en exploración y explotación, y se establece la geometría general de las concesiones. La ley no se ocupa del uso de agua geotérmica para fines turísticos o de salud. La ley N° 19.657 fue publicada en el Diario Oficial el 7 de enero de 2000.

A 2020, Cerro Pabellón es la única planta de energía geotérmica del país, la primera en Sudamérica, y la planta de mayor altitud de su tipo en el mundo, a 4.500 metros sobre el nivel del mar. La instalación, inaugurada en septiembre de 2017, está ubicada en el desierto de Atacama, en la comuna de Ollagüe de la región de Antofagasta. Está compuesto por dos unidades con una capacidad instalada bruta de 24 MW cada una, para una capacidad total de 48 MW; se construirá una tercera unidad de 33 MW. Podrá producir alrededor de 340 GWh por año una vez que esté en pleno funcionamiento. Cerro Pabellón es propiedad de Geotérmica del Norte, una empresa de riesgo compartido entre Enel Green Power Chile —la unidad local de la empresa italiana Enel— y la empresa estatal chilena de petróleo y gas Enap. Chile al año 2018 tiene una capacidad geotérmica instalada para producción eléctrica de 48 MW, lo que representa solo un 0.2% de la capacidad total instalada para la producción eléctrica. Mientras el uso directo de la energía geotérmica alcanza los 63,79 GWh.(Global Geothermal Alliance (GGA).

Un trabajo conjunto del Ministerio de Energía de Chile, junto al SERNAGEOMIN y el apoyo de la Universidad de Auckland, publicaron el Mapa de Evaluación de Recursos Geotérmicos para la Implementación.

Figura 3.4 Mapa de Evaluación Recursos Geotérmicos para la Implementación Chile



Fuente: (Piensa Geotermia, 2022)

3.3.1 Geotermia somera en Chile

Diferentes estudios e investigaciones relacionados con la energía geotérmica en Chile constatan la existencia de varios factores responsables del lento desarrollo de esta industria en el país. Estos estudios identifican barreras legislativas, económicas, institucionales, sociales, de capacitación profesional y arquitectónicas. (Medina, 2020) Las barreras legislativas radican principalmente en la Ley N°19.657 sobre Concesiones de Energía Geotérmica. Estas han sido analizadas por el CEGA en 2018, donde el abogado especialista en legislación ambiental Miguel Saldivia realizó un análisis comparativo de la legislación sobre energía geotérmica en 15 países (Argentina, Bolivia, Colombia, Costa Rica, Chile, Ecuador, Filipinas, Indonesia, Islandia, Italia, Kenia, México, Nueva Zelanda, Perú y Turquía) y concluye que Chile posee deficiencias en la legislación a nivel de definición, concesiones, usos, impacto ambiental, aprovechamiento de agua y participación ciudadana (Medina, 2020)

Actualmente la geotermia no se menciona expresamente en la regulación ambiental, por lo tanto, un proyecto solo está obligado de forma indirecta a someterse al SEIA en situaciones puntuales que se establecen en el Artículo 11 de la ley N°19.300 y que corresponden a: la instalación de generadoras de energía mayores a 3W y la ejecución de obras o actividades en parques nacionales, reservas, monumentos, santuarios de la naturaleza, parques marinos, reservas marinas o áreas bajo protección oficial. (Medina, 2020)

Existen abundantes vacíos legales y normativos para la aplicación de tecnologías de geotermia somera en el país.

Sin embargo, en el caso de la explotación de energía geotérmica de muy baja entalpía actualmente se dan una serie de circunstancias que facilitan y fomentan su desarrollo por parte del gobierno de Chile, destacándose el subsidio del plan de descontaminación ambiental (PDA), del Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU). Este subsidio tiene como objetivo cofinanciar el reacondicionamiento térmico de viviendas, que corresponde a la etapa inicial con la finalidad de mejorar la eficiencia energética y fomentar el uso de energías renovables en las

viviendas. Además, se destaca el Fondo de Solidaridad e Inversión Social (FOSIS), específicamente su programa innova FOSIS, a través del cual se puede acceder a financiamiento para el pilotaje de proyectos de innovación, siendo uno de los 3 ejes principales de la convocatoria realizada durante el año 2019 proyectos enfocados en fomentar de manera sostenible el acceso a agua caliente sanitaria y calefacción de las familias vulnerables, categoría en la cual se enmarcan las tecnologías de aprovechamiento directo de recursos geotérmicos de muy baja entalpía. Desde el punto de vista de las barreras institucionales, no existe actualmente por parte del gobierno un plan asociado al desarrollo de la energía geotérmica. Lo anterior se ve reflejado en la política energética de Chile “energía 2050” donde la meta propuesta de alcanzar una generación con al menos un 70% de energías renovables al año 2050 se centran en proyectos eólicos y solares. Esta clara falta de dirección en el rol que desempeña la energía geotérmica en el país constituye una barrera importante para su desarrollo. Por otra parte, en el contexto de las barreras de capacitación profesional, se debe destacar que hay pocos profesionales formados en el ámbito de la geotermia. Las universidades del país no cuentan con programas académicos asociados con energía geotérmica (Solo la universidad de Chile consta con el curso “Principios de la Geotermia” y el electivo “Alteraciones en sistemas geotermiales” dirigido solo a estudiantes de geología) y los centros de investigación como el Centro de Excelencia en Geotermia de los Andes (CEGA) fueron recientemente creados. Esta ausencia de profesionales también tiene un impacto sobre los diferentes proyectos de exploración y explotación asociados a la energía geotérmica, ya que es necesario contratar profesionales extranjeros para su desarrollo (Medina, 2020)

Los límites para el desarrollo de la geotermia en Chile:

- Incertidumbre del recurso por tratarse de áreas nuevas, inexploradas.
- Altos costos de perforación y ausencia de empresas de perforación de pozos de grandes diámetros geotérmicos.
- Marco regulatorio imperfecto, pero no limitante el cual debiera adaptarse a la realidad actual del mercado.
- Inexistencia de ayuda por parte del estado para mitigar los riesgos de capital iniciales de exploración.

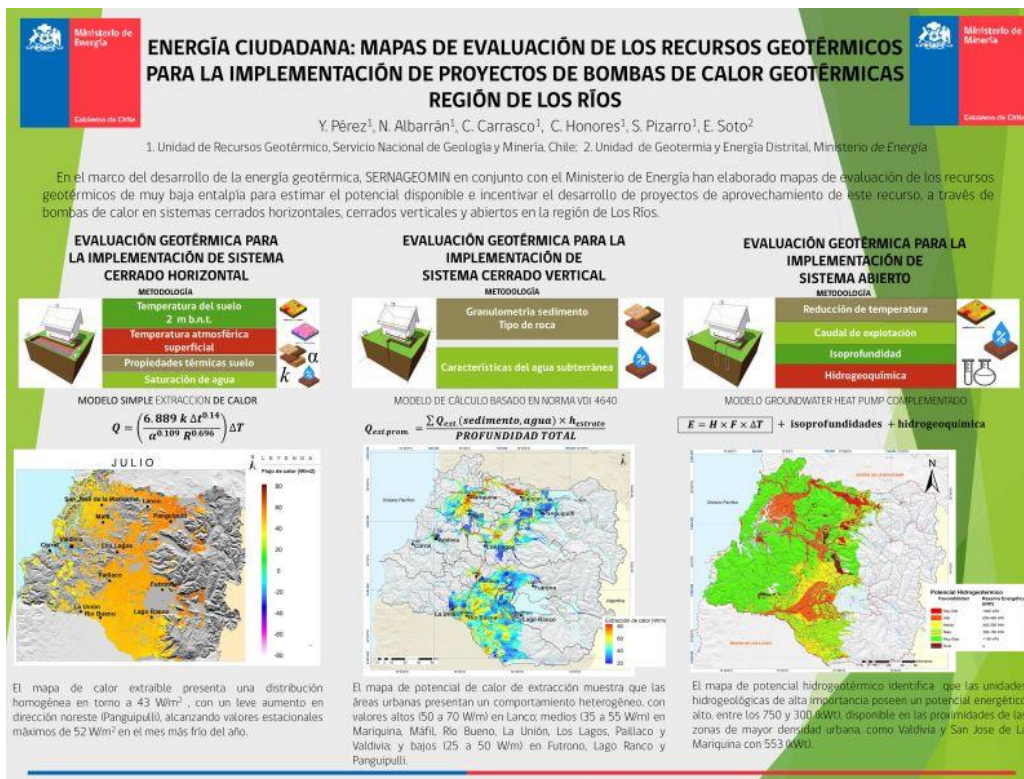
- Acceso a infraestructura de transmisión eléctrica: los proyectos están alejados de los centros de consumo y hay estrechez en los troncales.
- Dificultad para acceder a contratos de energía (PPA) a largo plazo a precios competitivos (al menos 10-12 años), durante la exploración, lo que redunda en dificultades para acceder a financiamiento. (revistaei, 2014)

El Consejo Geotérmico, asociación que reúne a las principales empresas desarrolladoras de geotermia en el país, busca impulsar esta energía limpia y propone incentivos muy concretos: mitigar el riesgo exploratorio, mediante seguros a pozos fallidos; asegurar acceso al mercado mediante licitación de bloques de energía, incrementar cuota de ERNC y acceder a transmisión adicional tratada como troncal; disminuir riesgo de desarrollo y mejorar condiciones económicas para los proyectos con incentivos tributarios a la generación de ERNC, incrementando cuota a generar con ERNC y licitación de bloques de ERNC.

El Centro de Excelencia en Geotermia (CEGA), propuso instalar un sistema de Bomba de Calor Geotérmica (BCG) para climatización, con foco en las necesidades térmicas que sufren los sectores precordilleranos de la región. Para esto contó con cuatro municipios asociadas -San Pedro de Atacama, Ollagüe, Calama y Sierra Gorda-, desde las cuales se obtuvo una lista de espacios preseleccionados. Luego de la aplicación de una matriz de decisión, se escogió el Jardín Infantil Junji Conejitos Blancos, de San Francisco de Chiu Chiu. La investigadora del CEGA y directora de la iniciativa, Linda Daniele, señaló que “este proyecto nos permitirá entregar confort térmico constante a un espacio que actualmente no lo tiene y, además, servirá para dar a conocer en la región los beneficios del uso de la energía de la Tierra para mejorar la calidad de vida, disminuir los índices de pobreza energética y acortar las brechas de acceso al uso de nuevas tecnologías en sectores sometidos a temperaturas extremas”.

En el marco del desarrollo de la energía geotérmicas, SERNAGEOMIN en conjunto con el Ministerio de Energía han elaborado mapas de evaluación de recursos geotérmicos de muy baja entalpía para estimar el potencial disponible e incentivar el desarrollo de proyectos de aprovechamiento de este recurso, a través de bombas de calor en sistemas cerrados horizontales, cerrados verticales y abiertos en la región de Los Ríos. (ver Figura 3.5)

Figura 3.5 Proyectos de bombas de calor geotérmicas



Fuente: “Proyectos de bombas de calor geotérmicas en la región de Los Ríos. SAGCHI 2021” (Piensa Geotermia, 2022)

3.4 Transferencia de calor en la tierra

3.4.1 Leyes de la termodinámica

-Primera ley: También conocida como principio de conservación de energía. Propuesta por Antoine Lavoisier, establece que, si se realiza trabajo sobre un sistema, o bien éste intercambia calor con otro, entonces la energía interna del sistema cambiará. Visto de otra forma, esta ley permite definir el calor como la energía necesaria que debe intercambiar el sistema para compensar las diferencias entre trabajo y energía interna. La aplicación práctica de esta ley es el balance de energía para un sistema. (Cabezas, 2012)

-Segunda ley: Esta ley regula la dirección en la que deben llevarse a cabo los procesos termodinámicos y, por lo tanto, la imposibilidad de que ocurran en el sentido contrario. También

establece, en algunos casos, la imposibilidad de convertir completamente toda la energía de un tipo en otro sin pérdidas. (Cabezas, 2012).

Esta transferencia puede darse por medio de la conducción, convección o por radiación. Convección es el modo en que se transfiere la energía térmica entre una superficie sólida y un fluido adyacente (líquido o gas). Comprende los efectos combinados de la conducción y el movimiento del fluido provocado por las diferencias de densidad del mismo. (Guillermo Llopis Trillo, 2008)

Las partículas más calientes del fluido y, por tanto, menos densas, ascienden, desplazando a las más frías, que se hunden por gravedad, dado que son más densas, y éstas, posteriormente, al calentarse, son empujadas otra vez hacia arriba. El proceso se da de manera natural, la transferencia se debe a las fallas geológicas por donde el fluido puede recargar energía en forma de calor, el otro constituye por medio de un pozo atravesando la capa permeable del reservorio. (Guillermo Llopis Trillo, 2008) La transferencia de calor en los sistemas geotérmicos es controlada por la convección o el movimiento de los fluidos geotérmicos (Marzolf, 2014).

En el subsuelo el calor del magma o rocas calientes transfieren calor al agua subterránea por medio de este proceso, así como lo podría hacer el aire como fluido y el suelo como superficie sólida. (Jarava, 2020)

3.4.2 Inercia térmica

“La inercia térmica es la capacidad que tiene la masa de conservar la energía térmica recibida e ir liberándola progresivamente, disminuyendo de esta forma la necesidad de aportación de climatización” (CONSTRUMÁTICA, 2021). Esta capacidad depende de dos propiedades las cuales son la conductividad térmica y la capacidad calorífica.

3.4.3 Conductividad térmica

La conductividad térmica es una medida de la capacidad de un material para conducir calor. La conductividad térmica tiene unidades de W/mK y debe medirse para cada material de interés, porque depende de lo microscópico (p. Ej., Estructura atómica, fuerza de enlace y composición química) y macroscópico (p. Ej., Porosidad y estado de fase) propiedades de una materia. (Glassley, 2010).

3.4.4 Gradiente geotérmico

Es una cantidad vectorial (con variación en las tres dimensiones espaciales) definida por magnitud y dirección expresada en términos de variación de la temperatura por unidad de distancia. Por convención, un gradiente positivo está en dirección del incremento de temperatura. Unidades SI K/km; sin embargo, la unidad más utilizada es °C/km. (Ingeominas, 2009)

3.5 Intercambiador aire-tierra (pozo canadiense)

Los intercambiadores de calor suelo - aire, como lo son los tubos enterrados, son óptimos ya que permiten utilizar las inercias térmicas diarias y estacionales existentes en el subsuelo, es decir, se aprovecha la característica del suelo de mantener la temperatura interior frente a los cambios exteriores, por la cual se consigue una temperatura constante de 15° C en cualquier parte del mundo, de día o de noche, en invierno o en verano (Hollmuller & Lachal, 2005). Los primeros “intercambiadores” los observamos en la prehistoria con el uso de las cuevas naturales, estos refugios presentan unas condiciones térmicas bastante aceptables, frescas en verano y protegidas del frío en invierno (Aguirre, 2019). Por lo que su aplicación no es reciente, pero si es poco conocida y aplicada. El uso de la geotermia para climatizar es usado en varios países desarrollados como Estados Unidos, países de la Unión Europea, China, etc. En tiempos modernos se aplican los conceptos de inercia térmica para la construcción de pozos con la capacidad de climatizar viviendas gracias a las capacidades térmicas del suelo para almacenar y transferir calor. Aparecen por primera vez en la región de Provenza (Francia) donde por una serie de conductos enterrados, el aire exterior circulaba bajando su temperatura respecto al aire exterior alrededor de toda la vivienda (Llopis & Rodrigo, 2008). Canadá aplicaría el mismo sistema, pero con la finalidad de calentar viviendas. El sistema actual consiste en un pozo conectado por medio de tubos enterrados que, con ayuda de un impulsador de aire, conducen el aire a través del suelo hasta llegar a la vivienda con una diferencia de temperatura considerable. (Jarava, 2020) El sistema consigue un pretratamiento y pre-acondicionamiento del aire lo que permite reducir la carga térmica existente entre el exterior y el interior de la vivienda por lo que, a la vez de climatizar, también funciona como un sistema de ventilación. (Sánchez, 2011)

3.5.1 Componentes del sistema intercambiador aire-tierra

Se distinguen elementos comunes que componen el sistema de tubos enterrados, así como distintas configuraciones en su diseño dependiendo del tipo de edificación a condicionar. (Cabezas, 2012). Los componentes más comunes dentro del sistema son:

Torre de entrada de aire: Conducto vertical de admisión de aire exterior. El aire exterior es aspirado hasta el intercambiador aire-tierra por medio de una torre de aspiración. Por defecto se efectúa una depuración previa del aire aspirado mediante un filtro grueso o fino. La mayor parte de las partículas sólidas y el polen son retenidos, con lo cual se minimiza la contaminación del tubo del intercambiador geotérmico aire-tierra. (Rehau, 2012 en Cabezas, 2012).

Colector: Se encuentra conectado directamente a la torre de entrada. Recoge el flujo de aire y lo distribuye a los ductos transversales. (Rehau, 2012 en Cabezas, 2012).

Conjunto de conductos horizontales enterrados: Es donde circula el aire de entrada de la torre y se realiza el intercambio de calor con el suelo. Estos tubos deben funcionar de acuerdo con los requerimientos técnicos de cada caso para optimizar el intercambio de acuerdo a la región de instalación, por lo que el material puede variar dependiendo la necesidad. El interior debe de estar recubierta por una película antimicrobiana para mantener la calidad del aire mucho mejor al exterior para el ingreso a la vivienda. (Rehau, 2012 en Cabezas, 2012).

Impulsador de aire: Uno de los componentes eléctricos del sistema, es el encargado del ingreso del caudal de aire a la vivienda necesario, después de que este haya realizado el intercambio en los tubos horizontales. Distribución a la vivienda: Se trata de los conductos y rejillas en cada uno de los espacios de la vivienda que conduzcan el aire del sistema. (Cabezas, 2012)

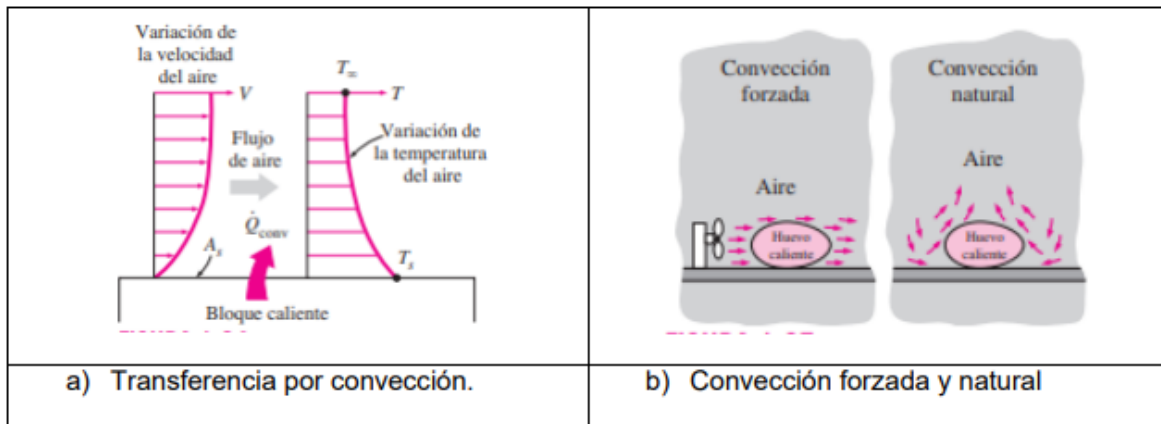
Extractor de aire: Otro de los componentes eléctricos. Su función consiste en la renovación del aire al interior de la vivienda. (Cabezas, 2012)

Evacuador de condensados: En verano se puede formar en el sistema de tubos agua de condensación, a causa del enfriamiento del aire aspirado. Para asegurar la operatividad a largo plazo del intercambiador geotérmico aire-tierra y evitar la formación de olores, es preciso evacuar el condensado de forma definida. (Cabezas, 2012).

3.5.2 Fundamento teórico del intercambiador aire-tierra

Los tubos enterrados se basan en la utilización de la energía térmica del subsuelo para tratar el aire de ventilación de las construcciones antes de que éste ingrese a la construcción, es decir, lo pre-trata. El aire que ingresa presenta un mayor grado de confort térmico porque se obtiene un aire más cálido del habitual en tiempo frío y más fresco en tiempos cálidos. (Cabezas, 2012, p.34) Como previamente se ha explicado, estudios alrededor del mundo demuestran que la temperatura a partir de los 2m de profundidad se mantiene constante entre los 7°C a 13°C a lo largo de todo el año, en cualquier temporada y sin importar los cambios climáticos, esto llevó a muchos científicos a suponer una temperatura estándar del suelo y estimar perfiles de temperatura en función del tiempo. (Labs, 1989, y Mihalakakou,1992 en Cabezas 2012). El fundamento teórico detrás del intercambiador aire-tierra consiste en la convección forzada. La convección, es uno de los modos de transferencia de calor que se da entre una superficie sólida y un fluido adyacente que se encuentra en movimiento. Es un combinado entre la conducción y movimiento de fluidos. Al contacto del fluido con la superficie la energía se transfiere por conducción y esta se transmite dentro del aire por medio del movimiento aleatorio de partículas (Figura 3.6a). Ahora, la convección se divide entre la forzada y la natural: la forzada es cuando por medio de un mecanismo externo como puede ser un ventilador o bomba se fuerza al fluido a estar en contacto con la superficie sólida, mientras que la natural se da por condiciones ambientales del entorno (Figura 3.6). ((Ghajar, 2011))

Figura 3.6 Transferencia de calor

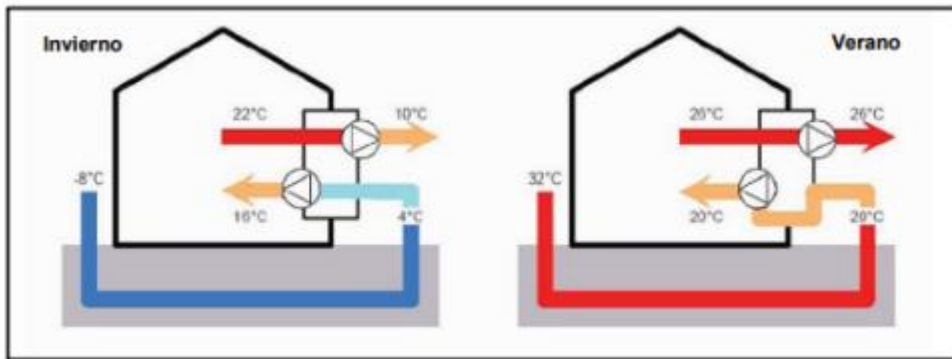


Fuente: *Transferencia de calor y masas: fundamentos y aplicaciones Yunus & Ghajar, 2011, MCGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES S.A*

Para explicar su desarrollo o velocidad de transferencia se utiliza convenientemente la ley de enfriamiento de Newton, donde se obtiene una variable conocida como el coeficiente convectivo. Este es un parámetro que no depende del fluido, se obtiene de manera empírica y depende del área de contacto y la naturaleza del movimiento del fluido. (Ghajar, 2011) La convección forzada es entonces confinar un fluido por medio de ductos o tuberías y por medio de un ventilador o bomba forzar su movimiento a través de un foco que puede ser frío o caliente y conseguir así la temperatura del fluido requerida (Ghajar, 2011).

Para el caso de los tubos enterrados, el suelo es esa superficie sólida que llamaremos foco frío, el cual, intercambiará energía con el aire externo basado en la transferencia de calor por convección disipando así la energía en forma de calor en el suelo y consiguiendo reducir su temperatura a una de mejor confort. (Medina, 2020)

Figura 3.7 Funcionamiento del intercambiador aire-tierra



Fuente: Eficiencia Energética a través de utilización de pozos canadienses. por Ana María Cabezas, 2012

La figura 3.7 ejemplifica el proceso de intercambio de calor entre el suelo y el aire. Por medio de un sistema de impulsión cuidadosamente aislado circula el aire a los espacios que se desean climatizar dentro de la vivienda mientras que otro se encarga de extraer el aire que excede la temperatura de confort, consiguiendo así una renovación del aire al interior de la vivienda, sin olvidar los residuos condensados que se dan debido a las diferencias de temperatura. (Cabezas, 2012)

3.5.3 Criterios de diseño para un intercambiador aire-tierra

Cabezas (2012) asegura que un buen diseño de este sistema contempla los siguientes aspectos:

- Cálculo de cargas: Espacio a ventilar o climatizar
- Definir caudal de aire necesario
- Análisis de temperatura media del lugar
- Definir material del tubo
- Calcular la extensión de los tubos

Adicionalmente, conseguir una mayor reducción de temperatura del flujo del aire puede darse por:

- Un mayor recorrido del aire dentro del tubo
- Un menor diámetro del tubo
- Una menor velocidad del aire dentro del tubo
- Una mayor diferencia de temperatura. (Condiciones de flujo laminar y/o turbulento, un ideal entre 1m/s y 4m/s)

3.5.4 Cálculos del sistema

El cálculo de sistemas de tubos enterrados se fundamenta en determinar la superficie total de transferencia necesaria para el intercambio de calor, jugando con los valores como la sección y diámetro de la tubería, velocidad del aire y el caudal de circulación. Todos estos parámetros están ligados al volumen del espacio a ventilar. (Ruiz Muñoz, 2009 en Cabezas, 2012)

$$K_t = \frac{1}{A_1 \times h_1} + \frac{r_2 - r_1}{4\pi r_1 r_2 \times \lambda} + \frac{1}{A_2 \times h_2} = \frac{^{\circ}C}{W}$$

Ecuación 1. Resistencia térmica de total. *Fuente: Yunus & Ghajar, 2011.*

Dónde:

A_1 = Área interior del tubo (m²)

A_2 = Área exterior del tubo (m²)

λ = Coeficiente de conductividad térmica (W/m^{°C})

r_1 = Radio interior del tubo (m²)

r_2 = Radio exterior del tubo (m²)

h_1 y h_2 = Coeficiente convectivo (W/m²°C)

Coeficiente total de transferencia de calor

$$U = \frac{1}{A_i \times Kt} = \frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ C}$$

Ecuación 2. Coeficiente total de transferencia de calor. *Fuente: Yunus & Ghajar, 2011.*

Dónde:

A_i = Área interna o externa del tubo (m^2)

Kt = Resistencia térmica del tubo ($^\circ C/W$)

Diferencia de temperatura media logarítmica

$$\Delta T_{ml} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln(\Delta T_1 / \Delta T_2)} = ^\circ C$$

Ecuación 3. Temperatura media logarítmica. *Fuente: Yunus & Ghajar, 2011*

Dónde:

ΔT_1 : Diferencia entre la temperatura de entrada y el foco frío (temperatura del suelo) ($^\circ C$) ΔT_2 :

Diferencia entre la temperatura de salida y el foco frío (temperatura del suelo) ($^\circ C$)

Superficie del conducto

$$A = \frac{Q}{\Delta T_{ml} \times U} = m^2$$

Ecuación 4. Superficie del conducto. *Fuente: Yunus & Ghajar, 2011.*

Con la superficie del conducto se obtiene

La longitud de la tubería:

$$L = \frac{A}{2\pi r} = m$$

Ecuación 5. Longitud de la tubería. *Fuente: Ruiz Muñoz, 2009 en Cabezas 2012.*

Las ecuaciones mostradas funcionan para realizar un redimensionamiento de un sistema de intercambio aire-tierra (Medina, 2020). Como en Chile aún no existe una norma que regule al respecto sobre este tipo de construcciones, se asumirán diámetros y velocidades recomendados por otros autores para obtener los datos más reales posibles.

