



FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE CONSTRUCCIÓN CIVIL

COMPARACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA ENTRE VIVIENDAS CON SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN SOLAR Y SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN GEOTÉRMICA.

Por

Cristóbal Arturo Castro Sauvat

**Tesis para optar al
Grado de Licenciado en Ciencias de la Construcción y al
Título de Ingeniero Constructor**

Profesor Guía: Jorge Rivera Jara

Septiembre, 2015

*Dedicado a mis Padres, hermanas y
A mi pareja Ani por su incondicional apoyo.*

AGRADECIMIENTOS

Agradezco la confianza y la orientación del profesor Jorge Rivera Jara como profesor guía durante este trabajo. También agradecer al profesor Julio Ortega Calderón, quién ha estado dispuesto en todo momento a aportar información para este estudio.

Agradezco a los profesores del taller de grado y taller de título a los señores Oscar Videla Castro, Gastón Soto Bécar y Juan Egaña Ramos por sus consejos y críticas constructivas.

A la escuela en general por darme la oportunidad de ir a estudiar seis meses a la Universidad Politécnica de Valencia - España, experiencia que significo cumplir un sueño de toda a vida.

También quisiera agradecer el apoyo de mis compañeros de taller y a las secretarias de la escuela quienes aportan consejos e información relevante para el período universitario.

Finalmente agradezco el apoyo y paciencia de mis Padres, el empuje de mis hermanas Coté, Arantza y Belén y, el entusiasmo de mi pareja Ani, quien estuvo en momentos difíciles y fue un pilar fundamental para terminar este proceso de mi vida.

Muchas Gracias...

INDICE

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
INDICE.....	iv
INDICE DE FIGURAS.....	vii
INDICE DE TABLAS.....	viii
RESUMEN.....	ix
CAPÍTULO I. Antecedentes Generales.....	1
1.1 Introducción.....	2
1.2 Objetivos.....	4
1.2.1 Objetivo Principal	4
1.2.2 Objetivos Secundarios	4
1.3 Alcances.....	4
1.4 Metodología de la Investigación.....	4
CAPITULO II. Marco Teórico	6
2.1 Confort Térmico en la vivienda.....	7
2.2 Climatización	7
2.2.1 Calefacción y Refrigeración	8
2.2.2 Carga Térmica.....	8
2.3 Energía Solar Térmica	9
2.3.1 Funcionamiento de los sistemas de climatización Solar.....	10
2.4 Energía Geotérmica	14
2.4.1 Bombas de Calor.....	14
2.4.1.1 Componentes, Bomba de calor Geotérmico.....	16
2.4.1.2 Funcionamiento de la Bomba de Calor.....	17
2.4.2 Sistema de Climatización con Bomba de calor Geotérmico.....	19
2.4.3 Sistemas de Captación de Energía Geotérmica	19
2.4.3.1 Sistemas de Captación cerrados	19
2.5 Sistema de Distribución en la vivienda	23
2.5.1 Sistema de Climatización “Losa Radiante”	23

CAPITULO III. Carga Térmica y Demanda Energética de la Vivienda	28
3.1 Antecedentes de la vivienda a climatizar	30
3.1.1 Ubicación de la vivienda.....	30
3.1.2 Características de la vivienda	30
3.2 Carga Térmica.....	31
3.2.1 Consideraciones para diseño.....	32
3.2.2 Cálculo de la transmitancia térmica de cerramientos	33
3.2.3 Cálculo cargas térmicas para invierno	34
3.2.4 Cálculo cargas térmicas para verano.....	37
3.3 Demanda energética de la vivienda	39
CAPITULO IV. Metodología y diseño del sistema de climatización solar en Antofagasta	40
4.1 Introducción	41
4.2 Irradiación en Antofagasta	42
4.2.1 Irradiación diaria sobre superficie horizontal.....	42
4.2.2 Inclinación y orientación	43
4.2.3 Horas útiles de sol en un día medio de cada mes	45
4.3 Colector solar térmico	47
4.3.1 Selección del colector	47
4.3.2 Rendimiento del colector solar térmico	48
4.4 Aporte solar	49
4.5 Cálculo de colectores	51
CAPITULO V. Metodología y Diseño del sistema de climatización geotérmico en Antofagasta.....	52
5.1 Introducción	53
5.2 Estudio de temperaturas	54
5.2.1 Temperaturas superficiales.....	54
5.2.2 Estimación de la temperatura del suelo a distintas profundidades.....	56
5.3 Requisitos para la extracción de calor del suelo.....	59
5.4 Selección de la bomba de calor	60
5.4.1 Cálculo de Funcionamiento Fraccionado (FH) de la bomba de Calor y sus