Se tendrá en cuenta sin embargo Normativa Chilena NCh 353 dentro de la cual se señala excavaciones, movimientos de tierra y escombros.

Para determinar la variable Q que se encuentra en la ecuación 4, es necesario estimar lo que es el flujo de calor a eliminar del edificio, y este flujo de calor se calcula mediante la estimación de las cargas térmicas del edificio que resultan en el calor emitido por las actividades realizadas por las personas, radiación solar a través de vidrios y el calor generado por equipos e iluminación artificial. La norma NCh 853-2007 detalla procedimientos de “Acondicionamiento térmico – Envolvente térmica de edificios – Cálculo de resistencias y transmitancias térmicas”, y se utilizará para calcular las cargas térmicas y poder hacer la estimación del calor a retirar de cada espacio del edificio. Para el cálculo de las cargas térmicas se utilizará el procedimiento realizado por López & Moreno (2019) junto con la guía de la norma ASHRAE (1985) y el Manual de Aire Acondicionado de Carrier (2009).

Calor generado por personas

Calor sensible: Resulta en el calor generado en forma de temperatura. Se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$q_{sensible} = N(\text{Calor sensible})(CLF)$$

Ecuación 6. Calor sensible generado por personas. *Fuente: ASHRAE, 1985. p. 26.6*

Dónde:

N : Número de personas que ocupan el espacio.

Calor sensible: Calor sensible generado por cada persona.

CLF : Factor de carga de enfriamiento por horas de servicio del espacio.

Calor latente: Calor generado en forma de humedad. Se estima mediante:

$$q_{latente} = N(\text{Calor latente})$$

Ecuación 7. Calor latente generado por personas. *Fuente: ASHRAE, 1985. p. 26.6*

La norma ASHRAE presenta una serie de tablas que estiman el calor sensible y latente producido por una persona de acuerdo a la actividad que se realice dentro del espacio. Es un estimado que se utilizará para el cálculo de esta variable. (Medina, 2020).

Calor generado por iluminación

$$q_{luces} = N(\text{Input})(CLF)$$

Ecuación 8. Calor generado por iluminación. *Fuente: ASHRAE, 1985. p. 26.6*

Dónde:

N = Número de bombillos en el espacio.

Input = Potencia de los bombillos (W).

CLF = Factor de carga de enfriamiento teniendo en cuenta el tiempo que duran las luces encendidas.

Calor generado por equipos

$$q_{\text{equipos}} = N(\text{Heat gain})(CLF)$$

Ecuación 9. Calor generado por equipos. *Fuente: ASHRAE, 1985. p. 26.6*

Dónde:

N = Número de equipos.

Heat gain = Calor sensible generado por el equipo (De acuerdo a la potencia).

CLF = Factor de carga de enfriamiento teniendo en cuenta las horas de uso del equipo

Calor por radiación

$$q_{\text{solar}} = A \times SC \times SHGF \times CLF$$

Ecuación 10. Calor por radiación. *Fuente: ASHRAE, 1985. p. 26.6*

Dónde:

A = Área del vidrio (m²).

SC = Coeficiente de sombra.

SHGF = Ganancia solar máxima (W/m²).

CLF = Factor de carga de enfriamiento teniendo el factor de sombra presente en el espacio.

Calor por conducción térmica en muros

$$q_{\text{muros}} = A \times U \times CLTD$$

Ecuación 11. Calor por conducción de muros. *Fuente: ASHRAE, 1985. p. 26.6.*

Dónde:

A = Área de los muros (m²).

U = Coeficiente de transferencia de calor (W/m²°C).

CLTD = Carga de enfriamiento por diferencial de temperatura

Calor por conducción térmica en vidrios

$$q_{\text{vidrios}} = A \times U \times CLTD$$

Ecuación 12. Calor por conducción de vidrios. *Fuente: ASHRAE, 1985. p. 26.6*

Dónde:

A = Área del vidrio (m²).

U = Coeficiente de transferencia de calor (W/m²°C).

CLTD = Carga de enfriamiento por diferencial de temperatura.

La suma de total de todas estas cargas térmicas da como resultado en el flujo de calor a eliminar del edificio y con esta última variable se puede calcular el área necesario para el intercambio a partir de la ecuación 4.

3.5.5 Sistema de distribución del aire tratado

Para este pre-dimensionamiento se sigue el procedimiento descrito en el Manual de Aire Acondicionado de Carrier (2009) y teniendo de guía el trabajo realizado por López & Moreno (2019). Las principales variables de diseño del sistema de distribución resultan en conocer las dimensiones del ducto a una velocidad recomendada dependiendo del caudal y estimar las pérdidas carga, que consisten en las pérdidas debido a rozamiento y accesorios.

Diseño de ductos Para estimar el diámetro de los ductos se necesita conocer el caudal de cada tramo y la velocidad del aire recomendada, conociendo el diámetro equivalente se toma las dimensiones largo/ancho recomendado para mantener dicha velocidad. Al realizar este procedimiento se puede llegar a aumentar el caudal necesario para que cumpla con las velocidades requeridas por los tramos.

Pérdidas por rozamiento Las pérdidas por rozamiento, y en general las pérdidas, se toman como una pérdida de carga o presión. Dependerá del caudal y la velocidad que circule por el ducto por medio del uso de gráficas suministradas por el Carrier (2009).

Pérdidas por codos Se obtiene por medio del método de longitud equivalente. Carrier (2009) también proporciona las tablas necesarias para determinar la longitud del codo en forma lineal. Se calcula cruzando la relación ancho/largo de los ductos (W/D) y con el radio de curvatura (R/D) que relaciona el radio del codo con el ancho del ducto. Finalmente se obtiene la relación (L/D) que es la relación longitud/ancho, y despejando L se obtiene la longitud equivalente.

Pérdidas por bifurcación “T” Se estima con las gráficas del Manual de Aire Acondicionado de Carrier (2009) cruzando la velocidad del flujo con la relación caudal principal y sus ramales. También se debe identificar si la sección “T” es de tipo cónica o recta.

Recuperación estática de presión o pérdidas por reducción Las reducciones para un sistema de baja velocidad presentan pendientes de 25°. Un sistema de baja velocidad, como se verá más adelante, es aquel donde la velocidad de flujo no supera los 10m/s. Se obtiene la presión dinámica de entrada y salida de la reducción de acuerdo a la velocidad del flujo y se aplica la siguiente ecuación:

$$Pe = hv_1 - hv_2 = 0.6c_1^2 - 0.6c_2^2$$

Ecuación 13. Pérdidas o ganancia de presión estática (*presión dinámica*) Fuente: Carrier (2009).p.2.39

Dónde:

Hv2 = Presión dinámica en salida. (Pa)

Hv1 = Presión dinámica en entrada. (Pa)

C1 = Velocidad de entrada (m/s)

C2 = Velocidad de salida (m/s)

Pe = Pérdidas por reducción. (Pa)

Selección de filtros También generan pérdidas. Se identifica el tipo de filtro conociendo la evaluación de calidad del aire recomendada de acuerdo a las condiciones de uso del edificio.

3.5.6 Ventajas y Desventajas del sistema

Ventaja

La inversión inicial es mucho menor que la de un sistema de climatización convencional, especialmente si el diseño de la estructura ya contempla dicha posibilidad. Por otra parte, los requerimientos energéticos son completamente marginales, implicando la utilización del sistema y el mantenimiento.

Se destaca que el sistema es especialmente duradero, completamente sostenible y ecológico (Ruiz Muñoz, 2009)

Desventaja

Se observa que el rendimiento del sistema (diferencial de temperatura obtenido) no es constante, siendo esta función de la temperatura de entrada (la temperatura de salida del aire por los difusores se mantiene prácticamente constante, mientras la temperatura exterior fluctúa. (Ruiz Muñoz, 2009 en Cabezas 2012).

3.6 Caso de estudio, Edificio Consistorial de Quilpué

3.6.1 Ubicación

El caso seleccionado se encuentra en la comuna de Quilpué, capital de la provincia de Marga-Marga en la Región de Valparaíso y posee una extensión de 537 km².

Quilpué, más conocida como la ciudad del sol, forma parte de la provincia del Marga-Marga, siendo la capital de la provincia. Esta comuna se crea el 14 de octubre de 1893, territorio emplazado al norte de la cuenca del estero Marga-marga. El título de ciudad llega más tarde, en 1898, sin embargo, el acta fundacional se firma en 2008. Una de las características de esta ciudad es su crecimiento y poblamiento espontáneo, a diferencia de otras ciudades de Chile que nacen a partir de la estructura de Damero. Esta ciudad en sus inicios funciona como ciudad dormitorio de las comunas de Valparaíso y Viña que son las que concentran las actividades económicas y comerciales. Posteriormente pasa a ser lugar de descanso, escogido por su clima privilegiado para una segunda vivienda, que posteriormente pasa a ser definitiva y la población estable de la comuna aumenta.

3.6.2 Topografía

Las coordenadas geográficas de Quilpué son latitud: -33,048°, longitud: -71,442°, y elevación: 113 m. La topografía en un radio de 3 kilómetros de Quilpué tiene variaciones muy grandes de altitud, con un cambio máximo de altitud de 286 metros y una altitud promedio sobre el nivel del mar de 155 metros. En un radio de 16 kilómetros contiene variaciones muy grandes de altitud (894 metros). En un radio de 80 kilómetros contiene variaciones enormes de altitud (2.364 metros).

El área en un radio de 3 kilómetros de Quilpué está cubierta de arbustos (35 %), superficies artificiales (25 %), árboles (18 %) y pradera (12 %), en un radio de 16 kilómetros de arbustos (47%) y árboles (25%) y un radio de 80 kilómetros de agua (46%) y arbustos (26%).

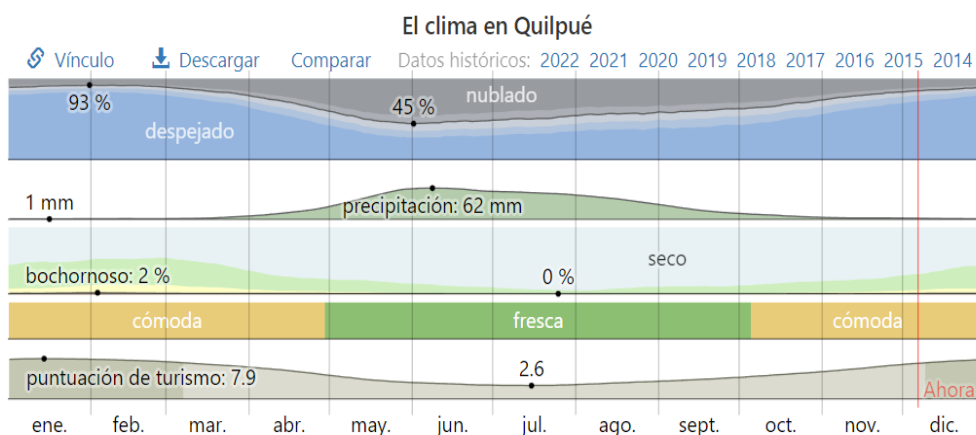
(WeatherSpark.com, s.f.)

3.6.3 Clima

En Quilpué, los veranos son cómodos, áridos y despejados y los inviernos son fríos y parcialmente nublados. Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de 6 °C a 23 °C y rara vez baja a menos de 2 °C o sube a más de 26 °C. (© WeatherSpark.com, s.f.)

El clima en Quilpué

Figura 3.8 Datos históricos de clima en Quilpué



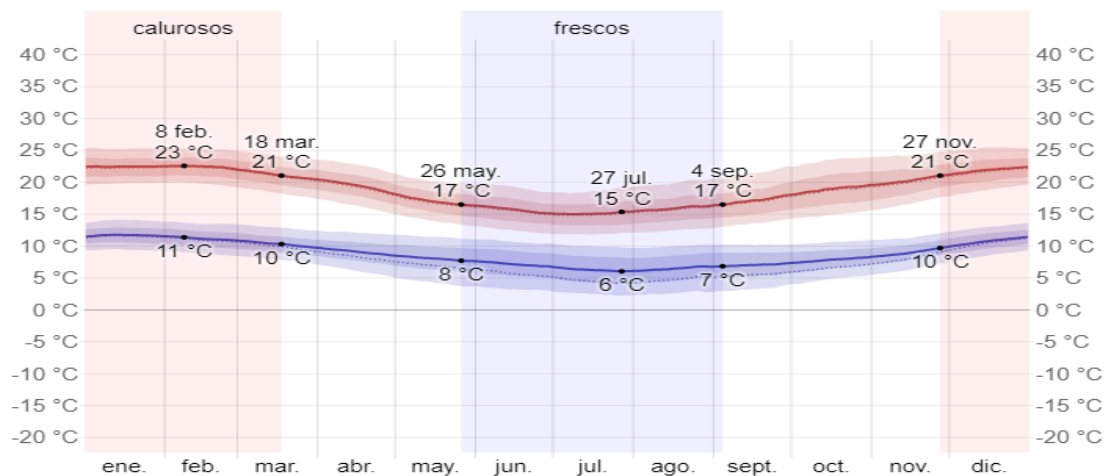
Fuente (WeatherSpark.com, s.f.)

3.6.3.1 Temperatura promedio en Quilpué

La temporada templada dura 3,7 meses, del 27 de noviembre al 18 de marzo, y la temperatura máxima promedio diaria es más de 21 °C. El mes más cálido del año en Quilpué es enero, con una temperatura máxima promedio de 22 °C y mínima de 12 °C.

La temporada fresca dura 3,3 meses, del 26 de mayo al 4 de septiembre, y la temperatura máxima promedio diaria es menos de 17 °C. El mes más frío del año en Quilpué es julio, con una temperatura mínima promedio de 6 °C y máxima de 15 °C. (WeatherSpark.com, s.f.)

Figura 3.8.1 Temperatura promedio en Quilpué

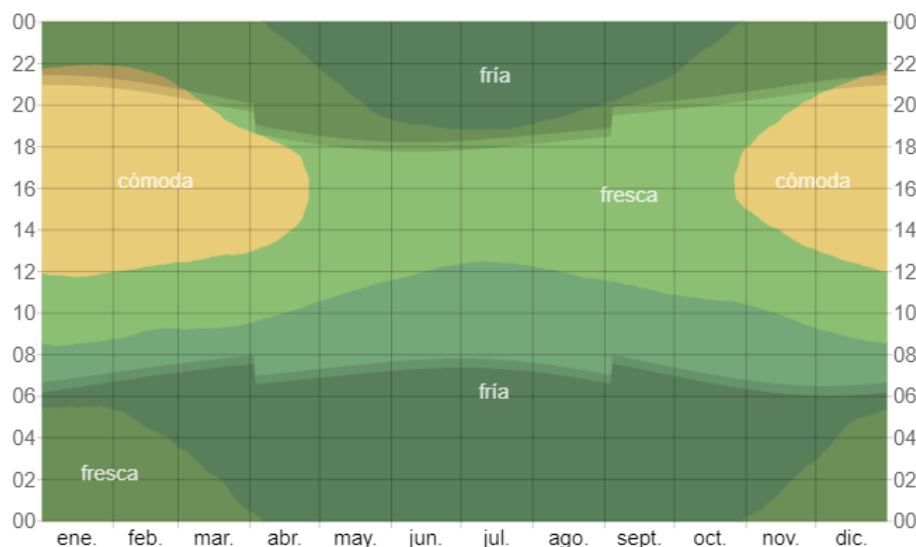


Fuente: (WeatherSpark.com, s.f.)

3.6.3.2 Temperatura promedio por hora en Quilpué

La figura siguiente muestra una ilustración compacta de las temperaturas promedio por hora de todo el año. El eje horizontal es el día del año, el eje vertical es la hora y el color es la temperatura promedio para ese día y a esa hora.

Figura 3.8.2 Temperatura promedio por hora en Quilpue

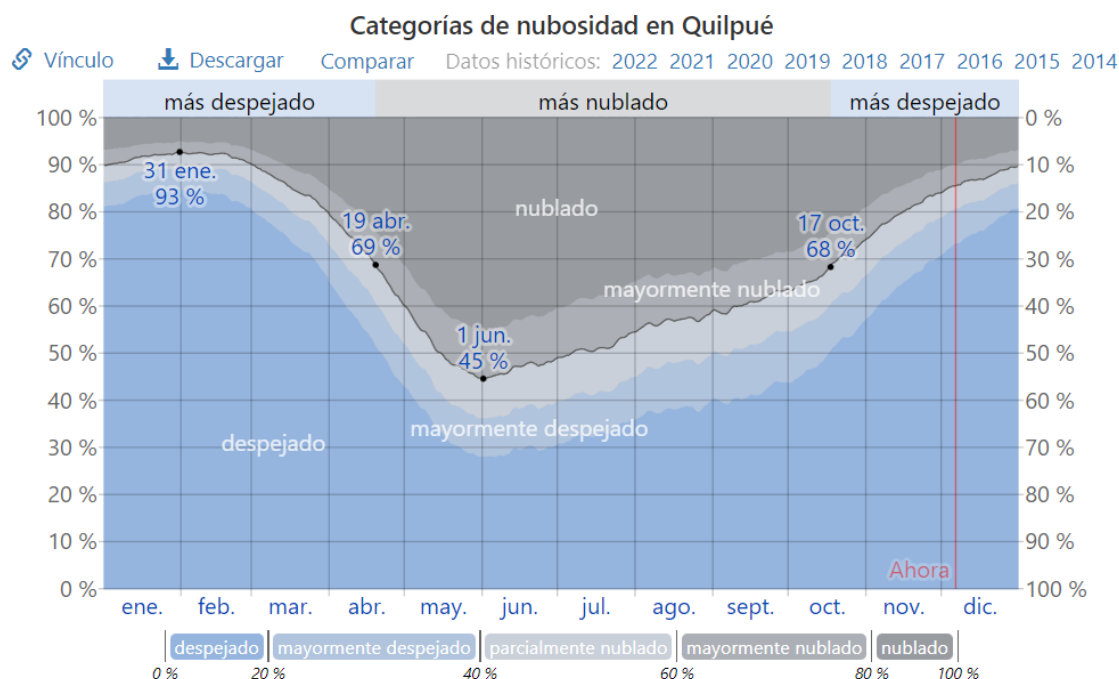


Fuente: (WeatherSpark.com, s.f.)

3.6.3.3 Nubes

En Quilpué, el promedio del porcentaje del cielo cubierto con nubes varía considerablemente en el transcurso del año. La parte más despejada del año en Quilpué comienza aproximadamente el 17 de octubre; dura 6,0 meses y se termina aproximadamente el 19 de abril. El mes más despejado del año en Quilpué es febrero, durante el cual en promedio el cielo está despejado, mayormente despejado o parcialmente nublado el 92 % del tiempo. La parte más nublada del año comienza aproximadamente el 19 de abril; dura 6,0 meses y se termina aproximadamente el 17 de octubre. El mes más nublado del año en Quilpué es junio, durante el cual en promedio el cielo está nublado o mayormente nublado el 53 % del tiempo. (WeatherSpark.com, s.f.)

Figura 3.8.3 Categorías de nubosidad en Quilpué

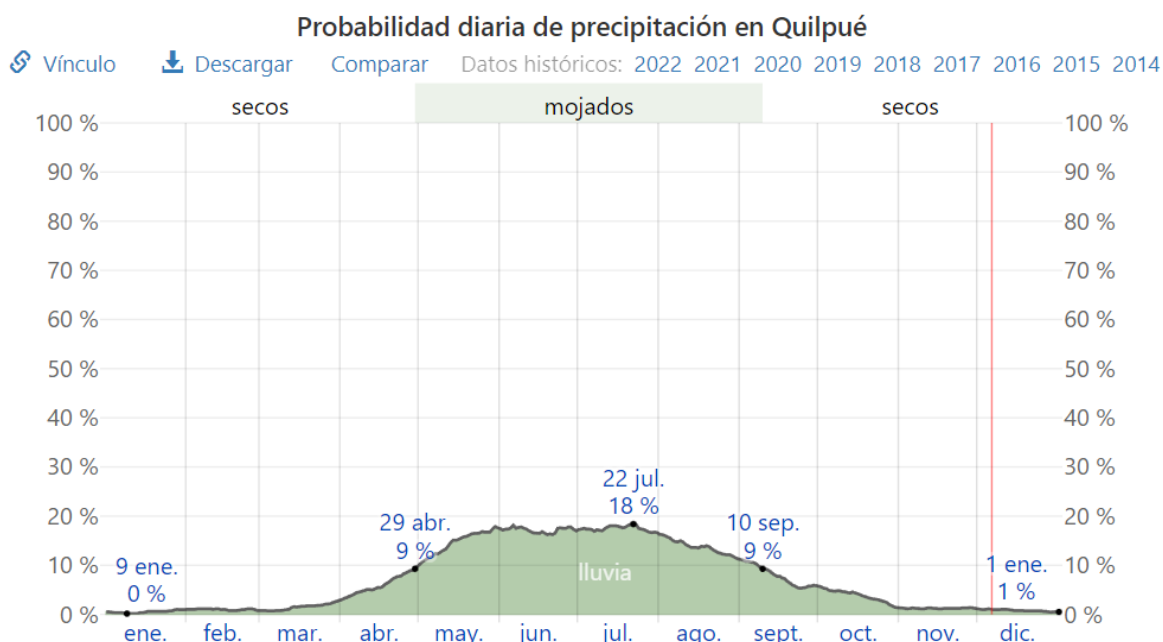


Fuente : (WeatherSpark.com, s.f.)

3.6.3.4 Precipitación

Un día mojado es un día con por lo menos 1 milímetro de líquido o precipitación equivalente a líquido. La probabilidad de días mojados en Quilpué varía durante el año. La temporada más mojada dura 4,4 meses, de 29 de abril a 10 de septiembre, con una probabilidad de más del 9 % de que cierto día será un día mojado. El mes con más días mojados en Quilpué es julio, con un promedio de 5,4 días con por lo menos 1 milímetro de precipitación. La temporada más seca dura 7,6 meses, del 10 de septiembre al 29 de abril. El mes con menos días mojados en Quilpué es enero, con un promedio de 0,2 días con por lo menos 1 milímetro de precipitación. Entre los días mojados, distinguimos entre los que tienen solamente lluvia, solamente nieve o una combinación de las dos. El mes con más días con solo lluvia en Quilpué es julio, con un promedio de 5,4 días. En base a esta categorización, el tipo más común de precipitación durante el año es solo lluvia, con una probabilidad máxima del 18 % el 22 de julio. (WeatherSpark.com, s.f.)

Figura 3.8.4 Probabilidad diaria de precipitación en Quilpué

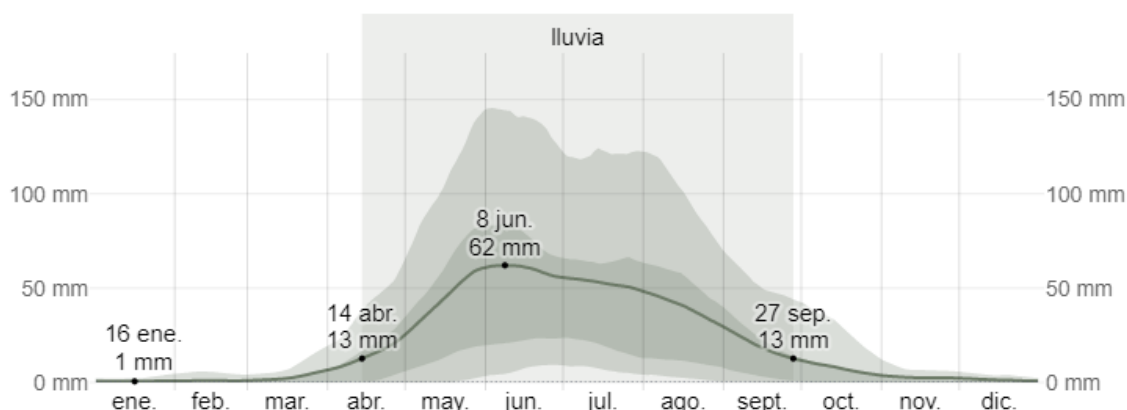


Fuente (WeatherSpark.com, s.f.)

3.6.3.5 Lluvia

Para mostrar la variación durante un mes y no solamente los totales mensuales, mostramos la precipitación de lluvia acumulada durante un período de 31 días en una escala móvil centrado alrededor de cada día del año. Quilpué tiene una variación considerable de lluvia mensual por estación. La temporada de lluvia dura 5,4 meses, del 14 de abril al 27 de septiembre, con un intervalo móvil de 31 días de lluvia de por lo menos 13 milímetros. El mes con más lluvia en Quilpué es junio, con un promedio de 61 milímetros de lluvia. El periodo del año sin lluvia dura 6,6 meses, del 27 de septiembre al 14 de abril. El mes con menos lluvia en Quilpué, es enero, con un promedio de 1 milímetros de lluvia. (WeatherSpark.com, s.f.)

Figura 3.8.5 Promedio mensual de lluvia en Quilpue



Fuente (WeatherSpark.com, s.f.)

Cabe señalar que los datos de temperatura y precipitaciones presentados en este trabajo corresponde a páginas en línea que advierten sobre la veracidad y precisión de los datos mostrados, ya que la Dirección Meteorológica de Chile presenta datos insuficientes para dar un panorama climático en él y no proveen la información necesaria para interpolar datos climatológicos.

3.6.4 Descripción del Edificio

Se ubica en Augusto Carozzi, esquina Gonzalo Bofill #841, Quilpué, Valparaíso. Las calles que circundan el edificio son Las Heras por el norte, Enrique Costa por el sur, Gral. Bustamante por el oriente y Gral. Velázquez por el poniente, esta última es la conexión entre el sector norte con el centro de la ciudad. (Jimenez, 2015) La edificación posee una ubicación excepcional dentro de la comuna, ya que se encuentra a un costado del centro urbano, en donde se concentra la actividad comercial y de servicios. Además, está junto a la línea férrea y próxima a la estación Quilpué, además de emplazarse en una de las vías troncales de la comuna, lo cual le proporciona una gran conectividad.

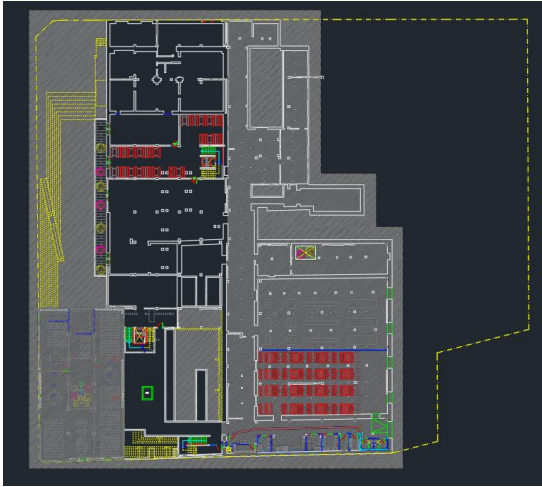
En el plano regulador se observa la relación que posee con su entorno y como las actividades se van dando en anillos desde el centro urbano como primera capa y posteriormente un anillo de viviendas y servicios para continuar con programa habitacional y de equipamiento hacia los extremos de la comuna. (Jimenez, 2015).

Figura 3.9 Vista aérea locación edificio.



Fuente: [Ubicación Municipalidad de Quilpué], de Google Earth. Todos los derechos reservados 2021 por Google. Elaboración propia (2023)

El edificio Consistorial de Quilpué contempla 4 plantas, las cuales se dividen en subterráneo planta de primer, segundo y tercer piso.



Planta subterráneo Edificio Consistorial Quilpué Fuente: Eltit Arquitectos (2015)



Planta Primer Nivel edificio Consistorial Quilpué Fuente: Eltit Arquitectos (2015)



Planta segundo nivel Edificio Consistorial Quilpué Fuente: Eltit Arquitectos (2015)



Planta Tercer nivel Edificio Consistorial Quilpué Fuente: Eltit Arquitectos (2015)

CAPÍTULO IV: Metodología de Trabajo

La metodología que se empleará para llevar a cabo el presente estudio contemplará el desarrollo de una serie de actividades para cumplir con cada objetivo, tanto general como específicos mencionados a fin de lograr establecer las bases para plantear la evaluación de desempeño energético en edificio establecido, el cual será desarrollado en Chile, en la región de Valparaíso específicamente en la comuna de Quilpué. Para ello el método propuesto en este proyecto consiste en el desarrollo de cada objetivo específico como una etapa del trabajo, la cual se detallará a continuación:

4.1.- Diagnosticar el consumo energético del edificio en estudio

Para Diagnosticar el consumo energético del edificio, se debe hacer un estudio integral, que empieza por el análisis de la situación actual, respecto de su comportamiento energético. Para ello se evalúa tanto los aspectos técnicos como los económicos que afectan directa o indirectamente al consumo de energía del mismo.

-Toma de datos de todos los elementos y factores implicados: características constructivas de la envolvente térmica, instalaciones y equipos consumidores de energía, facturas energéticas, parámetros de confort térmico, contadores, potencias instaladas, horarios, etc. Los cuales deberán ser recolectados directamente con la entidad a cargo del edificio.

-Análisis de los datos anotados y cálculo de la demanda energética, esta última se calculará como $\text{Potencia} \times \text{Tiempo} = \text{Consumo (energía consumida)}$ Esta energía consumida en un tiempo determinado se mide en Kwh. Esta es la unidad de medida que las empresas eléctricas utilizan para cobrar lo que consumen sus clientes al mes.

-Diagnóstico respecto de las debilidades de la situación actual si lo hubiese. Para el diseño de la solución de pozo canadiense para el edificio estudio, se utilizarán dos softwares:

Energyplus: es un programa de simulación de análisis energético de edificios, desarrollado por U.S. DOE (Departamento de Energía de EEUU), que permite introducir la descripción del edificio como la constitución física, localización, orientación, los sistemas mecánicos, calcularlas cargas de calefacción y refrigeración necesarias para mantener el control térmico configurado, y el consumo energético del edificio. Al igual que otros detalles necesarios para comprobar que la simulación está funcionando como lo haría el edificio construido. **DesignBuilder**, éste incorpora una base de datos de materiales, cerramientos, vidrios y dispositivos de sombreado. Donde se puede introducir las características de la edificación, proporcionando todas las herramientas necesarias para el estudio de sistemas activos y pasivos, mediante la simulación con Dinámica de Fluidos Computacional (CFD) (Harvard University, 2009). Por lo que por medio de ambos softwares se simulará la solución propuesta.

4.2.- Diseñar la solución de pozo canadiense para el edificio estudio.

Diseño en función de las metodologías nacionales e internacionales, Normas VDI 4640, DIN 1946, UNE EN 16798, VDI 6022.

4.3.- Evaluar el comportamiento energético de la implementación del pozo canadiense en el edificio en estudio.

Para evaluar el comportamiento energético de la implementación del pozo canadiense en el edificio en estudio se tomarán en cuenta los resultados que arrojará el software Design Builder el cual nos dará resultados de cargas de calefacción y refrigeración como también el consumo energético del edificio para realizar un análisis comparativo entre el caso real y la simulación

4.4.- Crear especificaciones técnicas para la construcción del pozo canadiense en el edificio en estudio:

La creación de las EE.TT se deberán realizar al finalizar las simulaciones con datos concisos en conjunto con detalles de equipos y materiales, para luego planificar, describir el proyecto, los objetivos y los problemas a resolver ya que este documento dirigirá el trabajo.

4.5.- Presupuestar las obras asociadas a la ejecución del pozo canadiense

Luego de la creación de especificaciones técnicas se procederá a presupuestar las obras asociadas a la ejecución del pozo canadiense, para esto se utilizará software Notrasnoches de Ondac, donde se creará primeramente el itemizado en Excel para luego exportarlo en el programa y así generar un presupuesto detallado de la obra.

CAPÍTULO V: Desarrollo de la Experiencia

Para dar inicio al desarrollo de la experiencia, se realizaron mediciones en terreno del comportamiento térmico del edificio y se desarrolló una simulación computacional que considera mas variables. El primer análisis se realizó para hacer una comparativa básica de los resultados reales versus los resultados que nos arroja el software, con el fin de esperar una tendencia del edificio tras la simulación, para luego simular la solución pasiva que se escogió desde un principio, tubos enterrados.

5.1 Toma de datos Edificio Consistorial de Quilpué

Con instrumento llamado “anemómetro” (ver anexo 1) se medirán temperaturas y humedades relativas del recinto, los cuales serán útiles como primeros resultados, proporcionando un pronóstico del comportamiento del edificio. Estos resultados se podrán comparar con los datos proporcionados por el software, en el mismo intervalo de tiempo y fechas para validar el uso del programa computacional.

5.2 Determinar desempeño del edificio mediante software Design Builder

A continuación, se desarrollarán las etapas de la metodología.

5.2.1 Registros climatológicos en el Caso de estudio

A través del sitio web perteneciente al software Design builder Chile, Archivos climáticos: DesignBuilder CHILE se obtuvo el archivo climático, este fue creado con el software Meteonorm, un programa informático que realiza interpolación de los siguientes elementos: datos climáticos de cualquier parte del mundo obtenidos por la estación meteorológica más cercana. El archivo contiene datos por hora para todo el año (8670 horas equivalentes a 365 días del año por 24 hrs. de día), y a continuación, se muestra un resumen de las temperaturas de bulbo seco del archivo climático utilizado.

Figura 5.1 Temperaturas máximas, mínimas y promedio mensuales de bulbo seco del archivo climático.

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	
Maximum	31.5	31.9	30.3	29.8	27.7	25.3	27.4	26.8	26.0	27.5	29.3	29.8	
Day:Hour	3:16	21:16	2:16	8:15	3:15	19:15	29:14	18:15	3:15	10:15	23:16	3:16	
Minimum		6.6	6.2	4.1	4.3	3.0	1.3	1.8	2.1	1.1	2.6	3.7	5.3
Day:Hour		25:06	14:07	9:07	30:07	18:08	9:08	17:08	23:07	11:07	29:06	4:06	26:06
Daily Avg	18.0	17.9	16.9	15.2	13.8	12.2	12.0	12.4	12.7	14.4	15.8	17.1	

Fuente: (Design builder , s.f.)

Según la NCh 1079 of 2008 a Quilpué le corresponde un clima tipo Central Litoral (CL), cuya descripción es la siguiente: Zona de marítimo. Inviernos cortos de cuatro a seis meses. Temperatura templada. Nubosidad en verano disipa a mediodía. Precipitaciones altas y medianas en aumento hacia el S. Vientos predominantes de componente SW. Suelo y ambiente salinos y relativamente húmedos y una vegetación normal.

Para dar inicio a la simulación se cargarán los datos climáticos de la zona correspondiente a la zona 4 central litoral (4CL), correspondientes a la comuna de Valparaíso, datos provenientes mas específicos a la estación meteorológica “El Belloto” anteriormente descargados, al programa de simulación.

Figura 5.2 Plantilla del sitio

Modelo	Datos del Sitio	Datos de Región
Plantilla de Sitio		
Plantilla		QUILPUE
Ubicación		
Latitud (°)	-33,05	
Longitud (°)	-71,35	
Zona climática ASHRAE	4CL	
Detalles del Sitio		
Hora y Horario de Verano		
Datos Climáticos para Simulación		
Datos Climáticos para Diseño de Calefacción		
Datos Climáticos para Diseño de Refrigeración		

Fuente: Elaboración propia (2023)

5.2.2 Definición Geométrica

Antes de definir geométricamente el edificio, se deberá definir el emplazamiento del mismo, para que dentro del programa nos genere el cálculo de la demanda.

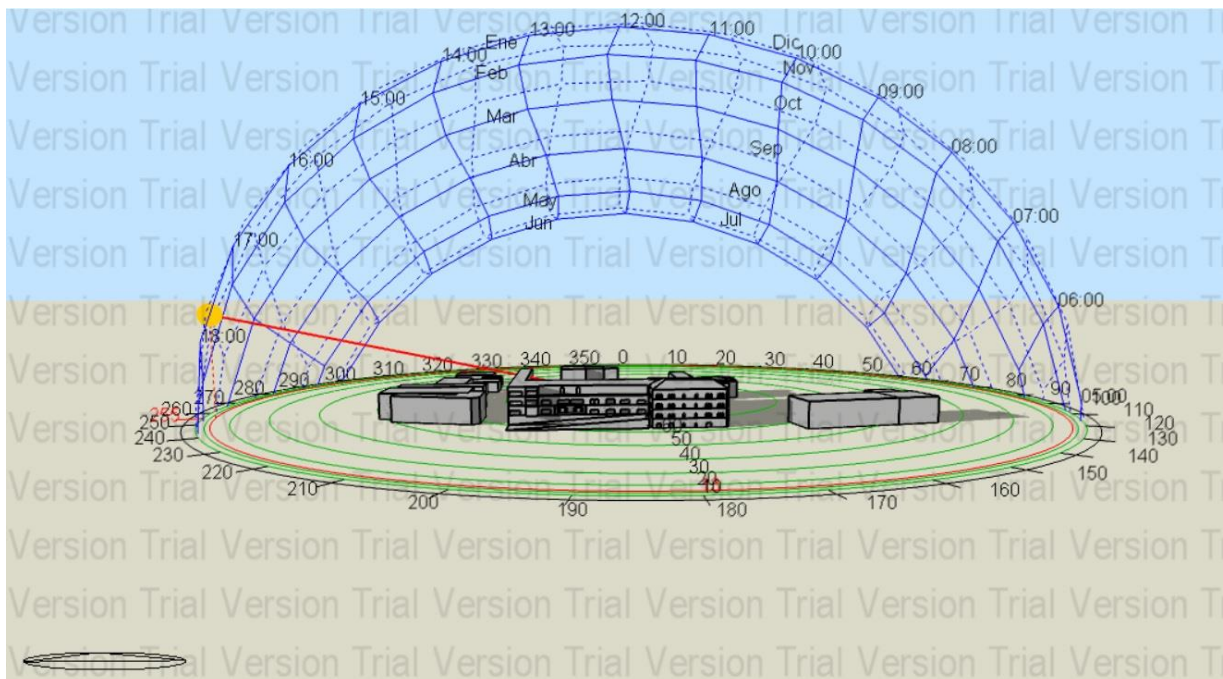
Figura 5.3 Emplazamiento del Edificio Consistorial de Quilpué



Fuente (Earth, s.f.)

Para definir geométricamente el edificio, se utilizaron planimetrías, tales como planos de plantas, elevaciones, cortes, etc. además de las especificaciones técnicas del edificio en estudio, proporcionadas por Eltit Arquitectos, quienes estuvieron a cargo del diseño de éste. Se realiza un levantamiento geométrico, modelando los planos en el programa Design Builder, generando un modelo 3D, mediante el cual nos arroja demanda y consumos energéticos.

Figura 5.4 Modelación modo asoleamiento con entorno



Fuente: Elaboración propia (2023)

5.2.3 Definición del material

Para la definición del material se tomó como referencia las EETT del edificio en estudio en donde detalla el tipo de envolvente del edificio.

Cabe señalar que la envolvente es el elemento en el que se realiza gran parte de los intercambios de energía entregados el interior y exterior del edificio, este intercambio se controla básicamente por:

- Ventanas

- Techumbre

- Muros exteriores

- Ventanas (entre 31 a 40% de las fachadas) con marcos de PVC, con termopaneles (DVH): con valores mínimo tipo 3.0 Wm²/K, espesores 6-12-6, factor de reflexión 40%. Todas las ventanas cuentan con sellos de calidad para evitar escapes de aire y son practicables manualmente para las veces que se requieran abrirlas. No superando el 30% de los muros (normativa para viviendas permite 60% si se emplean DVH, pero no recomendable para esta localidad de gran radiación solar). $U = 2.716 \text{ W/m}^2\text{K}$.

- Muros HA de 20cms estucados, con aislación térmica por cara exterior (poliestireno expandido de densidad media en 50mm), con ello se logra un valor $U = 0.638 \text{ W/m}^2\text{K}$, idealmente con una capa de aire ventilada permanentemente, la cual es solo beneficiosa para el largo período de calor de la zona. TDRe sugiere 0.80.

- Cubierta aislación (poliuretano proyectado idealmente) de 100mm mín. sobre losa de HA 15cms, valor $U = 0.361 \text{ W/m}^2\text{K}$; cubierta doble, ventilada permanente y naturalmente para evitar recalentamientos y condensaciones, superficie opaca exterior tonos claros. TDRe sugiere 0.60.

- Piso del primer nivel, radier tradicional más 40mm de poliestireno expandido alta densidad (30kg/m³), $U = 0.745 \text{ W/m}^2\text{K}$. TDRe sugiere 0.80.

Estos valores fueron ingresados al programa para obtener una simulación lo mas cercana a lo real posible.

5.2.3.1 Edición muros del proyecto

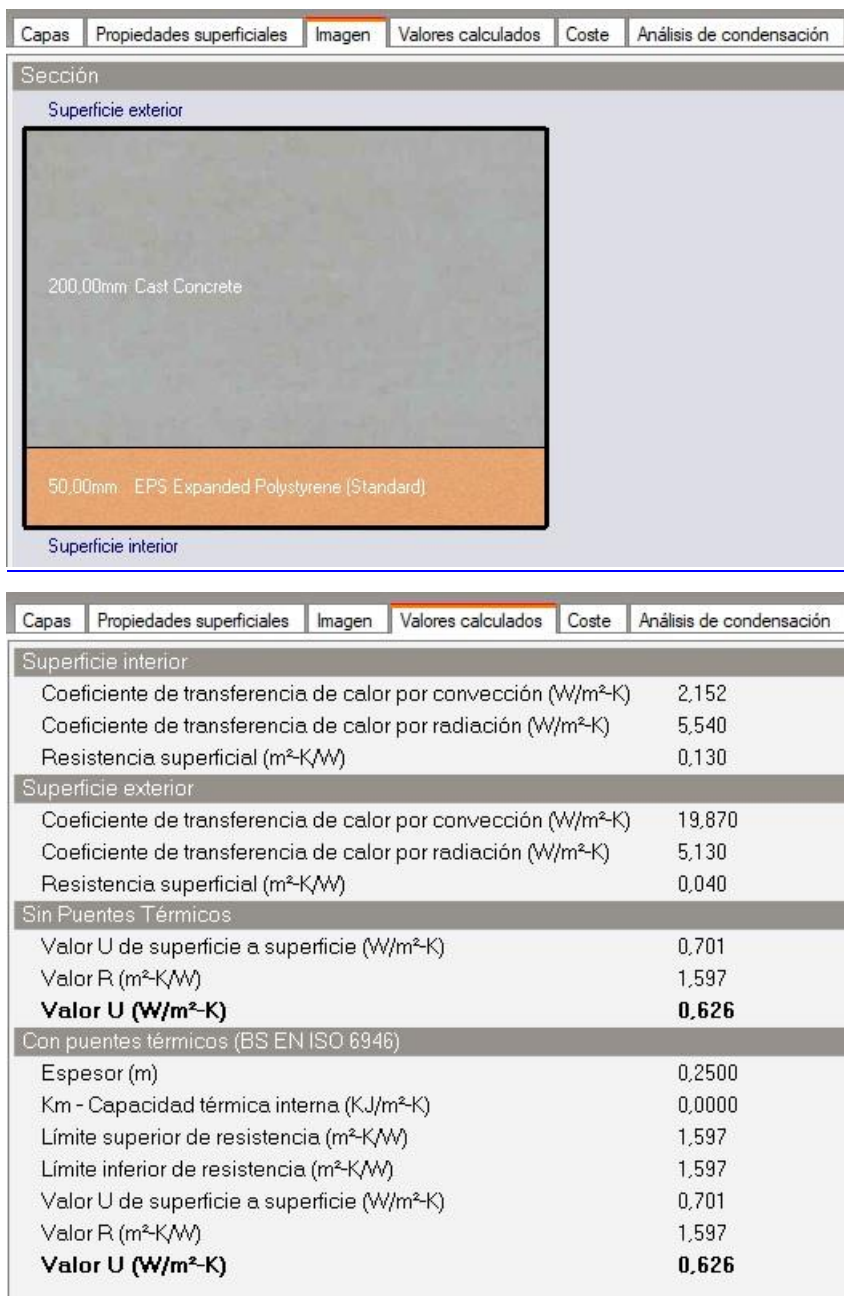
Figura 5.5 Edición muros

Editar cerramientos - Muro del proyecto COQ

Cerramientos	
Capas	Propiedades superficiales Imagen Valores calculados Coste Análisis de condensación
General	
Nombre	Muro del proyecto COQ
Fuente	
Categoría	Muros exteriores
Región	General
Color	
Definición	
Método de definición	1-Capas
Parámetros de cálculo	
Capas	
Número de capas	2
Capa más externa	
Material	Cast Concrete
Espesor (m)	0,2000
☐ Puentes térmicos	
Capa más interna	
Material	EPS Expanded Polystyrene (Standard)
Espesor (m)	0,0500
☐ Puentes térmicos	

Fuente: Elaboración propia (2023)

Figura 5.6 Resultados U edición muros

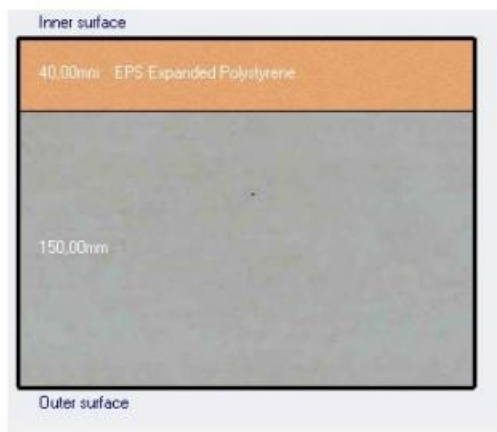
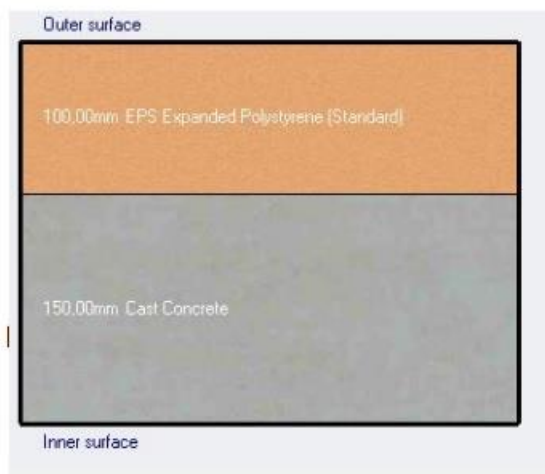


Fuente: Elaboración propia (2023)

5.2.3.2 Edición cubiertas del proyecto

Figura 5.7 Edición cubiertas

Cubierta general:



Inner surface	
Convective heat transfer coefficient (W/m²K)	4,460
Radiative heat transfer coefficient (W/m²K)	5,540
Surface resistance (m²K/W)	0,100
Outer surface	
Convective heat transfer coefficient (W/m²K)	19,870
Radiative heat transfer coefficient (W/m²K)	5,130
Surface resistance (m²K/W)	0,040
No Bridging	
U-Value surface to surface (W/m²K)	0,380
R-Value (m²K/W)	2,773
U-Value (W/m²K)	0,361
With Bridging (BS EN ISO 6946)	
Km - Internal heat capacity (KJ/m²K)	200,0000
Upper resistance limit (m²K/W)	2,773
Lower resistance limit (m²K/W)	2,773
U-Value surface to surface (W/m²K)	0,380
R-Value (m²K/W)	2,773
U-Value (W/m²K)	0,361
Inner surface	
Convective heat transfer coefficient (W/m²K)	0,342
Radiative heat transfer coefficient (W/m²K)	5,540
Surface resistance (m²K/W)	0,170
Outer surface	
Convective heat transfer coefficient (W/m²K)	19,870
Radiative heat transfer coefficient (W/m²K)	5,130
Surface resistance (m²K/W)	0,040
No Bridging	
U-Value surface to surface (W/m²K)	0,883
R-Value (m²K/W)	1,343
U-Value (W/m²K)	0,745
With Bridging (BS EN ISO 6946)	
Km - Internal heat capacity (KJ/m²K)	0,0000
Upper resistance limit (m²K/W)	1,343
Lower resistance limit (m²K/W)	1,343
U-Value surface to surface (W/m²K)	0,883
R-Value (m²K/W)	1,343
U-Value (W/m²K)	0,745

Fuente: Elaboración propia (2023)

5.2.3.3 Edición ventanas

Ventanas de PVC y doble vidriado hermético

Figura 5.8 Edición ventanas

Ventanas PVC y doble vidriado hermético:

Calculated Values	
Total solar transmission (SHGC)	0,764
Direct solar transmission	0,705
Light transmission	0,812
U-value (ISO 10292/ EN 673) (W/m ² -K)	2,837
U-Value (W/m²-K)	2,716

Fuente: Elaboración propia (2023)

Usando estos valores de transmitancia térmica (U), pueden determinar el flujo de calor asociado con la solución del edificio. Cuanto menor sea el valor, más aislamiento habrá entre el medio ambiente y su impacto en la demanda total de energía dependerá de la geometría, ampliaciones, actividades que se desarrollan en la zona, etc.

5.2.4 Condiciones térmicas internas del edificio.

Según el Manual de instalaciones térmicas (Construcción, 2014), los parámetros para lograr un confort térmico son los siguientes:

Invierno.

Temperatura interior: 20° C

Humedad relativa: <50 %

Verano.

Temperatura interior: 24° C

Humedad relativa: <50 %

Según la metodología adquirida, los espacios habitables, se clasificarán en función de la cantidad de calor disipado en su interior, de acuerdo con la actividad realizada en el:

-Recintos con carga interna Baja: Pasillo, Hall, Auditorios, Salas de reuniones.

-Recintos con carga interna alta: Oficinas, Laboratorios/ Talleres.

5.2.4.1 Cargas de Ocupación del edificio

Se agrega al software datos de ocupación del edificio, considerando el horario del uso del edificio se desarrolla durante los días lunes a viernes de 08:00 am a 18:00 pm, ingresando tasas metabólicas todo esto conforme a lo señalado en la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción (O.G.U.C) para los edificios, la densidad ocupacional en este documento se debe agregar a la simulación, ya que el cálculo de demanda energética utilizará estos datos para ver la demanda permitida, según la normativa vigente en Chile.

Figura 5.9 Cargas de ocupación



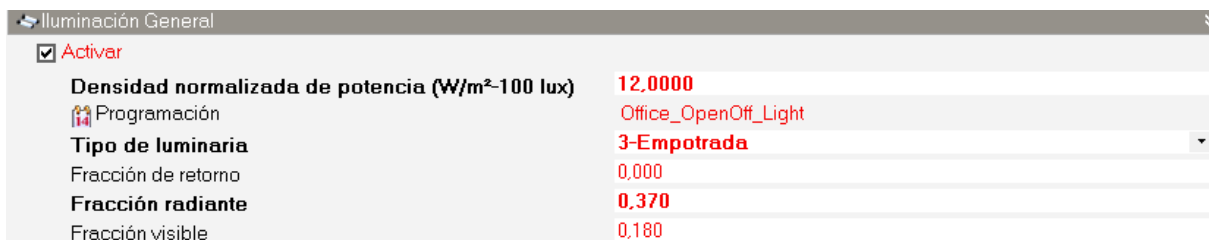
Condiciones Metabólicas	
Tasa metabólica	Light office work
Factor (Hombre=1.00, Mujer=0.85, Niño=0.75)	0.90

Fuente: Elaboración propia (2023)

Criterios y parámetros promedio de diseño ambiental interior considerados según EETT

- Densidad de iluminación artificial interior promedio ideal: 10W/m² promedio máx. (esto implica luminarias de bajo consumo y alta eficiencia), lo usual es cerca de 15W/m² en promedio.

Figura 5.9.1 Iluminación general



Iluminación General	
☒ Activar	
Densidad normalizada de potencia (W/m²-100 lux)	12.0000
Programación	Office_OpenOff_Light
Tipo de luminaria	3-Empotrada
Fracción de retorno	0.000
Fracción radiante	0.370
Fracción visible	0.180

Fuente: Elaboración propia (2023)

- Densidad de equipamiento oficinas: 200W/computador, 150W/impresora

Figura 5.9.2 Densidad de equipamiento

Computadoras	
☒ Activar	
Densidad de potencia (W/m²)	20.00
 Programación	Office_OpenOff_Equip
Fracción radiante	0.200
Equipos de oficina	
☒ Activar	
Densidad de potencia (W/m²)	15.00
 Programación	Office_OpenOff_Equip
Fracción radiante	1.000

Fuente: Elaboración propia (2023)

Condiciones exteriores promedio a considerar:

- Verano: 35° y 40% de HR aprox.
- Invierno: 0° y 85% de HR aprox.

Condiciones interiores ideales a lograr:

- Verano: 26° máx. y sin control de humedad
- Invierno: 18° mín. y sin control de humedad

Ventilación

En periodo de calor:

Está contemplado la ventilación natural cruzada y permitir que ventanas se abran ocasionalmente por ser un programa destinado a posible grandes afluencias de público, en dinteles de puertas de recintos de oficinas van celosías permanentemente abiertas para lograrlo. En fachadas norte, oriente y especialmente poniente, se debe contemplar sistema de protección solar exterior para evitar que rayos solares de épocas de calor entren al interior. Este dispositivo, fijo, por razones de mantenciones y diseñado con ángulos específicos, de tal modo que el rayo solar sea controlado en verano y permita el acceso de luz difusa del exterior.

En periodo de frío:

Llevará aislación de mínimo 5cms (tipo poliestireno expandido) en muros por el exterior en forma continua, evitándose puentes térmicos. El total es muy superior a lo que se exige en Reglamentación Térmica para las viviendas de esta zona. La aislación exterior permite que la energía se acumule al interior y esta no se escape al exterior

5.3 Equipamiento

El diseño de las instalaciones se ha realizado según estándares de las marcas tradicionales y con presencia en el mercado nacional de equipamiento de refrigerante variable. Este proyecto se basa en los sistemas de refrigerante variable con recuperación de calor para lo cual se ha consultado la marca Samsung como diseño para este proyecto.

Unidades exteriores VRV con recuperación de calor:

Sistemas de Aire Acondicionado Bomba de Calor del tipo VRV, con Recuperación de Calor para los sistemas (frío y calor simultáneo), aptos para trabajar con refrigerante R-410A y cuya conexión se realice a través de redes de tres tuberías de cobre.

Unidades interiores VRV con recuperación de calor:

Para los equipos interiores se han consultado dos tipos de unidades, la unidad para conexión de ductos y unidades de presentación del tipo muro. La primera consta de un gabinete interior para conexión a ductos, que posee un ventilador del tipo centrífugo de 3 velocidades de largo alcance, con una caída de presión disponible de 8 mm c.a. en velocidad alta, serpentín evaporador de cobre con aletas de aluminio y filtro de retención de impurezas. La unidad de muro consta de un gabinete interior que posee un ventilador del tipo hélice centrífuga de 3 velocidades, serpentín evaporador de cobre con aletas de aluminio y filtro de retención de impurezas. La presentación de la unidad es del tipo muro. Posee una máscara plástica de color blanco. La unión entre las dos unidades deberá ser en cañerías de cobre de acuerdo a los diámetros recomendados por los fabricantes para cada unidad y de acuerdo a su potencia. La unidad interior deberá cumplir a lo menos lo siguiente:

- Filtros de aire.
- Control remoto alámbrico para el caso de las unidades de presentación.
- Control alámbrico para el caso de las unidades de ductos (termostato).
- Nivel máximo de ruidos de 45 dB(A).

El refrigerante a utilizar será del tipo ecológico ya sea R410, R134-a o R-407

Como se mencionó al inicio del capítulo, estos datos serán todos ingresados al programa Design Builder para generar un informe completo tanto de consumo energético, desglose de total de gastos energéticos, de confort, etc. Cabe señalar además que el programa de simulación energética tiene como referencia la metodología Standar 90.1 – ASHRAE 2009 (2009), de tal manera que la simulación se encuentre bajo los estándares exigidos.

CAPÍTULO VI: Resultados y análisis

Para dar inicio al análisis es necesario tomar datos del recinto a estudiar. Estos datos son temperaturas y humedades relativas al exterior e interior del edificio. Ésta toma de datos se realizó con un dispositivo llamado “anemómetro” (Ver anexo 1) Se tomaron muestras al exterior de la edificación y al interior, tanto en la recepción como en oficinas a las que se permitió el acceso. Para obtener datos significativos se hicieron mediciones cada 60 minutos durante el transcurso de 6 horas del día 28 de marzo del presente año.

Tabla 1.1 Temperaturas y humedades relativas al exterior del edificio

Hora	Temperatura (°C)	Humedad relativa %
09:00	16,8	67%
10:00	16,8	65%
11:00	17,01	65%
12:00	17,05	66%
13:00	17,4	64%
14:00	17,8	61%

Fuente: Elaboración propia (2023)

Tabla 1.2 Temperaturas y humedades relativas al interior del edificio

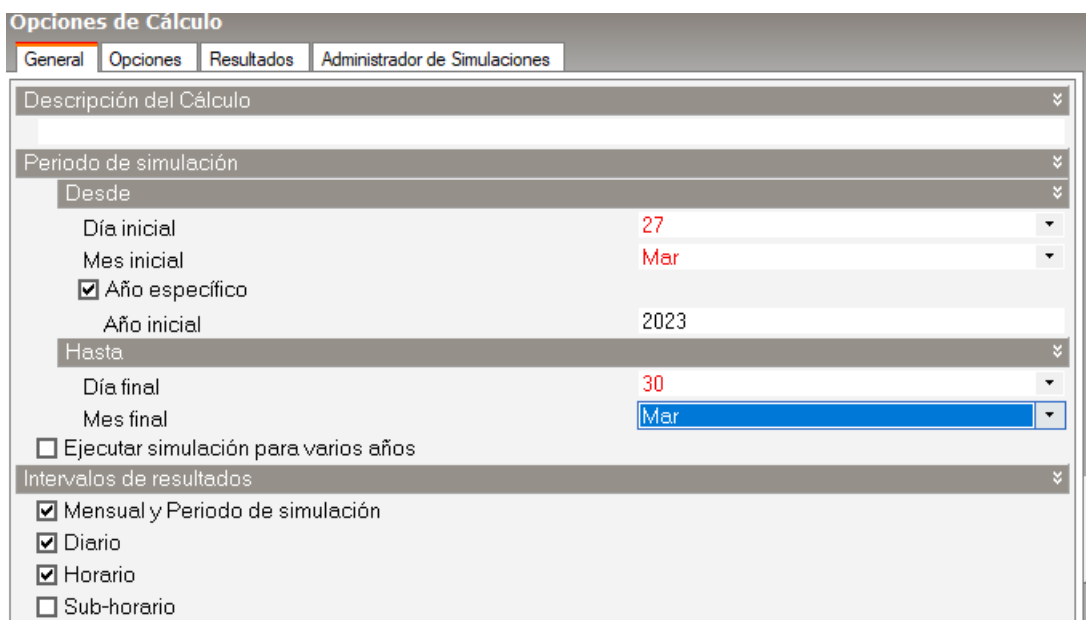
Hora	Temperatura (°C)	Humedad relativa %
09:00	16,8	37%
10:00	16,8	35%
11:00	16,9	35%
12:00	17,4	36%
13:00	17,4	34%
14:00	17,3	34%

Fuente: Elaboración propia (2023)

6.1 Comparación de datos.

Continuando con el estudio en forma computacional se hizo una comparación de datos obtenidos con el anemómetro y el software Design Builder con el archivo climático de la zona, modelando el edificio virtualmente lo más idéntica a la infraestructura existente en estudio, el cual consideró el mismo rango de fecha y hora en el software como se muestra a continuación:

Figura 6.1 Periodo de simulación software Design Builder



Opciones de Cálculo

General | Opciones | Resultados | Administrador de Simulaciones

Descripción del Cálculo

Periodo de simulación

Desde

Día inicial: 27

Mes inicial: Mar

☒ Año específico

Año inicial: 2023

Hasta

Día final: 30

Mes final: Mar

☐ Ejecutar simulación para varios años

Intervalos de resultados

☒ Mensual y Periodo de simulación

☒ Diario

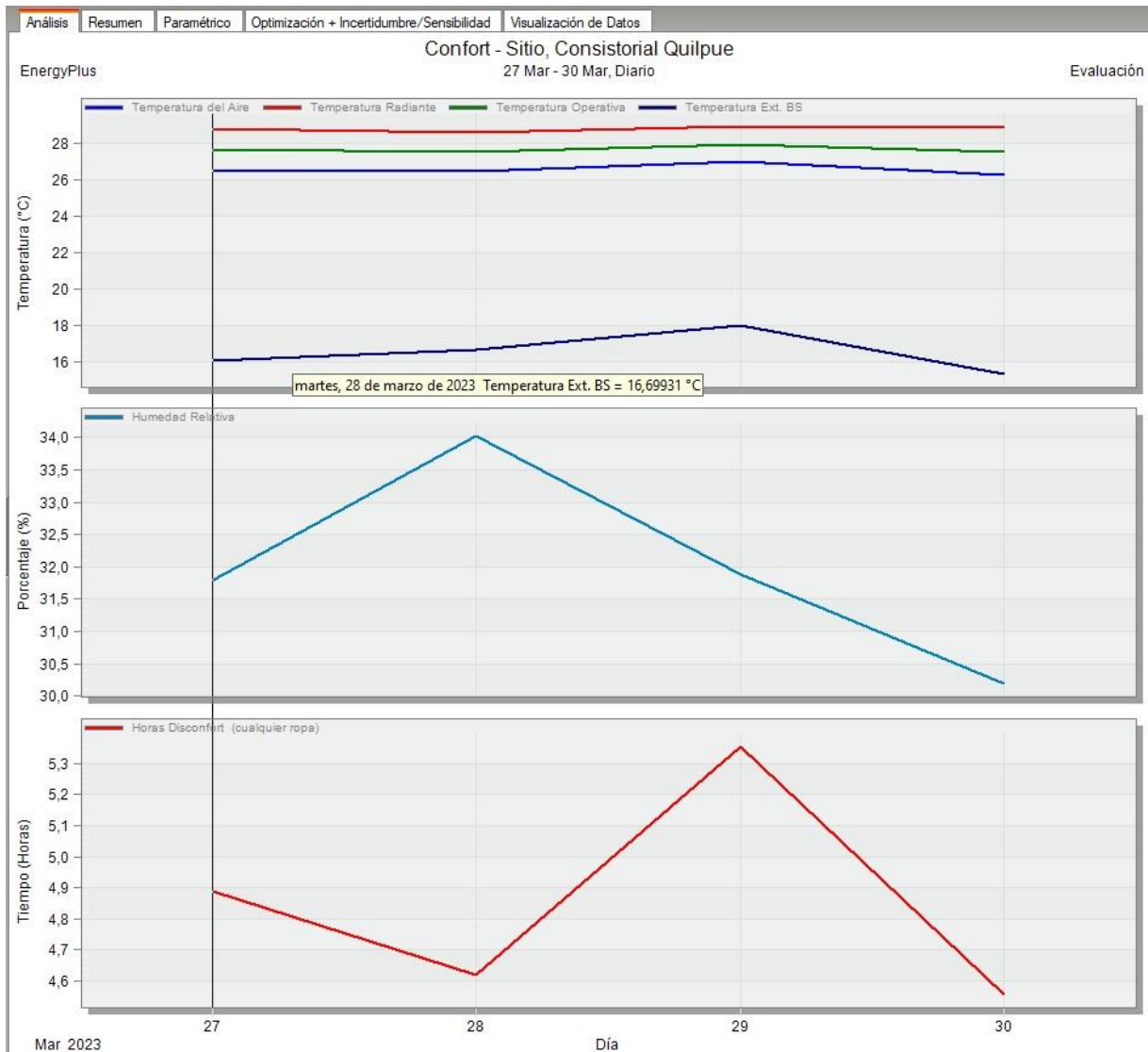
☒ Horario

☐ Sub-horario

Fuente: Elaboración propia (2023)

Al ingresar los datos al programa nos arroja resultados de la simulación obteniendo los siguientes valores:

Figura 6.2 Medición confort 28 de marzo 2023



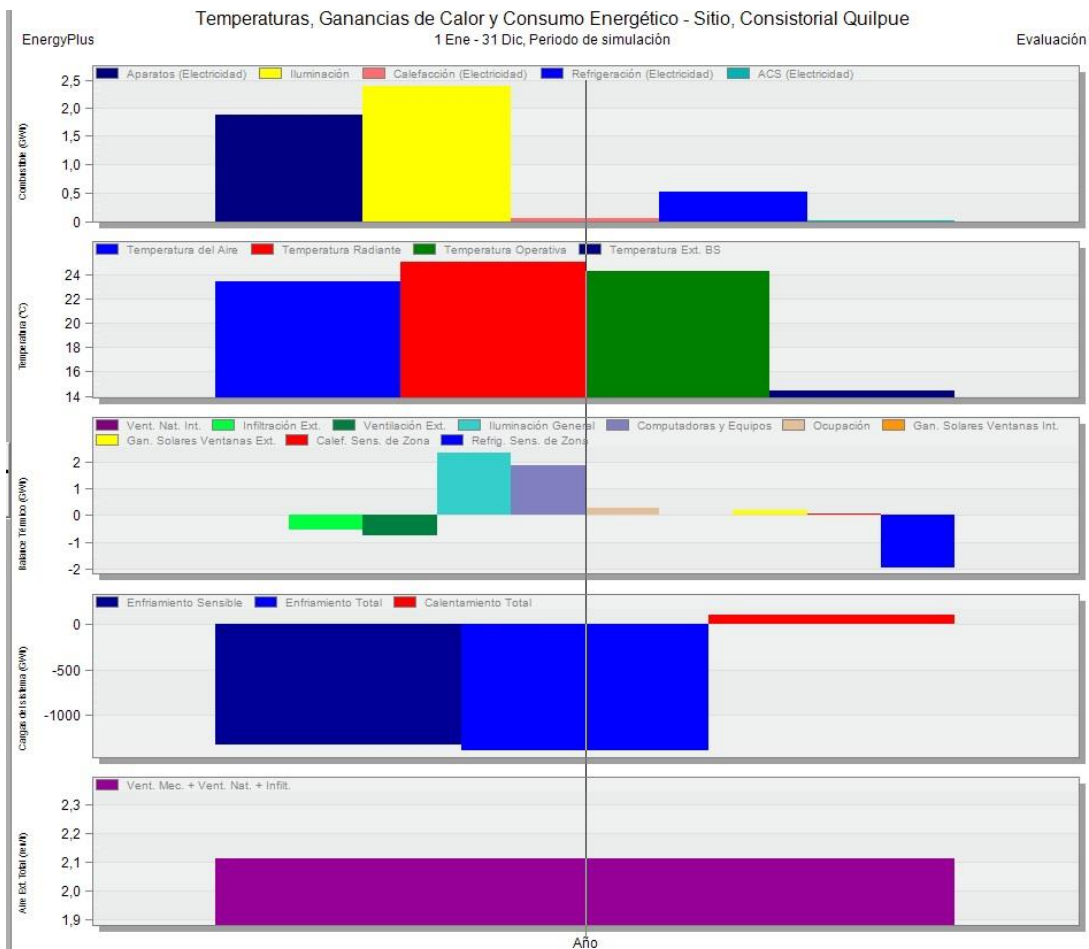
Fuente: Elaboración propia, (2023)

Se desprende del gráfico la coincidencia de medición del dispositivo con el software design builder con un rango de error de $\pm 1^\circ\text{C}$. Esto no es perceptible por el ocupante, tampoco un rango de error muy alto y nos sigue manteniendo en el rango de confort. Podría decirse que el software con respecto a esta orientación nos entrega información fidedigna.

6.2 Diagnóstico del edificio

Al tener el edificio modelado, con su respectiva orientación, materialidad de la envolvente, valores de ocupación, tipo de climatización, se procede a hacer el diagnóstico del edificio en estudio. Al configurar datos de climatización, siendo ventilación mecánica además de los equipos que se especifican en las EETT, se procede a simular el edificio en estudio durante el periodo del 1 de enero al 31 de diciembre del año 2023.

Figura 6.3 Simulación edificio año 2023



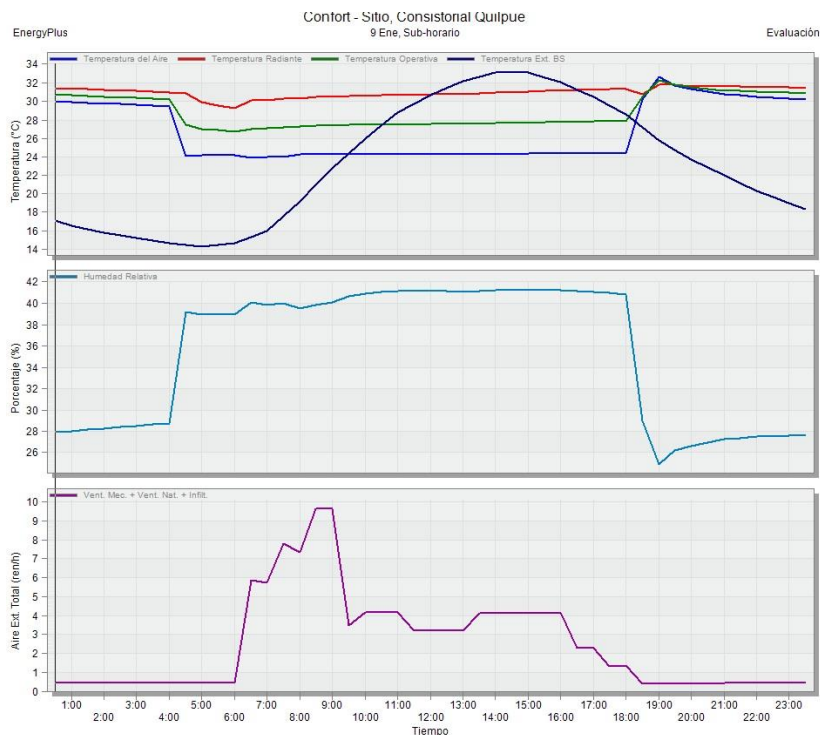
Fuente: Elaboración propia (2023)

Cabe señalar que el objetivo es evaluar el desempeño energético mediante la simulación de un sistema pasivo de climatización y/o refrigeración, por lo que se centrará el estudio en el consumo kw/m² de los sistemas encargados de otorgar confort a los ocupantes de la edificación. Antes de realizar el análisis de los consumos desglosados, se debe rectificar si el edificio en estudio se encuentra o no en zona de confort durante el periodo de simulación. Para aquello se procede a analizar el diseño de refrigeración y calefacción por separado.

6.2.1 Diseño de refrigeración

Se simula el diseño de refrigeración durante los meses con mayores temperaturas externas, que comprende los meses de diciembre, enero, febrero y marzo, siendo el día 9 de enero, día pick. A continuación, se presentan datos arrojados por el software

Figura 6.4 Diseño de refrigeración



Fuente: Elaboración propia (2023)

6.2.2 Diseño de calefacción

La simulación del diseño de calefacción comprende los meses restantes de la simulación de refrigeración obteniendo los siguientes resultados:

Figura 6.5 Diseño de calefacción

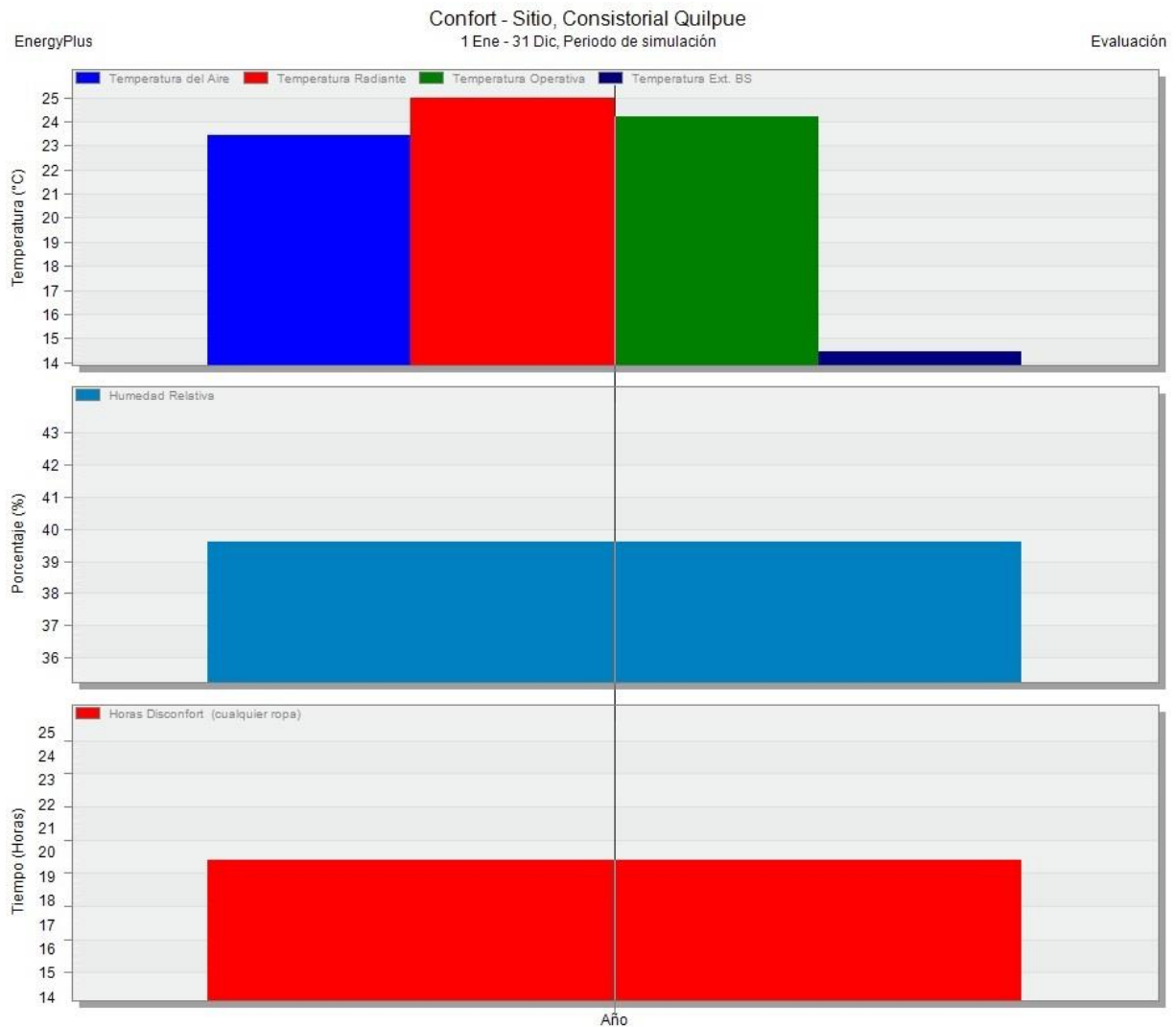


Fuente: Elaboración propia (2023)

Los resultados son nuevamente analizados según la carta psicométrica de Givoni, dándonos resultados positivos de estar dentro de la zona de confort en ambos casos.

En general, el edificio durante todo el periodo de simulación (1 de enero- 31 de diciembre, 2023) nos arroja los siguientes resultados:

Figura 6.6 Confort Edificio Consistorial



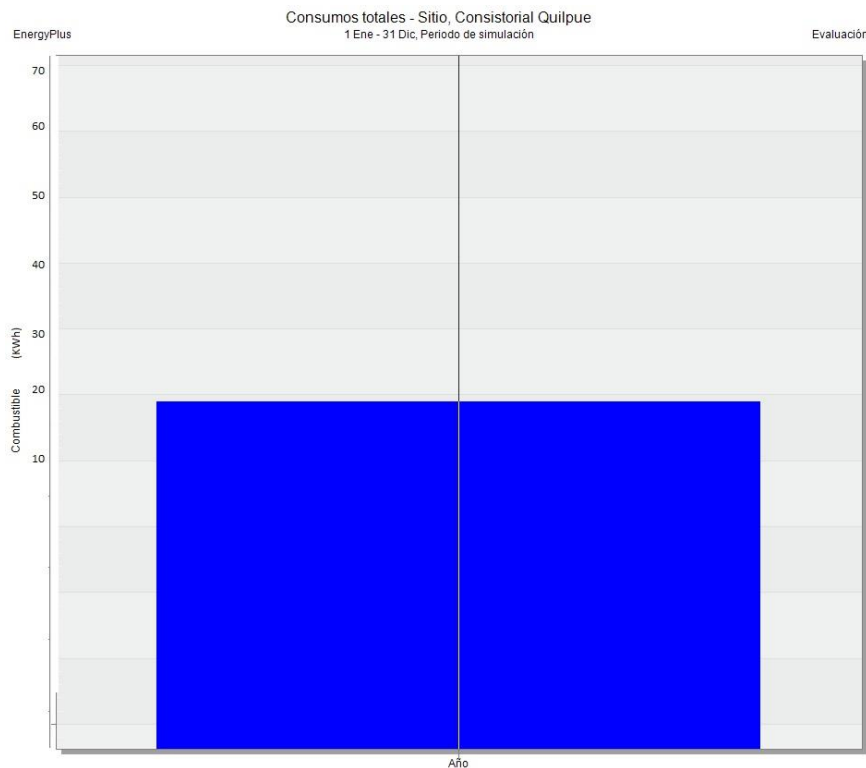
Fuentes: Elaboración propia, 2023

Dándonos un promedio anual de 19-20 horas de disconfort.

6.2.3 Consumo energético.

El consumo energético tiene varias aristas que se han evaluado en sus diversos factores y variables, con el propósito de lograr un edificio más eficiente en su operación y mantención. Como menciona la Agencia Chilena de Eficiencia Energética, para Chile no se ha establecido una línea base para el desempeño de este tipo de edificios, pero como referencia frente al consumo promedio de las viviendas convencionales en Chile es de 190 kWh/m²/año, el de oficinas comerciales en EE.UU. es de 180 kWh/m²/año y en Francia 65 kWh/m²/año. El edificio en estudio luego de ser ingresado con todos sus datos al software de simulación nos arroja el siguiente dato de consumo general energético:

Figura 6.7 Consumo total anual



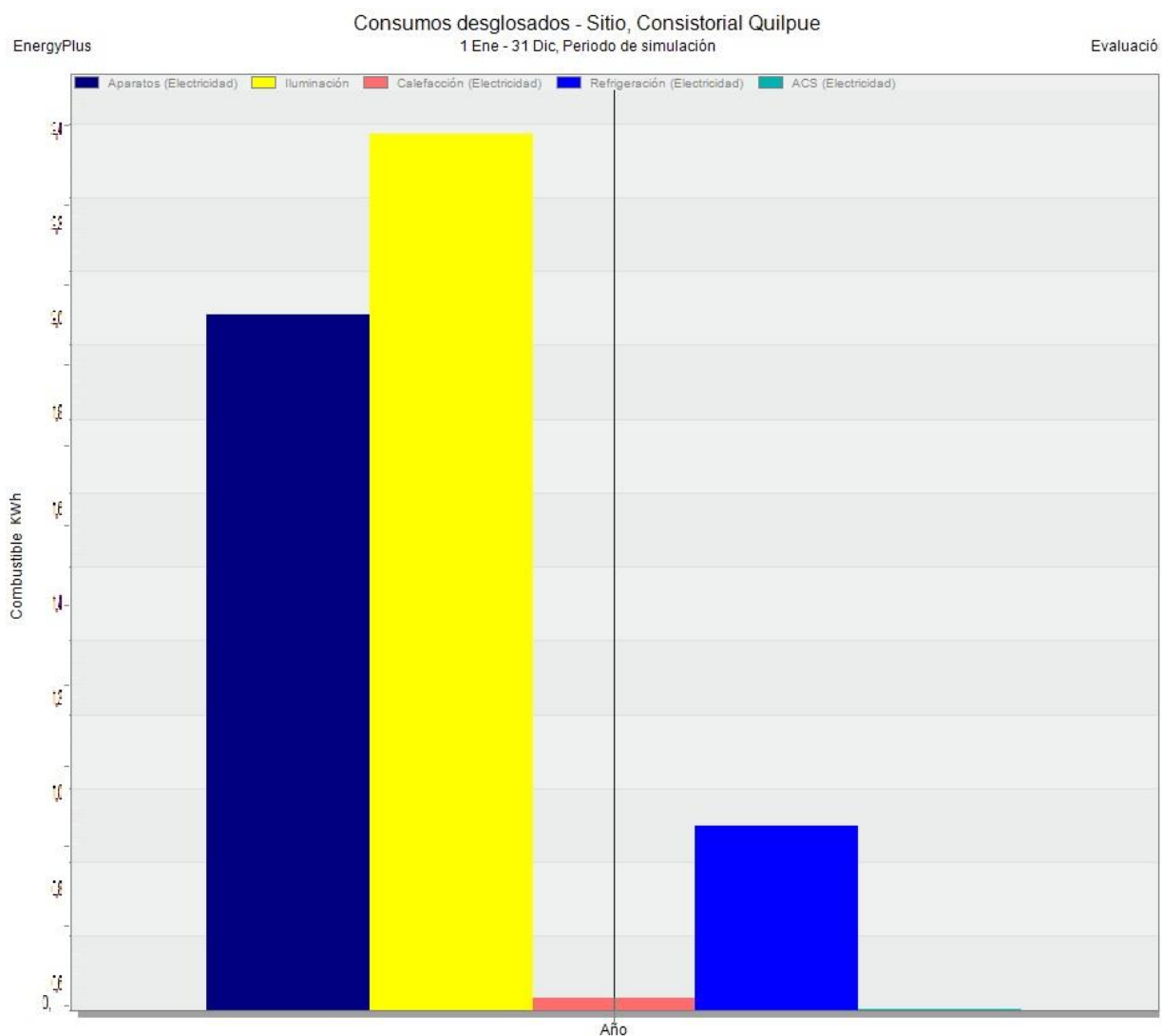
Fuente: Elaboración propia (2023)

Del gráfico se desprende que el consumo total anual energético del edificio comprende los 194.114 KWh.

6.2.3.1 Consumo energético desglosado

En el gráfico anterior, se muestra el dato global. Como el interés está en los gastos asociados directos a los consumos de climatizadores y enfriadores, se adjunta el siguiente gráfico con los datos de consumo desglosados:

Figura 6.8 Consumo total desglosado



Fuente: Elaboración propia (2023)

Del gráfico se desprenden los siguientes datos:

Tabla 1.3 Consumo total desglosado

Consumo energético KWh	%	Total anual kWh
Aparatos	19	36.881
Iluminación	54	104.821,56
Refrigeración	17	32.999,38
Calefacción	10	19.411,4

Fuente: Elaboración propia con datos extraídos del programa Design Builder, 2023.

Si traspasamos estos valores numéricos a valores monetarios, se debe identificar el valor activo para dimensionar el valor KWh, teniendo un promedio de \$137 pesos chilenos, se hace la conversión teniendo los siguientes resultados:

Consumo total anual: \$26.593.618 de los cuales:

Refrigeración anual: \$4.520.915,06

Calefacción anual: \$2.659.361,8

Estos valores serán útiles al momento de comparar los resultados de la simulación del edificio con los pozos canadienses incluidos, cuyo análisis se presenta a continuación.

6.3 Modelación de sistema “Pozos canadienses”

Según Design builder un tubo de tierra es una tubería larga y subterránea de metal o plástico a través de la cual se extrae aire. Durante la temporada de enfriamiento, a medida que el aire viaja a través de la tubería, cede parte de su calor al suelo circundante y entra en la habitación como aire más frío. Del mismo modo, durante la temporada de calefacción, a medida que el aire viaja a través de la tubería, recibe parte de su calor del suelo y entra en la habitación como aire más caliente. Los tubos de tierra simples en EnergyPlus se pueden controlar mediante un programa y mediante la especificación de temperaturas mínimas, máximas y delta. Al igual que con la infiltración y la ventilación, el caudal real de aire a través del tubo de tierra puede modificarse por la diferencia de temperatura entre el ambiente interior y exterior y la velocidad del viento.

Según el informe de mecánica de suelos del edificio consistorial de Quilpué, el terreno, presenta una estratigrafía heterogénea con estratos predominantemente arenosos de alta compacidad y en algunos sectores estratos arenosos cementados. Este dato es útil al momento de ingresarlo en el programa para que la simulación sea lo mas real posible. Además del tipo de suelo en el que nos encontramos, se debe analizar la temperatura que se encuentra a un par de metros de profundidad. Para ello, como se menciona en un comienzo de este proyecto, el gradiente geotérmico nos indica que a unos 3 metros de profundidad la temperatura aumentaría en $1,5^{\circ}\text{C}$ (energía.gob.cl, s.f.), esto quiere decir, que, si la temperatura promedio de la zona estudiada (Quilpué) es de $14,5^{\circ}\text{C}$ (Data, s.f.), la temperatura bajo tierra es de 16°C .

6.3.1 Datos para la propuesta

Luego de conocer datos se debe seleccionar un HVAC, su significado en español, calefacción, ventilación y aire acondicionado.

En el programa se selecciona Bomba de calor unitaria

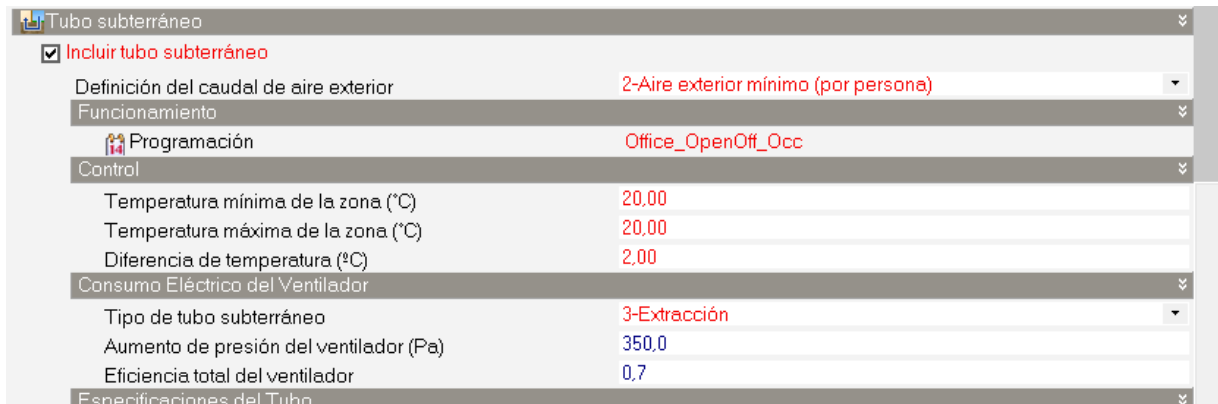
Figura 6.9 HVAC



Fuente: Elaboración propia, 2023

El software ofrece la opción de tubos enterrados, donde los simula automáticamente.

Figura 6.9.1 Tubo subterráneo

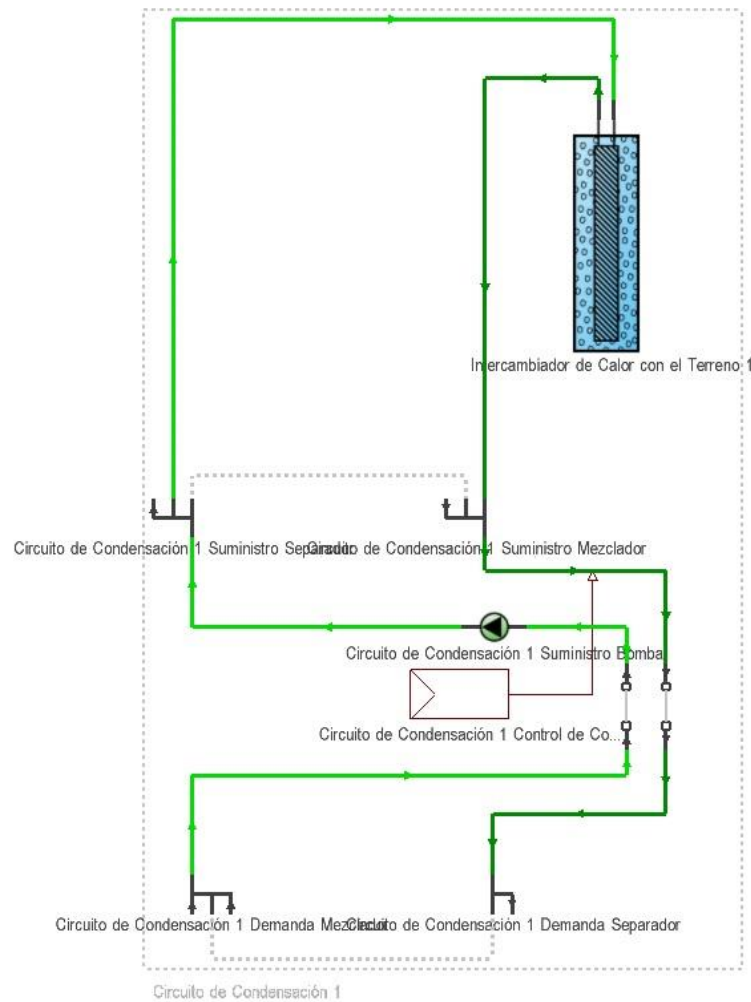


Fuente: Elaboración propia, 2023.

El cálculo de sistemas de tubos enterrados se fundamenta en determinar la superficie total de transferencia necesaria para el intercambio de calor, jugando con los valores como sección y diámetro de la tubería, velocidad del aire y caudal de circulación. Todos estos parámetros están ligados al volumen del espacio a ventilar (Cabezas, 2012).

Se puede establecer la cantidad, el tiempo y el control de la entrega de aire exterior a través de los tubos de tierra de la misma manera que para la ventilación mecánica, los datos de definición del aire exterior se utilizan para calcular la cantidad máxima de caudal másico de aire del tubo de tierra esperada en condiciones de diseño. Para este caso se propone enterrar los tubos en el subterráneo, evitando en si una cantidad de excavación y aprovechando los metros de profundidad que este nivel otorga. En el software se procede a incorporar el intercambiador del calor con el terreno. Se presenta a continuación la configuración del sistema

Figura 6.9.2 HVAC intercambiador tierra-aire

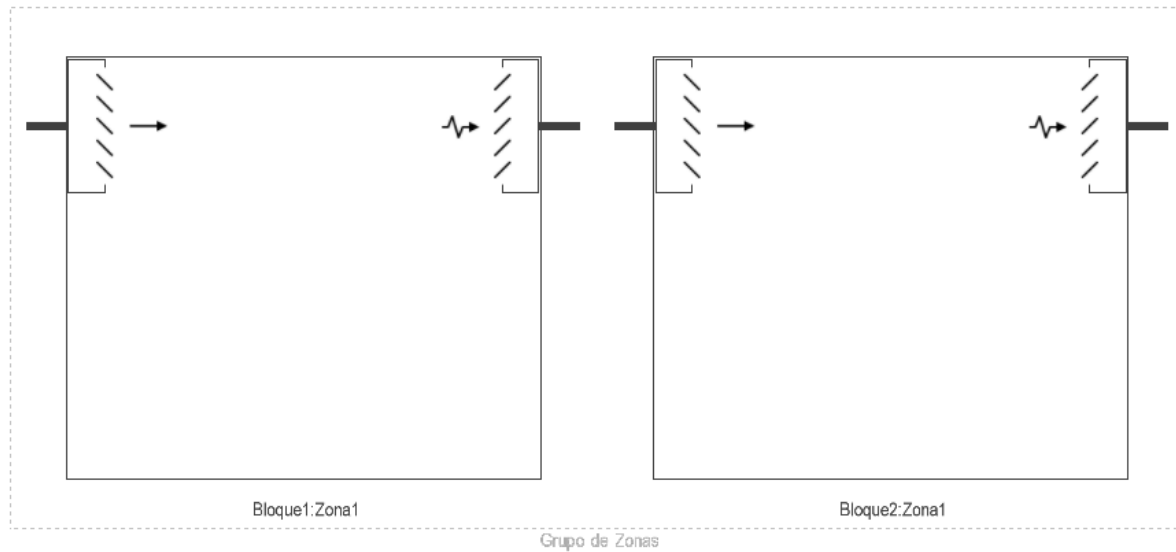


alización	Diseño de calefacción	Diseño de refrigeración	Simulación	CFD	Iluminación Natural	Coste y Carbono
-----------	-----------------------	-------------------------	------------	-----	---------------------	-----------------

Fuente: Elaboración propia (2023)

Se debe determinar dentro del programa el grupo de zonas a conectar con el circuito de aire unitario, el edificio en estudio cuenta con 50 zonas dentro de las cuales se encuentran 35 oficinas, 5 salas de reuniones y 5 auditorios, las zonas restantes corresponden a laboratorios, hall principal, salones multiusos y espacios sin requerimiento de ventilación forzada.

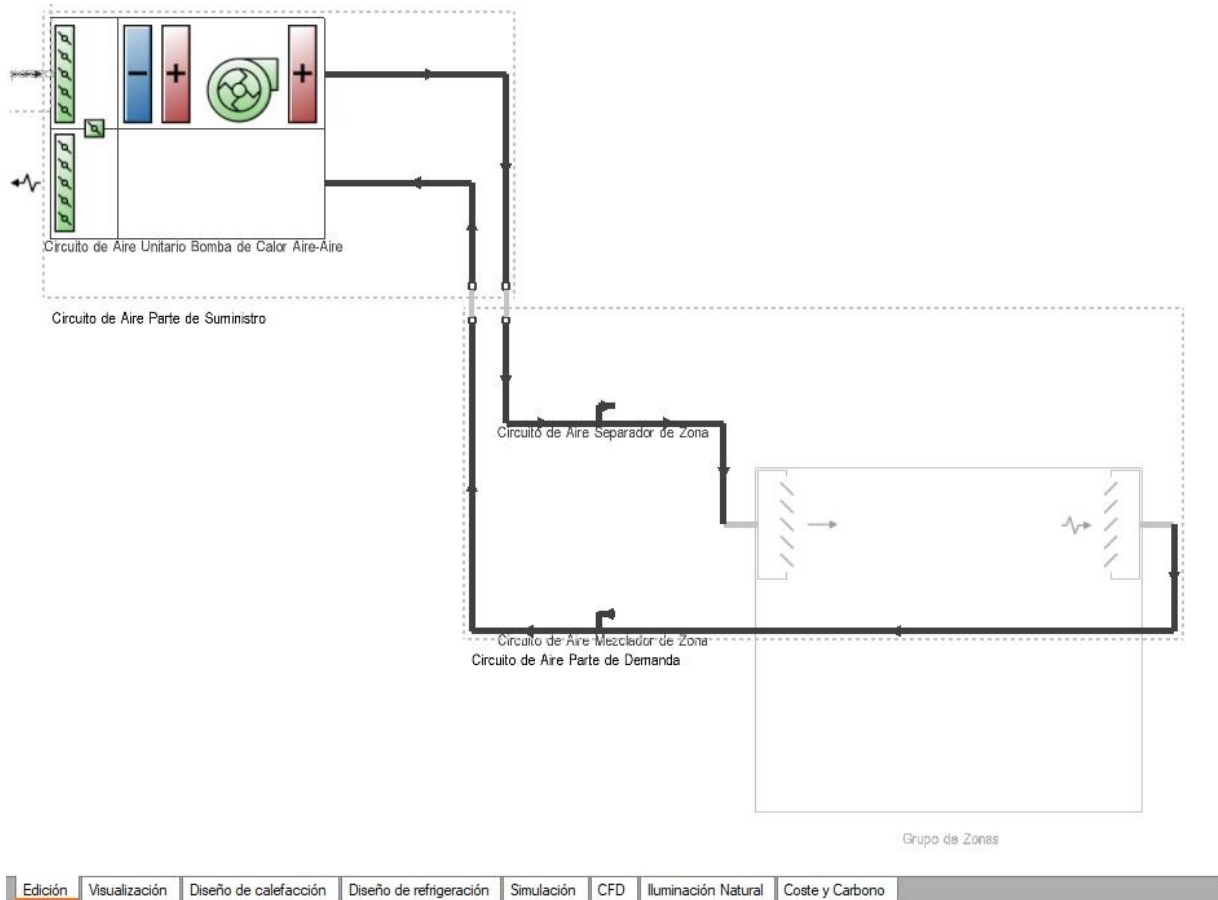
Figura 6.9.3 Conexión zonas



Fuente: Elaboración propia, 2023

Cada zona cuenta con un VAC sin recalentamiento predeterminado por el programa, para la circulación del aire. Estos grupos de zona a su vez van conectados con un circuito de aire unitario Bomba calor aire-aire, como se presenta en la siguiente figura.

Figura 6.9.4 Circuito de aire unitario conectado con zonas seleccionadas



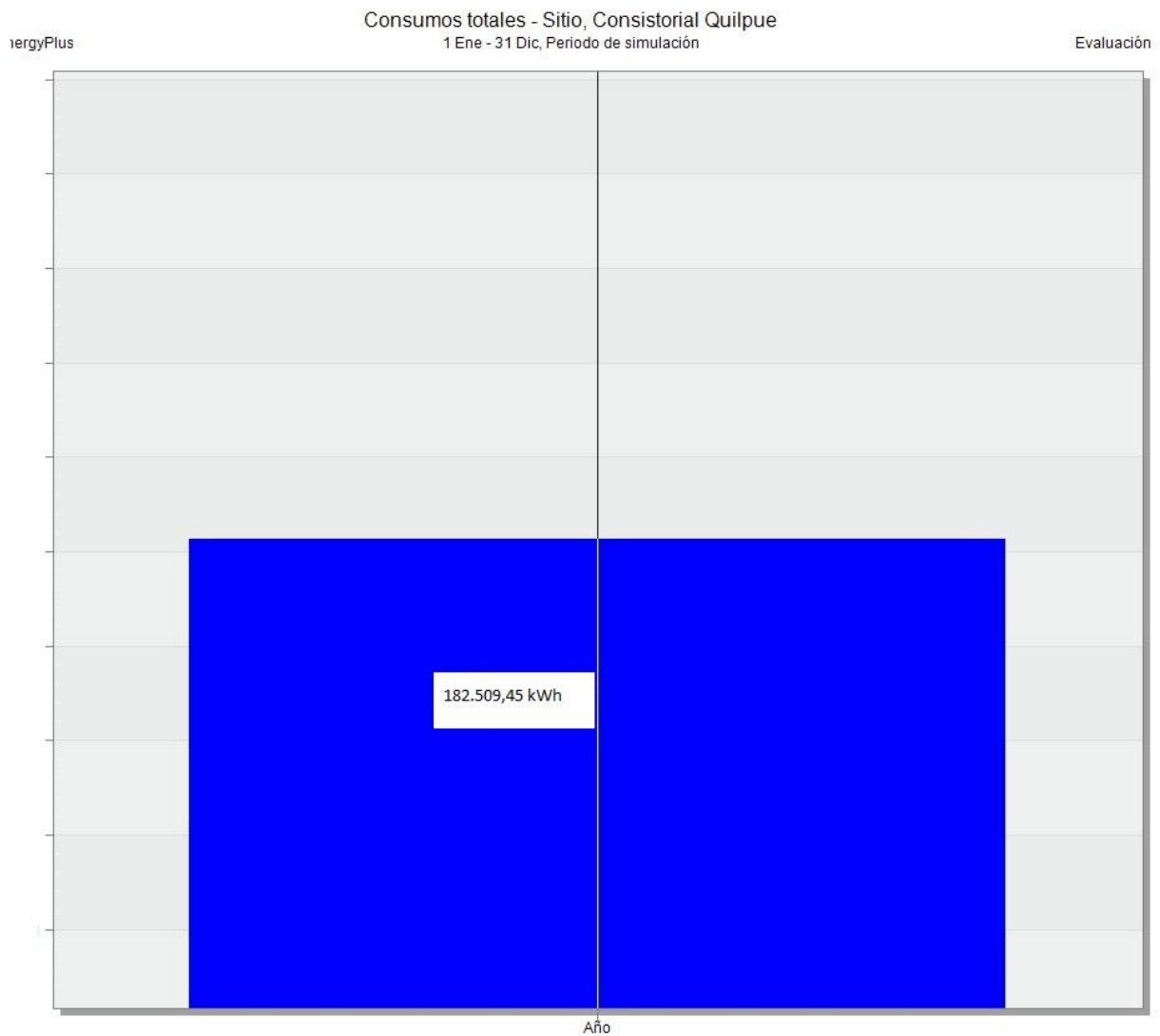
Fuente: Elaboración propia (2023)

6.4 Simulación con propuesta incluida

Luego de realizar la configuración del sistema en el programa se procede a simular para obtener resultados para la comparación con el edificio en estudio.

6.4.1 Consumo total Edificio

Figura 6.9.5 Consumo total edificio en estudio incluido pozos canadienses.

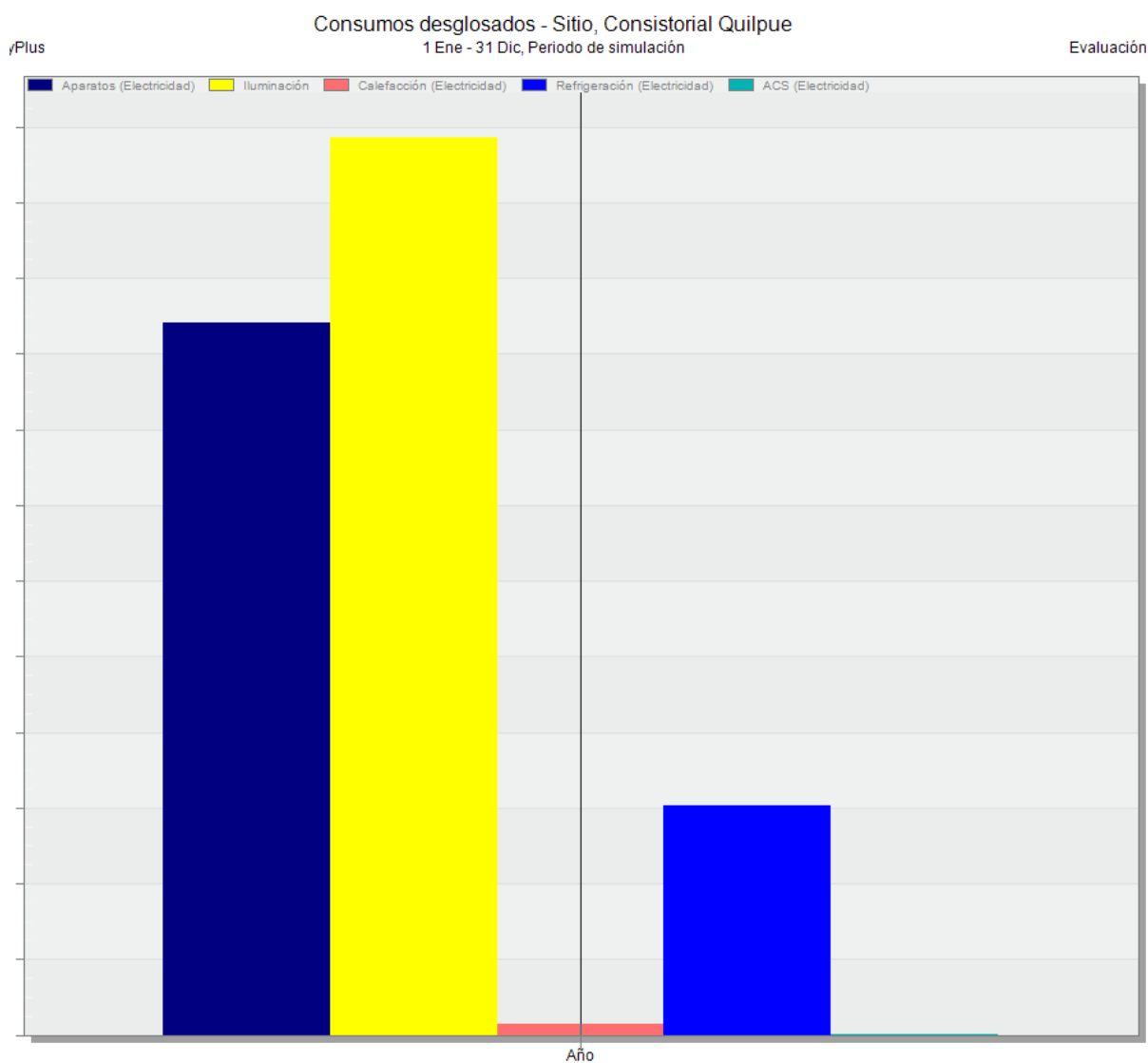


Fuente: Elaboración propia (2023)

El programa nos arroja un resultado de consumo total anual energético de 182.509,45 kWh, se puede inferir que el sistema de tubos enterrados si aporta a la disminución de consumo energético.

6.4.2 Consumo anual desglosado

Figura 6.9.6 Consumo desglosado incluidos tubos enterrados



Fuente: Elaboración propia (2023)

Del gráfico anterior se desprende la siguiente información:

Tabla 1.4 Consumos total desglosado anual

Consumo energético KWh	%	Total anual
Aparatos	20,27	36.994,6655
Iluminación	57,63	105.180,196
Refrigeración	13,03	23.780,9813
Calefacción	9,07	16.553,6071
	TOTAL	182.509,45 kWh

Fuente: Elaboración propia con datos extraídos de Design Builder (2023)

Tabla 1.5 Comparación edificio estudio con edificio simulado incluida la propuesta Anual

Consumo energético kWh	Edificio estudio	Edificio simulado	% disminución	\$EDIF. ESTUDIO	\$EDIF. SIMULADO
Refrigeración	32.999,38 kwh	23.780,9813 kwh	27,94 %	4.520.915	3.257.994
Calefacción	19.411,4 kwh	16.553,6071 kwh	14,72%	2.659.361	2.267.844

Fuente: Elaboración propia (2023)

6.5 Análisis de resultados.

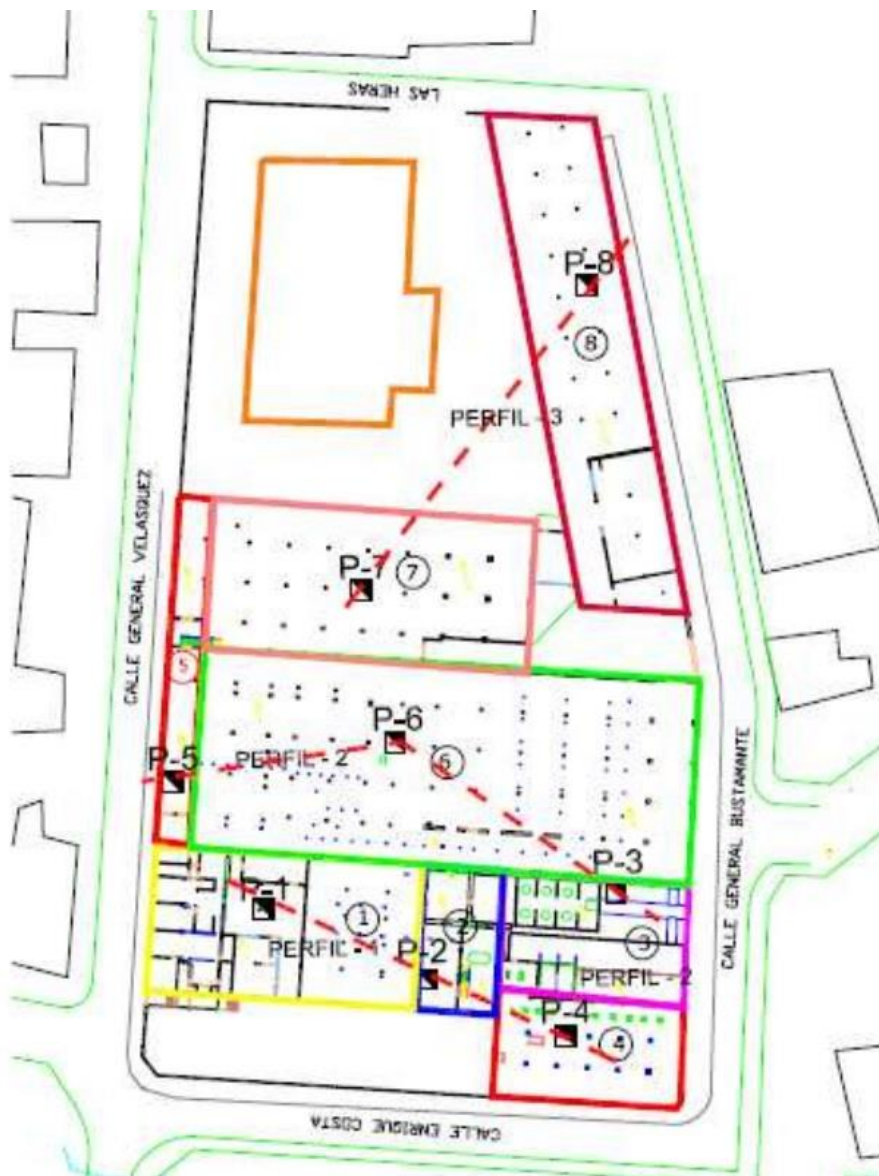
Al realizar las simulaciones, el análisis previo, es positivo con respecto a la disminución de consumos en kWh, obteniendo una disminución de un 5,98% en consumo total anual. Se puede visualizar una baja en el consumo directo climatizadores, de refrigeración como de calefacción. Si bien esta disminución es considerable anualmente, se deberá tomar la decisión de si es o no una buena propuesta mediante el análisis presupuestario.

CAPÍTULO VII: Especificaciones técnicas pozos canadienses

Como ya se ha mencionado anteriormente, un pozo canadiense está compuesto por una serie de tubos colocados a una profundidad determinada.

Para determinar la profundidad se debió consultar al informe de estudio de mecánica de suelos del proyecto. La siguiente imagen muestra la distribución de los edificios que componen el edificio completo.

Figura 7.1 Vista general planta de edificaciones conformantes del edificio consistorial de Quilpue



Fuente: (Eecolab, 2015)

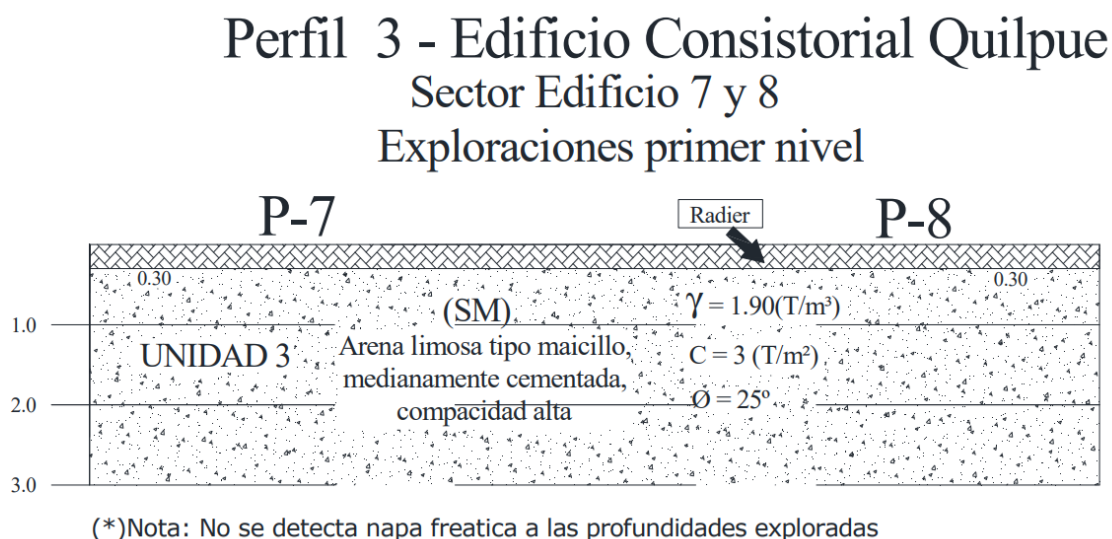
Tabla 1.6 Antecedentes mecánica de suelos

Exploración N°	Profundidad (m)	Fecha ejecución	Nivel de napa (m)
P-1	2.50	23-03-2015	1.70
P-2	2.30	23-03-2015	1.80
P-3	2.70	21-03-2015	1.80
P-4	2.60	25-03-2015	1.70
P-5	2.60	25-03-2015	1.80
P-6	2.00	24-05-2015	2.00
P-7	3.00	19-03-2015	No se detecta
P-8	3.00	18-03-2015	No se detecta

Fuente: (Eecolab, 2015)

Dada la información que se desprende de la tabla anterior, es que se decide realizar los pozos en el sector P-7 y P-8, esto debido a que a 3 metros de profundidad no se detecta napa freática. Por lo tanto el nivel de profundidad para este proyecto es de 2,5 metros.

Figura 7.2 Perfil edificios 7 y 8



Fuente: (Eecolab, 2015)

Se presenta a continuación imagen de referencia de la ubicación de los pozos canadienses en el Edificio consistorial de Quilpué

Figura 7.3 Identificación del sector a proyectar el sistema de tubos canadienses (P-7)



Fuente: Elaboración propia con planos de Eltit arquitectos. (2023)

7.1 Los componentes del sistema:

REHAU es una compañía multinacional con sede en Suiza, y central global de operaciones en Alemania, dedicada a la transformación de polímeros para los sectores de automoción, construcción, e industria. Esta empresa es líder en proporcionar kit para la instalación de intercambiadores geotérmicos aire-tierra. Como se ha mencionado anteriormente, Chile no cuenta con normas para este tipo de instalaciones, sin embargo, estas especificaciones tomarán como referencia las normas VDI 4640, DIN 1946, UNE EN 16798, VDI 6022. Según la norma VDI 4640, un ICAT debe tratarse como un sistema de ventilación y aire acondicionado. Por lo tanto, deben tenerse en cuenta para los distintos campos de aplicación en particular los requisitos de la norma DIN 1946 y de la norma UNE EN 16798, así como los requisitos de la norma VDI 6022 desde el punto de vista de la higiene. Las instalaciones ICAT son adecuadas para el fluido caloportador aire.

Se detalla a continuación los componentes del sistema:

- Unidades de aspiración, las dimensiones de la unidad de aspiración deberán estar adecuadas al tubo del ICAT conectado y a la pérdida de carga admisible.

En cuanto a la altura de aspiración, la norma EN 16798 señala 1,5 veces la capa de nieve prevista cada año. En lo que respecta a la ubicación de la aspiración de aire exterior hay que seguir la norma VDI 6022, hoja 1, y la norma UNE EN 16798. En esta normativa se especifica que la calidad del aire aspirado debe ser la mejor posible y se exige que la aspiración se produzca en puntos en los que el aire exterior esté lo menos contaminado posible. Según la norma VDI 4640, el aire aspirado se considera además un nutriente.

Por esta razón hay que tener en cuenta los puntos siguientes a la hora de elegir la ubicación de la aspiración de aire exterior:

- proximidad a calles (carga por tráfico de la calle)
- proximidad a árboles/arbustos de hoja caduca
- proximidad a salidas de aire de cualquier tipo
- dirección principal del viento y ubicación de posibles instalaciones que alteran los olores
- cercanía a edificio

Es necesario un filtro previo en la estructura de aspiración para proteger contra la entrada de sustancias no deseadas. Un filtro grueso es suficiente para reducir la carga de polvo en el ICAT; si es necesario, se puede integrar en la unidad de aspiración una combinación de filtro grueso y medio o fino. La norma VDI 3803 sugiere dos etapas de filtrado para el sistema completo compuesto por el ICAT y el aparato de ventilación convencional, de las cuales, por ejemplo, una puede estar ubicada en la unidad de aspiración y la otra en el aparato de ventilación convencional. En esta norma se especifica el acero inoxidable como material para la torre de aspiración.

El edificio en estudio está entre el rango de 1500m³/h a 6.500m³/h por lo que se sugiere utilizar la unidad de aspiración AWADUKT Thermo DN 630. (Ver anexo 2)

El uso de filtros en la unidad de aspiración puede cumplir varias funciones. Así, se pueden utilizar para proteger el ICAT filtros gruesos, que impide la aspiración de sustancias no deseadas. También es posible prefiltrar o de mejorar el filtrado previo con filtros medios o finos.

Según norma VDI 6022 el tubo, debe estar hecho de un material de poro cerrado, no debe emitir sustancias perjudiciales para la salud ni olores, el material no debe absorber humedad y debe evacuar con seguridad el agua de condensación que se forma en verano.

Las normas DIN 1946 y VDI 4640 el material del tubo debe de ser estanco, para que no pueda penetrar agua en el sistema desde el exterior y resistente a la corrosión. Según la norma VDI 4640-4, los materiales óptimos son los polímeros como el PP (polipropileno) o el PE (polietileno), el hormigón y el fibrocemento. La facilidad de manipulado en la obra, gracias a su bajo peso, las grandes longitudes de suministro, mayormente de 6 m, en comparación con el hormigón, y la resistencia a las deformaciones distinguen a los polímeros de otros materiales denominados resistentes a la torsión (como por ejemplo el hormigón) (REHAU)

Según análisis se sugiere utilizar Set de filtro F6/G2 torre DN630.

De los tubos de intercambiadores de calor, se sugieren por las dimensiones del edificio en estudio:

-AWADUKT Thermo pipe dim.315mm - dim 3000mm

-AWADUKT Thermo pipe dim.315mm - dim 1000mm

-AWADUKT Thermo pipe dim.200mm - dim 3000mm

De las descargas de condensados. En la norma VDI 6022 se describe repetidamente la temática del condensado en las instalaciones de ventilación y aire acondicionado. Es evidente que debe garantizarse una evacuación rápida del condensado del flujo de aire. En particular, la norma VDI 6022, hoja 1, exige que el condensado se evacue de forma rápida y completamente. (Rehau, 2015)

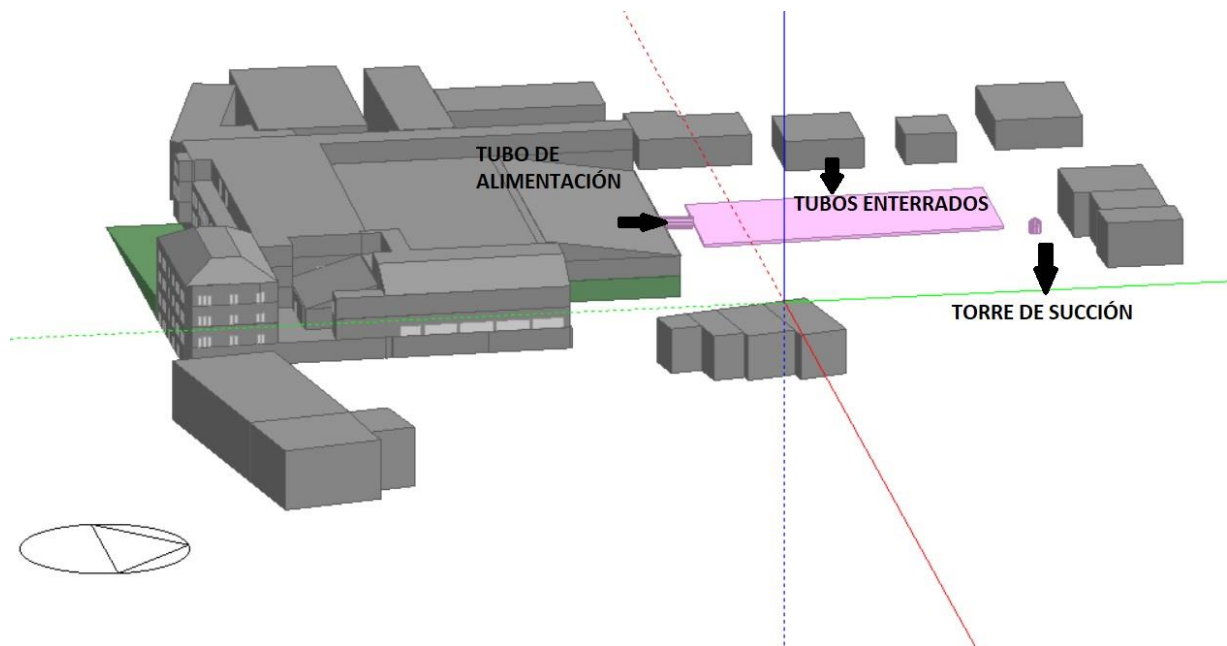
Para garantizar una evacuación lo más rápida posible del condensado se deben tender los tubos del sistema ICAT con una pendiente del 2 - 3%. Además, son necesarios componentes adecuados para conducir el condensado fuera del flujo de aire.

Se sugiere utilizar AWADUKT Thermo diámetro 315-200 mm.

A partir de los antecedentes recolectados de los componentes del sistema es que se realiza un esquema en donde se ejemplifica donde estaría ubicado el sistema con su respectiva torre de succión y tubo que sería el responsable de proveer de climatización necesaria a la edificación.

A continuación, se presenta una figura con lo explicado anteriormente

Figura 7.4 Identificación sectorial de la ubicación del sistema



Fuente: Elaboración propia (2023)

Tabla 1.8 Consumo total anual comparativa

Consumo energético kWh	Edificio estudio	Edificio simulado	% disminución	\$EDIF. ESTUDIO	\$EDIF. SIMULADO
Refrigeración	32.999,38 kwh	23.780,9813 kwh	27,94 %	4.520.915	3.257.994
Calefacción	19.411,4 kwh	16.553,6071 kwh	14,72%	2.659.361	2.267.844

Fuente: Elaboración propia (2023)

Ahorro en refrigeración con pozos: \$1.262.921

Ahorra en calefacción con pozos: \$391.517

Total: \$1.654.438

CAPITULO VIII: Conclusión

Según lo calculado la cantidad el costo total de la implementación de los pozos y el monto ahorrado anual en refrigeración y calefacción, nos daría un tiempo de recuperación de inversión elevado, por lo que a pesar de ser un buen sistema su alto costo inicial es un problema, ya que al enfrentarnos a napas freáticas, en los puntos que en un comienzo se habían previsto para la instalación, se tuvieron que cambiar por la presencia de la misma, lo que conlleva a concluir que a pesar de ser un buen sistema, la envolvente térmica del edificio es eficiente de manera integrada su arquitectura, tanto en aislaciones como de control solar y en el permitir luz y ventilación natural, y como se mencionó anteriormente la presencia de napas freáticas hacen que este sistema para este edificio en particular no sea una solución llamativa para la disminución de costos en cuanto a gastos de calefacción y refrigeración.

CAPÍTULO IX: Propuestas

Al analizar los resultados que nos arroja el software, mas el análisis presupuestario, la alternativa de pozos canadienses no logra ser llamativa ya que se esperaba al menos un 80% de reducción en los gastos de refrigeración y al menos un 20% en calefacción, dándonos resultados entre un 25 y 15 % aproximado respectivamente. Se realizó un análisis teórico de los pozos, y afrontándonos al emplazamiento del edificio en estudio que se proponen otros dos escenarios contemplando la misma edificación con los mismos datos climáticos.

Las propuestas serán las siguientes:

1. Edificio consistorial con agotamiento de napas freáticas
2. Edificio consistorial con doble sistema de pozos canadienses.

A continuación, se realizará el estudio de la primera propuesta, la cual implicará estudio completo del edificio mas los cálculos de los agotamientos de napas ubicadas en sectores específicos del predio, para luego realizar la segunda propuesta y generar un análisis referente a este sistema de climatización.

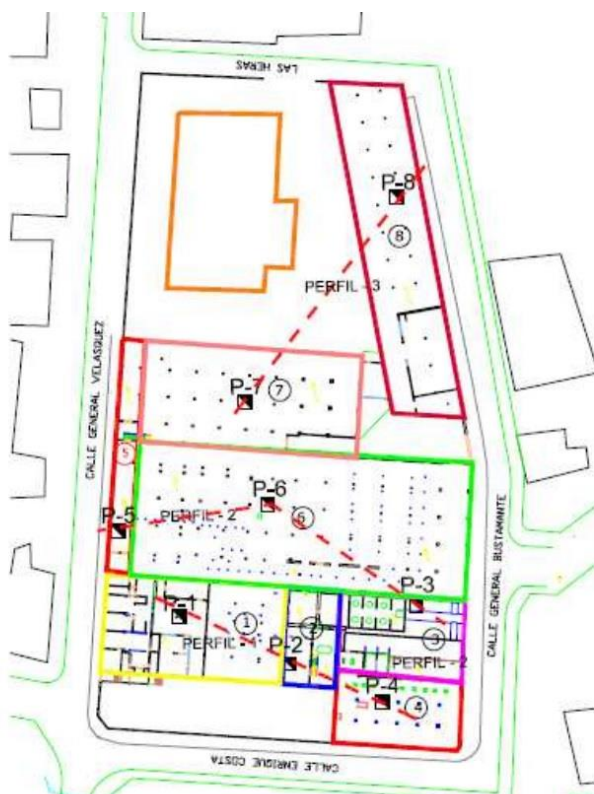
9.1 Propuesta 1: Edificio Consistorial con agotamiento de napas freáticas

Para dar inicio a este análisis es importante reunir toda la información referente al estudio de mecánica de suelos para identificar en que sectores específicos se encuentran estas napas y sus dimensiones.

Cabe señalar como se ha mencionado anteriormente en este informe, el edificio consistorial de Quilpué es una rehabilitación estructural con valor patrimonial, la cual buscó modificar parcialmente algunos sectores de la edificación, sin modificar mayormente las estructuras principales. (Eecolab, 2015)

El área de este proyecto está conformada por 8 edificios de dos a tres niveles como se muestra en la siguiente figura

Figura 9.1 Vista general de los 8 edificios conformantes del edificio consistorial de Quilpué



Fuente: (Eecolab, 2015)

El informe de mecánica de suelos, nos indica que se realizaron exploraciones de suelos correspondientes al sector de emplazamiento, mas específicos 8 calicatas.

“La calicata es la excavación de un pozo prueba para observar directamente la superficie de un terreno y tomar una muestra para analizar la composición y naturaleza del suelo” (Lifeder, 2021)

La profundidad de las calicatas depende del alcance de la exploración; está limitada por el nivel freático del suelo. Es decir, la altura del pozo dependerá de la distancia a la que está el agua en el subsuelo, con la superficie del terreno como referencia. (Lifeder, 2021)

Como se mencionó en los párrafos anteriores, dentro del estudio de mecánica de suelo se realizaron 8 calicatas las cuales se detallan a continuación

Figura 9.2 Detalle de 8 calicatas exploradas

Exploración N°	Profundidad (m)	Nivel de napa (m)
P-1	2.50	1.70
P-2	2.30	1.80
P-3	2.70	1.80
P-4	2.60	1.70
P-5	2.60	1.80
P-6	2.00	2.00
P-7	3.00	No se detecta
P-8	3.00	No se detecta

Fuente: (Ecolab, 2015)

Se indica en el informe que las calicatas P-1 a la P-6 se realizaron a partir del nivel del subterráneo, además se agrega que el terreno explorado presenta una estratigrafía heterogénea con estratos predominantes arenosos de alta compacidad y en algunos sectores estratos arenosos cementados.

Es necesario precisar que en la simulación realizada al comienzo de este proyecto se le otorgó el espacio para el sistema de tubos canadienses la ubicación P-7 y P-8, en donde no se encontraban estas napas, por lo que se analizaran las napas ubicadas en las calicatas restantes, vale decir P-1 a P-6.

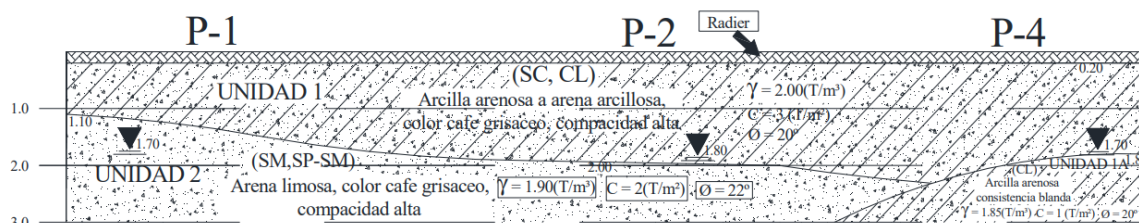
A continuación, se presenta esquemáticamente exploraciones realizadas en los distintos sectores del edificio.

Figura 9.3 Perfil 1, edificios 1, 2 y 4

Perfil 1- Edificio Consistorial Quilpue

Sector Edificio 1, 2 y 4

Exploraciones sector subterráneo



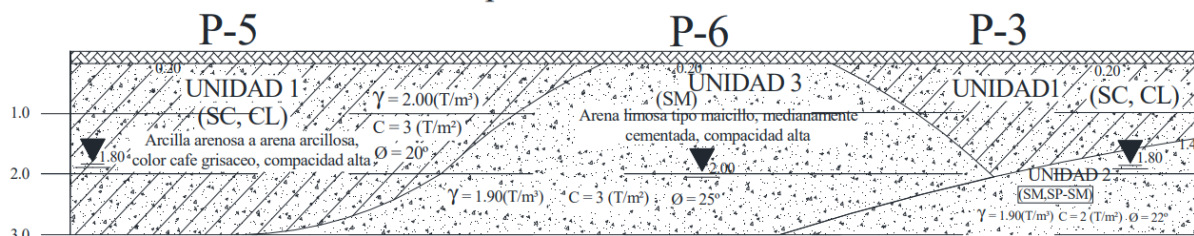
Fuente: (Eecolab, 2015)

Figura 9.4 Perfil 2, edificios 5, 6 y 3

Perfil 2 - Edificio Consistorial Quilpue

Sector Edificio 5, 6 y 3

Exploraciones sector subterráneo



Fuente: (Eecolab, 2015)

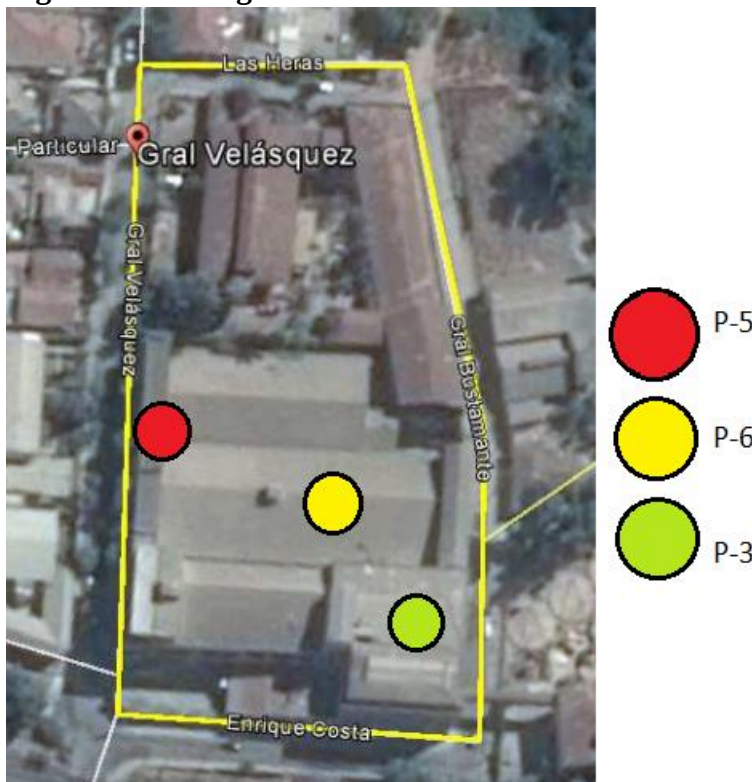
Las exploraciones realizadas en sector edificio 7 y 8 no se detectan napas freáticas (ver figura 7.2, capítulo VII)

Antes de dar comienzo a la simulación es necesario conocer las dimensiones de las napas y en que sector resulta mas conveniente agotar, todo esto bajo las restricciones que tiene el sistema de tubos enterrados.

Para ello se deberá presupuestar nuevamente todas las obras implicadas y finalmente tomar una decisión. Se comenzó el estudio de la propuesta buscando respuesta a la principal condición de un tubo canadiense, el espacio. Al analizar el predio del edificio es que se tuvo que ir descartando sector por sector, debido a que se necesitan cantidades de metros disponibles para la colocación del sistema.

En primer lugar, se analizaron los sectores P-5, P-6 y P-3, los cuales se descartan de manera inmediata ya que no cuenta con espacio suficiente para la colocación del sistema, a continuación se presenta la imagen que identifica cada uno de los sectores analizados.

Figura 9.5 Vista general edificio Consistorial con identificación de sectores P-6, P-5 y P-3



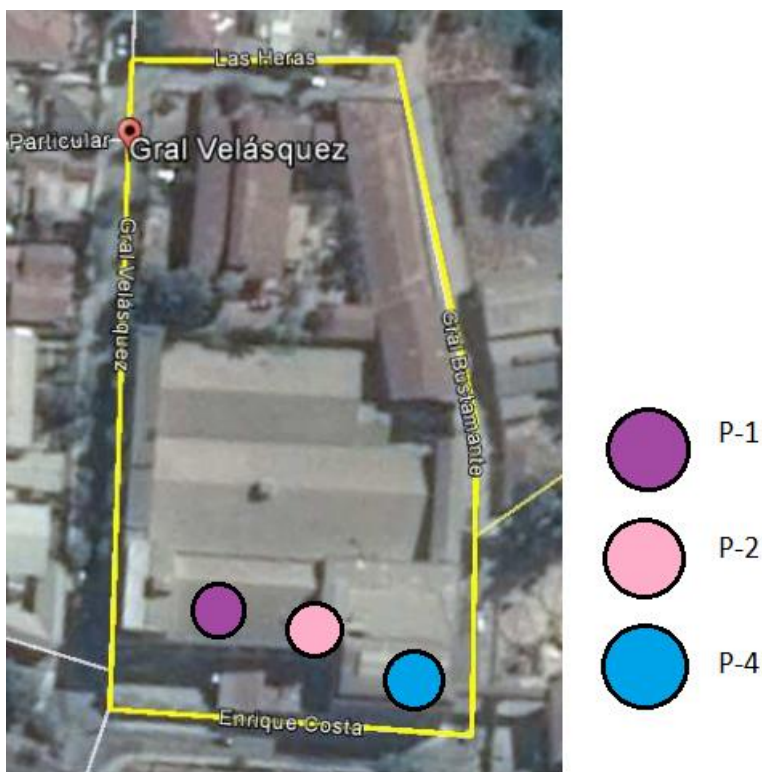
Fuente: Ubicación Edificio Consistorial de Quilpué, Google Earth, elaboración propia (2023)

Se descartan estos sectores puesto que no se tiene espacio para la toma de aire y para la red de tubos.

Podrían realizarse bajo del nivel subterráneo, pero eso implicaría complicaciones al momento de realizar las mantenciones al sistema, ya que no existiría una vía expedita para aquella mantención.

Se realiza mismo procedimiento para los sectores P-1, P-2 y P-4, cuyas ubicaciones se muestran a continuación.

Figura 9.6 Vista general edificio Consistorial con identificación de sectores P-1, P-2 y P-4

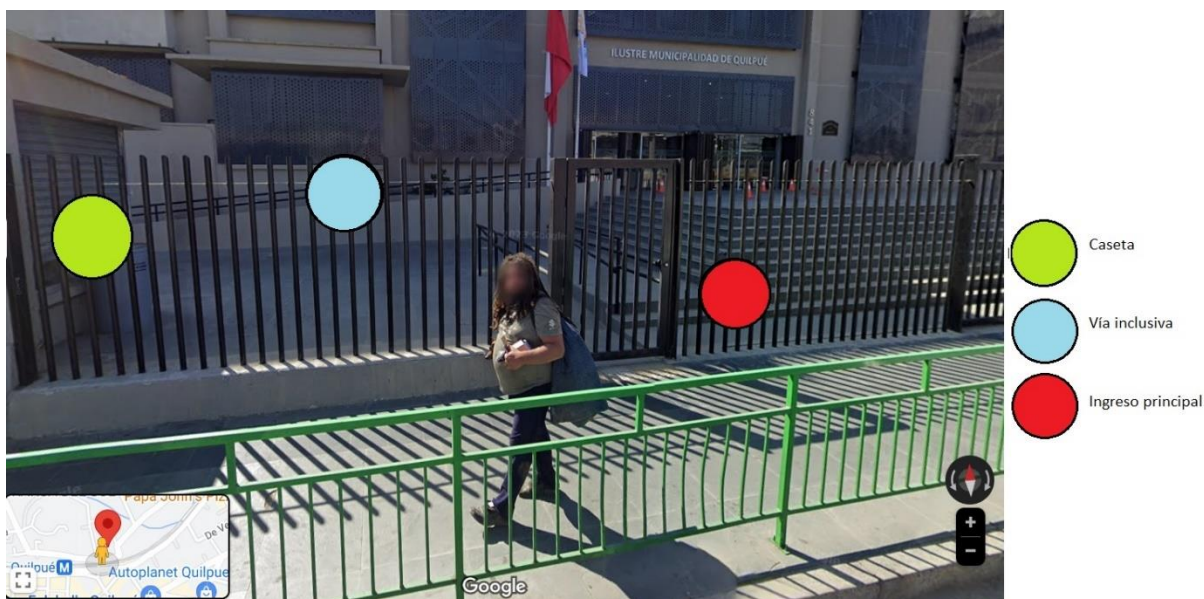


Fuente: Ubicación Edificio Consistorial de Quilpué, Google Earth, elaboración propia (2023)

Estos sectores, por su ubicación, podrían ser agotados para la colocación del sistema, sin embargo, la toma de aire se vería complicada ya que el espacio que se contemplaba para aquello, se ve imposibilitada ya que valga la redundancia, ese espacio corresponde a la entrada principal, con una vía inclusiva y una caseta para el guardia del edificio.

A continuación se presenta la imagen que ejemplifica lo señalado.

Figura 9.7 Vista frontal edificio Consistorial de Quilpué con identificación de sectores



Fuente: Ubicación Edificio Consistorial de Quilpué, Google Maps, elaboración propia (2023)

9.1.1 Análisis propuesta 1

A partir de lo señalado anteriormente, es que se descarta el agotamiento de napas, ya que a pesar de que se puede realizar, el espacio requerido para la red de tubos se ve imposibilitado.

El sistema de tubos requiere a lo menos 45 metros de longitud y al menos unos 60 metros de ancho, además de que la toma de aire se debe ubicar en un espacio con restricciones que se mencionaron en el capítulo VII de las especificaciones técnicas.

La propuesta 1 se rechaza por las condiciones que el sistema de tubos requiere, el espacio.

A continuación, se presenta la segunda propuesta, Edificio consistorial con doble sistema de pozos canadienses con funcionamientos independientes.

9.2 Propuesta 2: Edificio consistorial con doble sistema de pozos canadienses.

Para dar inicio al estudio de esta propuesta es que se debe realizar la simulación nuevamente con los archivos climáticos y tipos de envolventes que se designaron desde un principio.

Recordar que el sector en que se realizó la primera simulación (Edificio consistorial de Quilpué con pozos canadienses) fue el sector P-7, espacio en donde no se detecta napa freática.

Se propone esta vez, considerar otro sistema de pozos en el sector P-8 de forma simultánea, para tener en esta simulación 2 tomas de aire.

Se presenta a continuación un esquema básico de como irían los sistemas colocados de manera paralela para la alimentación de las zonas que requiere el edificio.

Figura 9.8 Esquemmatización de pozos en forma paralela



Fuente: Elaboración propia a planos de Eltit Arquitectos. (2023)

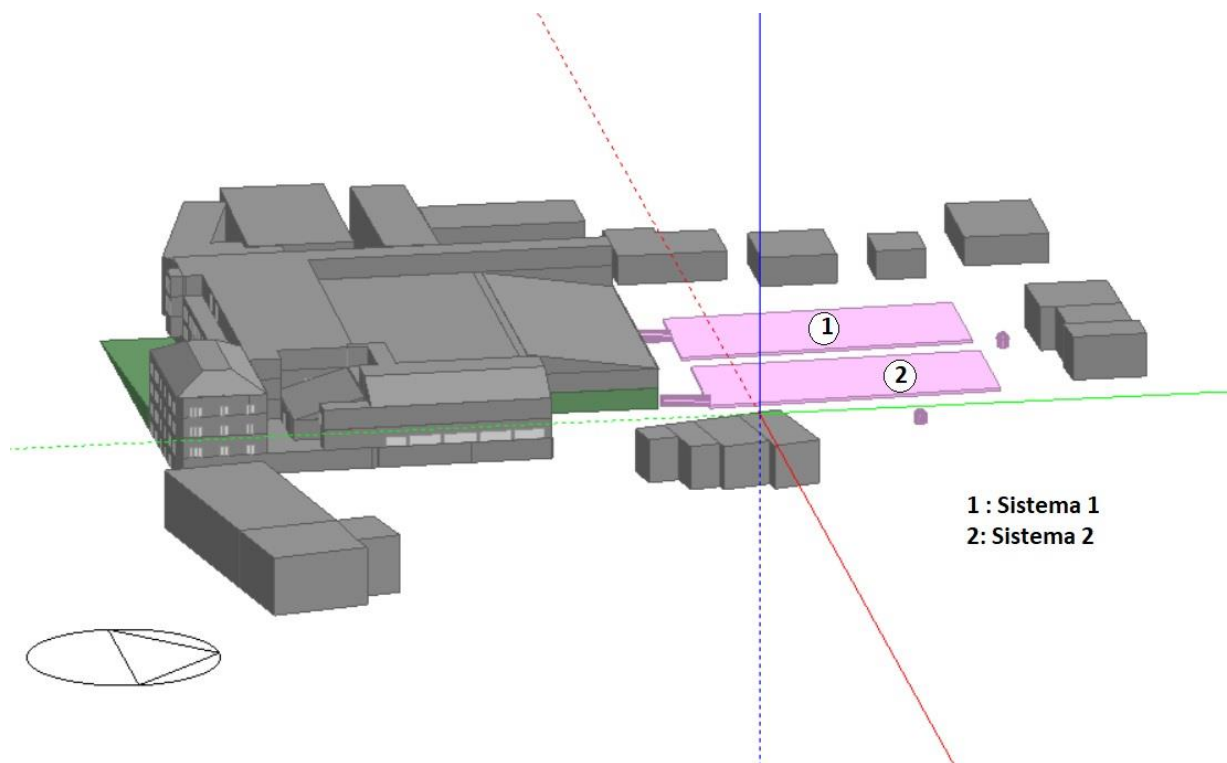
9.2.1 Simulación propuesta 2

Como se mencionó anteriormente, los datos tanto de archivos climáticos como de envolventes se mantienen, lo que ahora se cambia es la dotación de los sistemas.

En un principio de esta investigación, el único sistema simulado suministraba las necesidades de climatización a todo el edificio, lo que se cambia en esta propuesta es la distribución de ahora dos suministros, separando el edificio en 7 sectores.

A continuación, se ejemplifica la propuesta con la identificación de los dos sistemas.

Figura 9.9 Propuesta de dos sistemas

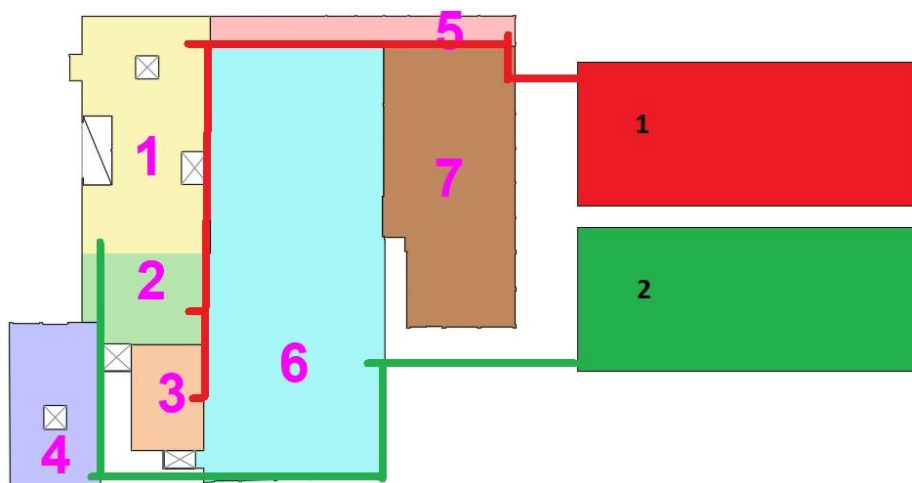


Fuente: Elaboración propia (2023)

Ahora que se definieron los sectores de los sistemas que tienen funcionamientos independientes, es que se les asignan a cada uno de ellos partes conformantes del edificio.

La siguiente imagen muestra la distribución de los 7 sectores conformantes del edificio

Figura 9.10 Distribución de los sistemas con sus respectivos sectores designados



Fuente: Elaboración propia (2023)

Los sectores escogidos para cada sistema fueron seleccionados de manera estratégica aprovechando la profundidad y cercanía de la red de tubos.

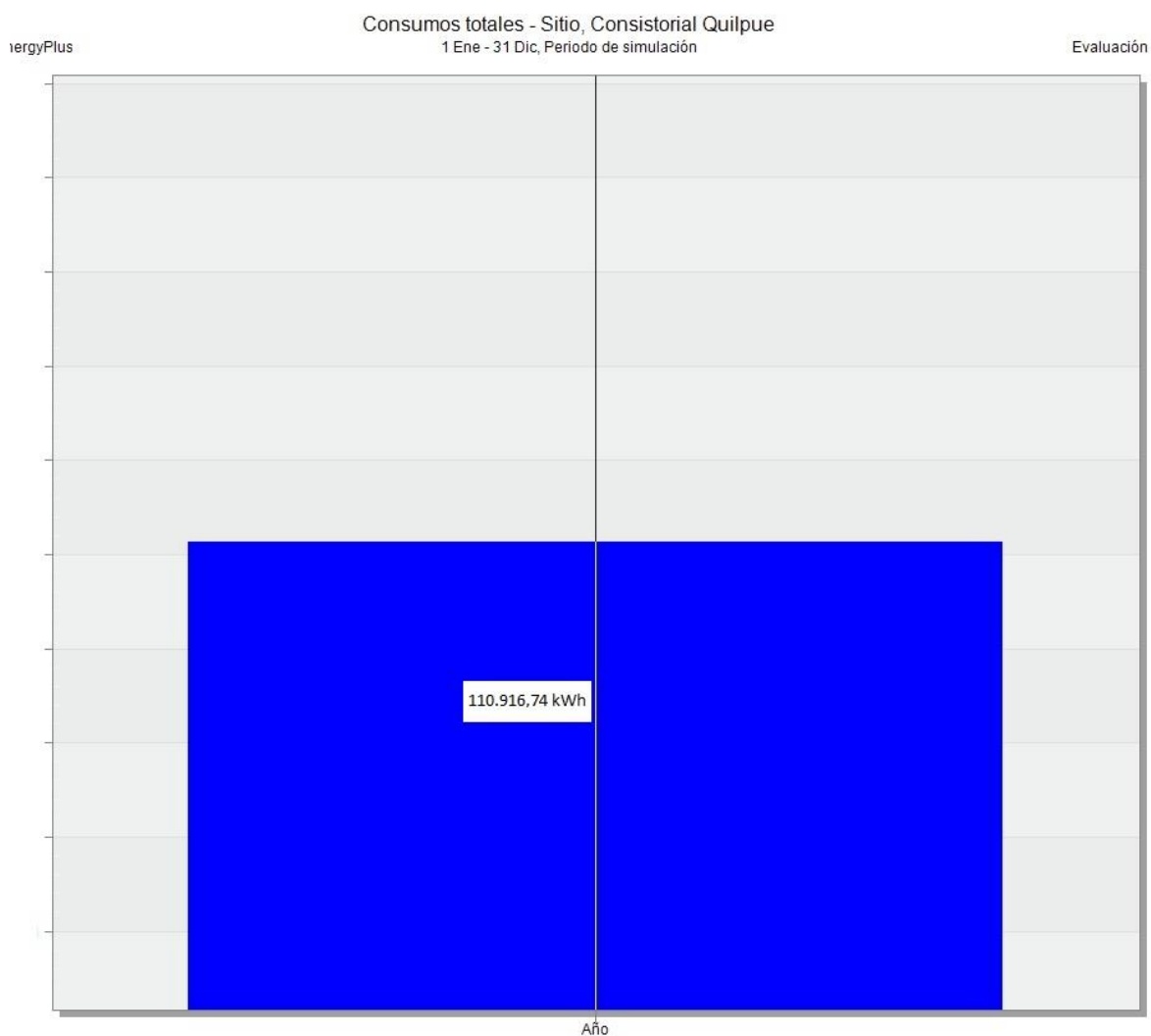
Al sistema 1 se le asignó el sector 7-5-2 y 3 en tanto al sistema numero 2 se le asignaron los sectores 6-4 y 1

9.2.1.1 Simulación sin sistema número 1 en los sectores 7-5-2 y 3 designados.

Se realiza la simulación total anual sin el sistema de tubos enterrados de solo los sectores designados.

A continuación, se presenta la siguiente imagen con resultados de la simulación

Figura 9.11 Consumo total anual sin sistema en sectores 7-5-2 y 3

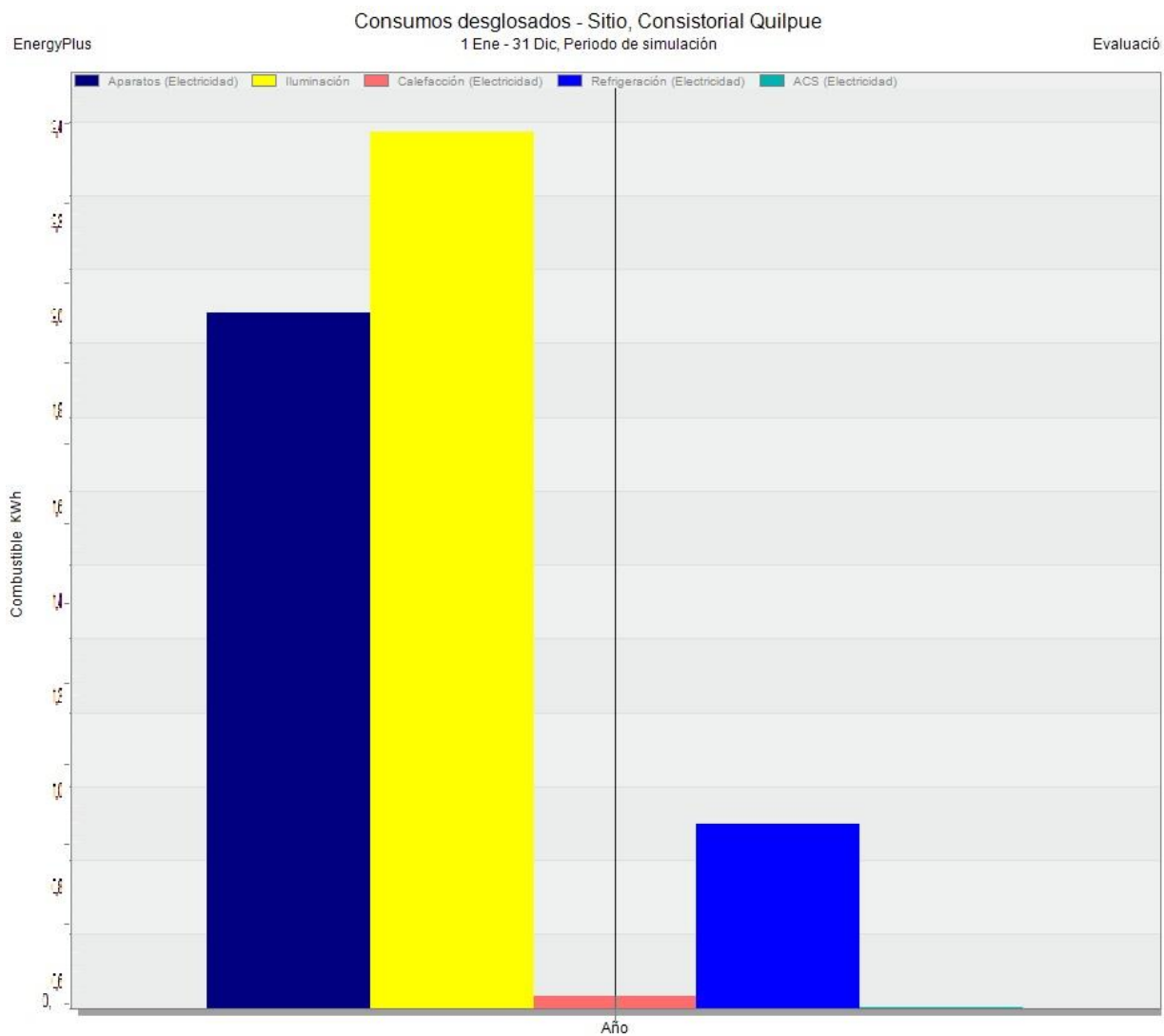


Fuente: Elaboración propia (2023).

De la imagen anterior se desprende un consumo total anual de 110.916,74 kWh.

Se realiza el desglose de consumo de los sectores seleccionados los cuales se muestran a continuación.

Figura 9.12 Consumo total desglosado sin sistema en sectores 7-5-2 y 3



Fuente: Elaboración propia (2023)

Del gráfico se desprenden los siguientes datos de consumos desglosados

Tabla 1.9 Desglose de consumo total anual sin sistema en sectores 7-5-3 y 2

Consumo energético KWh	%	Total anual kWh
Aparatos	19	21.074,1806
Iluminación	54	59.895,0396
Refrigeración	17	18.855,8458
Calefacción	10	11.091,674

Fuente: Elaboración propia (2023)

Consumo total anual: \$15.195.593,4 de los cuales:

Refrigeración anual: \$2.583.250,87

Calefacción anual: \$1.519.559,34

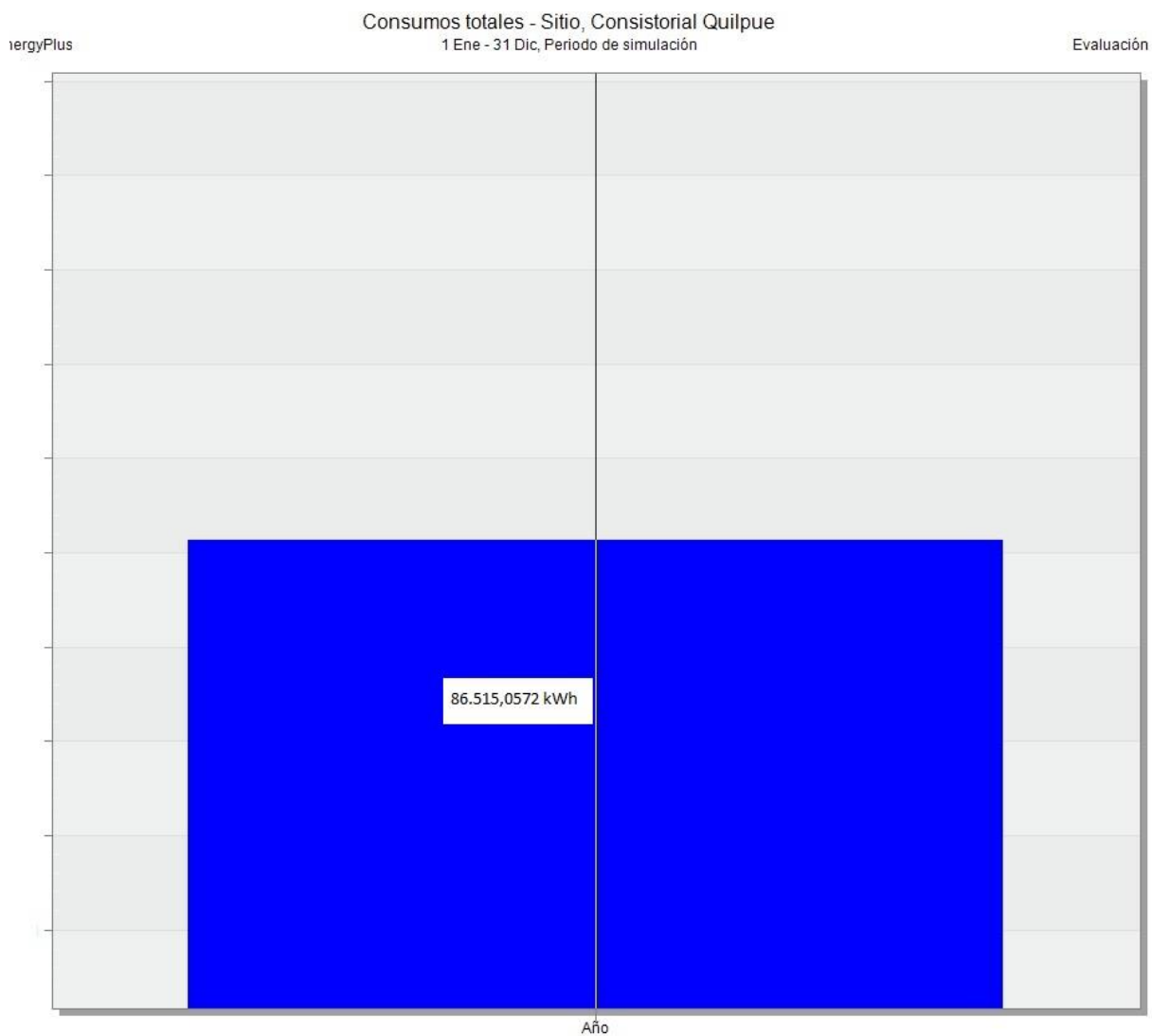
Antes de simular el edificio se debe determinar dentro del programa el grupo de zonas a conectar con el circuito de aire unitario. Los sectores que se determinaron para este sistema número 1, cuenta con 29 zonas con requerimiento de climatización.

Luego de realizar la configuración dentro del programa conectando las 29 zonas específicas al sistema de pozos canadienses, se procede a simular los sectores involucrados al sistema número 1.

9.2.1.2 Simulación con sistema número 1 en los sectores 7-5-3 y 2 designados.

Se realiza la simulación con sistema número 1 en los sectores designados dándonos los siguientes resultados.

Figura 9.13 Consumo total anual con sistema en sectores 7-5-3 y 2.



Fuente: Elaboración propia (2023)

De la figura anterior se desprende un consumo total anual de 86.515,0572 kWh, presentando un 22% de reducción en consumo anual en los sectores designados. Este % de reducción incluye aparatos eléctricos, iluminación, calefacción y refrigeración. Es por esto que se debe realizar un desglose para centrarnos en calefacción y refrigeración que es el enfoque del sistema.

La siguiente tabla presenta los datos arrojados por el software con desglose del total anual con sistema número 1 en sectores designados

Tabla 1.10 Desglose de consumo total anual con sistema en sectores 7-5-3 y 2

Consumo energético KWh	%	Total anual kWh
Aparatos	39	33.740,8723
Iluminación	51	44.122,6792
Refrigeración	7	6.056,054
Calefacción	3	2.595,45172

Fuente: Elaboración propia con datos del programa Design Builder (2023)

Consumo total anual: \$11.852.562,8 de los cuales:

Refrigeración anual: \$829.679,398

Calefacción anual: \$355.576,886

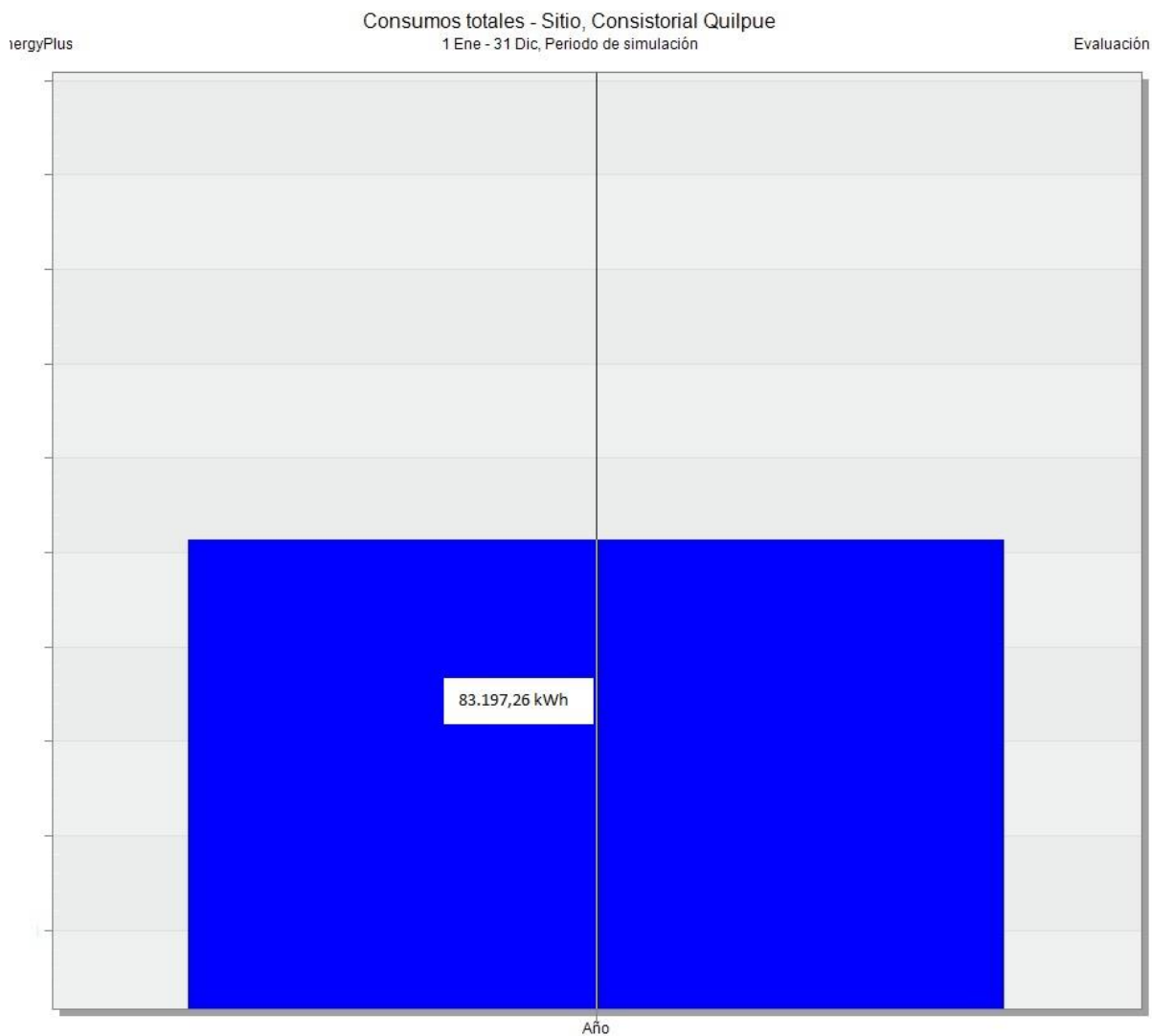
Se analizan resultados con y sin sistema de climatización en los sectores designados y nos da un 28% de reducción en esos sectores. Para realizar un análisis completo de la resolución con ambos sistemas es que se debe realizar la simulación del sistema número 2 a los sectores

Se presenta a continuación la simulación con el sistema número 2 a los sectores 6-4 y 1 designados.

9.2.1.3 Simulación sin sistema número 2 en sectores designados 6-4 y 1

Se realiza mismo procedimiento que en las simulaciones anteriores dándonos el siguiente resultado

Figura 9.14 Consumo total anual sin sistema 2 en sectores designados 6-4 y 1



Fuente: Elaboración propia (2023)

De la imagen se desprende un consumo total anual de 83.191,437 kWh.

A continuación, se presenta el desglose del consumo total anual en sectores designados

Tabla 1.11 Desglose de consumo total anual sin sistema en sectores 6-4 y 1

Consumo energético KWh	%	Total anual kWh
Aparatos	09	7.487,7534
Iluminación	64	53.246,2464
Refrigeración	08	6.655,7808
Calefacción	19	15.807,4794

Fuente: Elaboración propia con datos extraídos del programa Design Builder (2023)

Consumo total anual: \$11.398.024,6 de los cuales:

Refrigeración anual: \$911.841,97

Calefacción anual: \$2.165.624,71

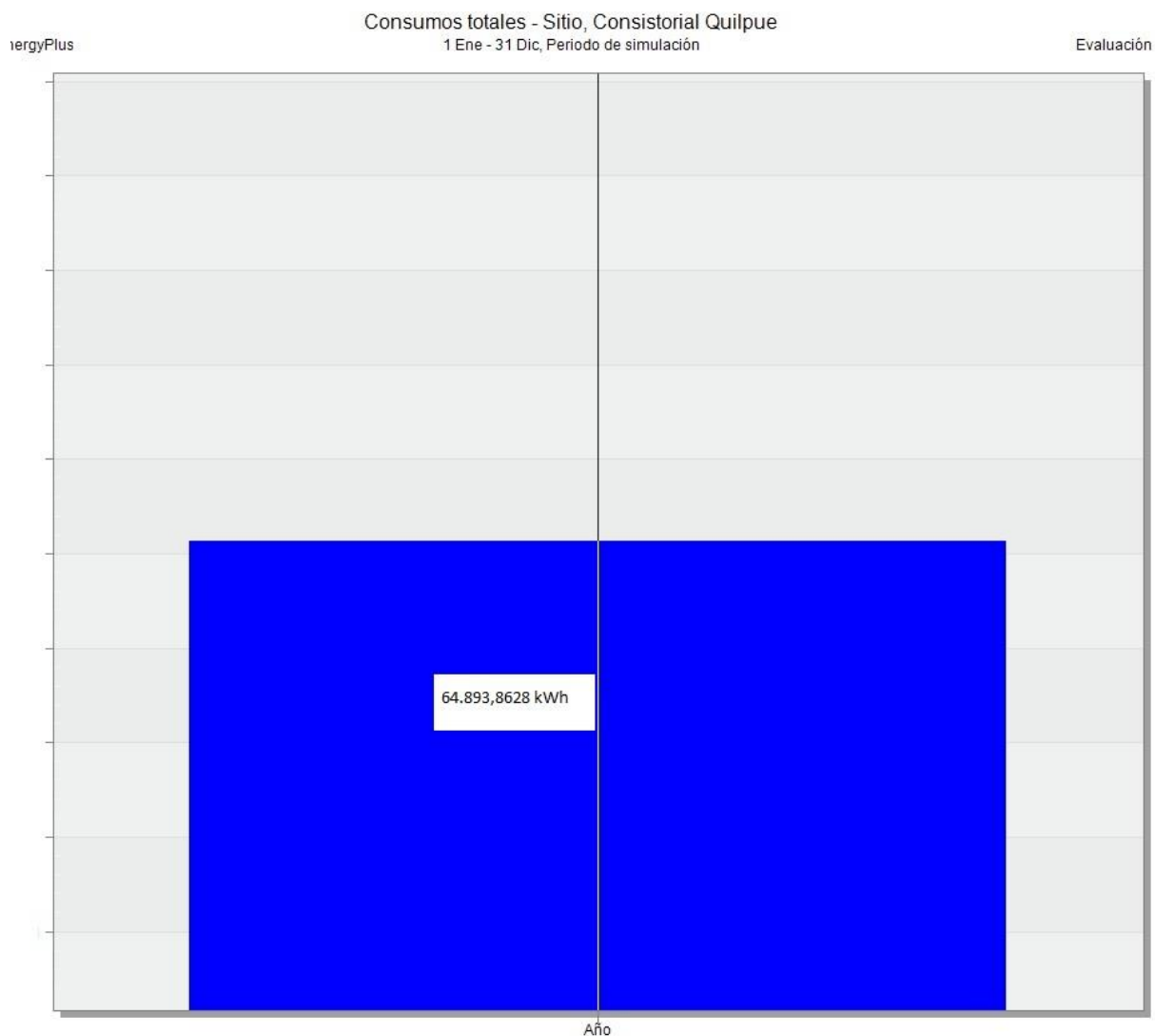
Al igual que las simulaciones anteriores se debe realizar la configuración dentro del programa conectando el intercambiador de aire-tierra del sistema número 2 con las 21 zonas restantes.

A continuación, se presenta la simulación de los sectores 6-4 y 1 designados con sus zonas al sistema número 2.

9.2.1.4 Simulación con sistema número 2 en sectores designados 6-4 y 1

El resultado que arroja el programa Design Builder para los sectores designados, es el siguiente

Figura 9.15 Consumo total anual con sistema número 2 en sectores designados 6-4 y 1



Fuente: Elaboración propia (2023)

El software nos arroja un resultado de consumo total anual con sistema número 2 de 64.893,8628 kWh.

Se presenta a continuación el desglose de consumo total anual con sistema número 2 en sectores designados 6-4 y 1

Tabla 1.12 Desglose de consumo total anual con sistema en sectores 6-4 y 1

Consumo energético KWh	%	Total anual kWh
Aparatos	19	12.329,8339
Iluminación	64	41.532,0722
Refrigeración	08	5.191,50902
Calefacción	09	5.840,44765

Fuente: Elaboración propia con datos extraídos de Design Builder (2023)

Consumo total anual: \$8.890.459 de los cuales:

Refrigeración anual: \$711.236

Calefacción anual: \$800.141

Para realizar un análisis global es necesario tomar todos los resultados de las simulaciones para luego realizar la comparación con la primera simulación que se realizó en esta investigación.

Para ello se presenta a continuación una tabla resumen con datos asociados a las simulaciones con sus respectivas componentes para luego realizar un presupuesto y verificar si esta propuesta es mas viable que la original. Para la ejecución de la siguiente tabla resumen es que se tomaron en consideración solo los gastos energéticos referentes a refrigeración y calefacción.

Tabla 1.13 Resumen comparativo edificio real versus simulaciones

Edificio	\$ Destinado a climatización
Edificio original sin simulación	\$ 7.180.276,86
Edificio con un sistema de tubos	\$ 5.525.838
Edificio con propuesta de dos sistemas de tubos	\$ 2.696.633,28

Fuente: Elaboración propia (2023)

El edificio consistorial de Quilpué tiene una demanda anual en refrigeración y calefacción de 52.410,78 kWh la cual se traduce a un valor de \$7.180.276,86, según este dato es que se pueden interpretar los datos anteriormente expuestos en la tabla 1.13 para calcular en dinero el ahorro anual en refrigeración y calefacción anualmente.

Tabla 1.14 Comparación de dinero ahorrado anual de simulación original versus propuesta de simulación

\$ Ahorro Simulación Original	\$ Ahorro Simulación propuesta
\$1.654.438,86	\$4.483.643,58

Fuente: Elaboración propia (2023)

A partir de lo expuesto en la tabla 1.13 es que se logra interpretar un 23% de ahorro con un solo sistema de tubos enterrados versus un 63% de ahorro con dos sistemas de tubos enterrados.

Para poder concluir la investigación es que se requiere realizar un análisis de precio unitario de la propuesta con los dos sistemas de pozos canadienses.

A continuación, se presenta el detalle de precios unitario

Los detalles se presentan en la siguiente tabla.

[illegible]

136

El presupuesto para la instalación del sistema número 1 da un total de \$131.010.858 pesos.

Para englobar el sistema propuesto es que se debe realizar el análisis de precio unitario para el sistema número 2, el cual se expone a continuación.

Tabla 1.16 Detalle presupuestario número 2 con sectores designados

[illegible]

Fuente: Elaboración propia con datos reunidos de la página REHAU, 2023 y datos extraídos de Notrasnoches, 2023.

El presupuesto para la instalación del sistema número 2 da un total de \$124.934.601 pesos.

La instalación de ambos sistemas da como resultado un valor de \$255.945.459 pesos.

CAPITULO X: Análisis crítico

Para dar comienzo al análisis de esta investigación es necesario realizar la comparativa de la idea original de simular un solo sistema de tubos enterrados versus las propuestas que se expusieron, en particular la propuesta de dos sistemas de pozos canadienses.

La primera simulación que originalmente se ideó, si bien generó una disminución en el consumo energético en refrigeración y calefacción, no logró el convencimiento para proponerlo como una verdadera solución a la disminución de la demanda energética del edificio ya que contrastándolo con su valor de instalación se lograría en al menos 85 años aproximadamente en la recuperación de la inversión y el % de ahorro anual era muy poco significativo.

Ahora por otro lado el estudio de la propuesta logra ser de forma contraria a la idea original mucho mas llamativa ya que anualmente existiría un 62% de ahorro versus un 23%, el cual supera con creces en dinero lo ahorrado, además de la recuperación de la inversión de alcanzaría en aproximadamente 58 años, valores que resultan mucho mas llamativos que el anterior.

Luego de estas simulaciones es que se concluye que el sistema es un sistema que efectivamente logra disminuir el consumo energético, pero que antes de pensar en la implementación de éste, es necesario conocer el espacio en donde se incorporará.

Como se mencionó en este informe, es que las características principales a conocer son el espacio para la colocación del sistema, el tipo de suelo y como no, la exploración para saber si estamos en presencia de napas subterráneas.

Otro punto muy importante es el tipo de edificación a la cual se le quiere incorporar el sistema, ya que de esto depende mucho su configuración, aunque esto no sea una limitante, por que según lo expuesto en esta investigación existen distintos tipos de distribución.

Además de lo mencionado, es muy necesario conocer los antecedentes climáticos del lugar en que se implementarían los pozos, ya que el sistema tendría mas impactos positivos en climas extremos.

Otra característica que se debe conocer es la envolvente de la edificación para el caso de realizar simulaciones antes de la implementación ya que éstas afectan directamente en la demanda de energía eléctrica para el uso de refrigeración y/o calefacción, en esta investigación, por ejemplo, la edificación era una estructura patrimonial la cual fue modificada parcialmente para rehabilitarla y darle un uso como se le da hoy en día como la Ilustre Municipalidad de Quilpué y es que al ser modificada, su envolvente térmica cumple con los parámetros de confort.

Este sistema resulta ser muy llamativo, pero se ven carencias en normativas que regulan este tipo de sistemas.

En Chile, no contamos con normas sobre instalación de este sistema ni con mucha exploración de energía geotérmica de baja entalpía.

Se concluye de manera global, que el sistema disminuye gastos asociados al consumo energético para el edificio en estudio.

Bibliografía

(AGRIMED), C. d. (2017). *Atlas Agroclimático de Chile*.

© WeatherSpark.com. (s.f.). Obtenido de <https://es.weatherspark.com/y/25813/Clima-promedio-en-Quilpu%C3%A9-Chile-durante-todo-el-a%C3%B1o#Figures-Temperature>

2009, A. (s.f.). *ASHRAE 2009*.

2020, B. J. (2020).

al, L. e. (2010). Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/280720371_A_geothermal_favorability_map_of_Chile_Preliminary_results

Al., L. E. (2005). *Geothermal Exploration in Chile*.

BASF. (2022). *BASF HOUSE*. Obtenido de https://www.basf.com/gb/en/products/construction1/The-BASF-House.html#accordion_v2-92b1d586e9-item-255e7255a3

Cabezas, M. (2012). *Academia Educativa*. Obtenido de https://www.academia.edu/34892136/Tesis_Final_Pozos_Cnadienses?email_work_card=view-paper

Campo, M. L. (2 de febrero de 2020). *24horas*. Obtenido de <https://www.24horas.cl/regiones/maule/estudio-de-la-universidad-de-talca-afirma-que-aaires-acondicionados-aumentan-en-85-el-consumo-de-electricidad-3909897>

Chile, G. d. (2019). *Generadoras de Chile*. Obtenido de <http://generadoras.cl/prensa/consumo-electrico-crecera-83-en-20-anos-y-las-energias-renovables-tendran-un-rol-clave>

CONCEPTO, E. (s.f.). Obtenido de <https://concepto.de/principio-de-conservacion-de-la-energia/>

CONCEPTO, E. (s.f.). Obtenido de <https://concepto.de/energia/#ixzz7mXBtG5ln>

Consistorial, L. p. (2016).

Construcción, C. C. (2014). *Manual de Instalaciones térmicas*.

Data, C. (s.f.). *Climate Data*. Obtenido de Climate Data: <https://es.climate-data.org/america-del-sur/chile/v-region-de-valparaiso/quilpue-2063/>

Design builder . (s.f.). Obtenido de <https://www.designbuilder.cl/descargas/archivos-climaticos/>

- Dobles, R. (2018). *la republica*. Obtenido de <https://www.larepublica.net/noticia/la-transicion-energetica-en-el-mundo-es-un-proceso-de-cambio-continuo#:~:text=La%20transici%C3%B3n%20energ%C3%A9tica%20en%20el%20mundo%20es%20un,trav%C3%A9s%20del%20tiempo%20impulsada%20por%20los%20adelantos%20tecnol%C3>
- Donoso, L. V. (2012). Obtenido de <https://lucas-ignacio-veas-donoso0.webnode.cl/news/energia-geotermica-en-chile/>
- Earth, G. (s.f.). *Google Earth*. Obtenido de <https://earth.google.com/web/search/general+velasquez,+quilupue/@-33.04459358,-71.4427607,110.24004297a,309.40013797d,35y,165.10087235h,44.99644508t,0r/data=CoUBGlsSVQolMHg5Njg5ZDkxYjExZGM3NDFiOjB4M2FiZTA0ZmlyZTUyZjlkxORl6S96leYVAwCFz8iITcNxRwCoaZ2VuZXJhbCB>
- Eecolab. (2015). *INFORME DE MECÁNICA DE SUELOS*.
- energía.gob.cl. (s.f.). *Ministerio de Energía*. Obtenido de [energia.gob.cl: https://energia.gob.cl/educacion/que-es-la-geotermia](https://energia.gob.cl/educacion/que-es-la-geotermia)
- Energy Renewable Energy and the environment (p.11), p. W. (2010).
- Escuer, B. &. (2010). Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/279961678_INTERCAMBIADORES_TIERRA-AIRE_Y_TECNICAS_EMPARENTADAS_EJEMPLOS_Y_EXPERIENCIAS
- Fovisee. (s.f.). *Fovisee*. Obtenido de <https://fovisee.org/proyectos/energias-renovables-y-vivienda-popular/>
- Ghajar, Y. &. (2011). *Transferencia de Calor y Masa Fundamentos y Aplicaciones*.
- Glassley. (2010).
- Guillermo Llopis Trillo, V. R. (2008). *Guía de la energía geotérmica*.
- Ingeominas. (2009). *Ingeominas*. Obtenido de <https://ingeominas.blogspot.com/2009/>
- Jarava, B. (2020).
- Jimenez, K. M. (2015). *NUEVA MUNICIPALIDAD DE QUILPUÉ*.
- Lahsen. (1988). Obtenido de [https://www.scirp.org/\(S\(351jmbntvnsjt1aadkposzje\)\)/reference/referencespapers.aspx?referenceid=1349367](https://www.scirp.org/(S(351jmbntvnsjt1aadkposzje))/reference/referencespapers.aspx?referenceid=1349367)
- Llopis. (2018).
- Marzolf. (2014).

Medina, B. O. (2020). *EVALUACIÓN PRELIMINAR DE LOS RECURSOS GEOTÉRMICOS DE MUY BAJA ENTALPÍA EN CHILE*. Concepción.

Ministerio de Energía, G. d. (julio de 2020). *energia.gob*. Obtenido de https://www.energia.gob.cl/sites/default/files/01._eficiencia_energetica_en_edificios_publicos_y_programas_relacionados.pdf

Misión Cavendish. (2021). Obtenido de <https://misioncavendish.com/hidrogeno-verde/wp-content/uploads/2021/11/infografia-cambio-climatico-1.pdf>

MOP, C. d. (s.f.). Obtenido de <https://planoshistoricos.mop.gob.cl/>

Ocón, M. C. (24 y 25 de noviembre de 2014). *www.miteco.gob.es*. Obtenido de https://www.miteco.gob.es/es/ceneam/grupos-de-trabajo-y-seminarios/red-parques-nacionales/hidroelectricoenergiasdelmarygeotermia-mcarmenlopezocon_tcm30-169034.pdf

OVACEN. (s.f.). Obtenido de <https://ovacen.com/energias-renovables/geotermica/>

Piensa Geotermia. (2022). Obtenido de <https://www.piensageotermia.com/publicacion-mapas-de-evaluacion-de-recursos-geotermicos-para-la-implementacion-chile/>

Programa Mundial de la UNESCO de Evaluación de los Recursos Hídricos. (2020). *Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos 2020: agua y cambio climático, datos y cifras*. UNESCO.

Rehau. (2012).

Rehau. (2015). *Rehau*. Obtenido de <https://www.rehau.com/downloads/1110034/awadukt-thermo-ventilaci%C3%B3n-ecoficiente-informaci%C3%B3n-t%C3%A9cnica.pdf>

REHAU. (s.f.). *informacion técnica*.

revistaei. (2014). Obtenido de <https://www.revistaei.cl/columnas/la-geotermia-en-chile-hoy/#>

Sánchez, S. &. (2011).

scribd. (s.f.). Obtenido de <https://es.scribd.com/document/421524739/Como-Construir-Un-Pozo-Canadiense-Para-Climatizar-Invernadero>

Statista. (febrero de 2022). Obtenido de <https://es.statista.com/estadisticas/1227129/demanda-energia-electrica-chile/>

Transformadores. (s.f.). Obtenido de <https://www.transformadores.cl/blog/transformadores-electricos-energias-renovables-no-convencionales/#:~:text=En%20Chile%2C%20se%20reconoce%20como%20energ%C3%ADa%20renovable%20no,biog%C3%A1s%20y%20geot%C3%A9rmica.%20Potencial%20de%20la%20energ%C3%ADa%20ge>

Valparaíso, A. C. (s.f.). *Design Builder Chile*.



WeatherSpark.com, ©. (s.f.). © *WeatherSpark.com*. Obtenido de © WeatherSpark.com

Zapata, V. N. (2014).

Anexo 1. Instrumento de medición

Termoanemómetro miniatura con humedad EXTECH 45158

Figura 1.1 “Mini anemómetro térmico impermeable y medidor de humedad”



Fuente: “Extech instruments” (2023)

Figura 1.2 Especificaciones Termoanemómetro miniatura con humedad EXTECH 45158

Temperatura	
Rango	0 ° a 122 ° F (-18 ° a 50 ° C)
Resolución	0.1 ° F / C
Exactitud	± 1.8 ° F (± 1 ° C)
Humedad relativa	
Rango	10 a 95%
Resolución	1%
Exactitud	± 5% HR
Punto de rocío	
Rango	32 ° a 122 ° F (0 ° a 50 ° C)
Resolución	0.1 °: F / C
Exactitud	± 3.6 ° F (2 ° C)

Fuente: “Manual de usuario Modelo 45158” (2023)

Anexo 2. Unidad de aspiración

Unidad de aspiración AWADUKT Thermo DN 630

Figura 1.2 “Unidad de aspiración AWADUKT Thermo DN 630”



Unidad de aspiración para instalaciones desde aprox. 1.500 m³/h hasta aprox. 6.500 m³/h

N.º mat.			11704281003	11704381003	13529221001
Diám. nominal	DN/OD		400	500	630
Material			Acero inox V2A	Acero inox V2A	Acero inox V2A
Superficie			mate	mate	mate
Altura total	L2	mm	2120	2230	2330
Altura de aspiración	L5 + L6	mm	1310	1310	1310
Peso total		kg	aprox. 47,5	aprox. 67,5	aprox. 71,5
Terminal de aletas					
Forma del tejadillo			Cubierta plana	Cubierta plana	Cubierta plana
Altura total terminal aletas		mm	660	740	840
Número de aletas	n		7 + 1	8 + 1	9 + 1
Diámetro exterior	L1	mm	620	720	850
Superficie filtrante 100 %	A0	m²	0,829	1,162	1,663
Montante					
Altura (total) montante	L4 + L5 + L6	mm	1460	1490	1490
Espesor de pared	s	mm	0,8	0,8	1
Unión entre montantes			Pasador de expansión	Pasador de expansión	Pasador de expansión
Placa-base					
Placa-base	s x a x b	mm	2 x 600 x 600	2 x 700 x 700	2 x 830 x 830
Diámetro nominal tubo conexión	DN/OD	mm	400	500	630
Número taladros en placa-base		ud.	4	4	4
Diámetro de taladros		mm	11,5	11,5	11,5
Caudales volumétricos					
Caudal volumétrico en el montante para wS = 6,0 m/s	V	m³/h	2500	4000	6500
Caudal volumétrico máx. (A0 = 85 %)					
wL = 2,5 m/s; sin filtro	V	m³/h	6345	8892	12718
wL = 1,5 m/s; con filtro ISO coarse	V	m³/h	3807	5335	7631
wL = 0,25 m/s; con filtro F6	V	m³/h	634	889	1272

Fuente: Información técnica AWADUKT Thermo antimicrobiano (2023)

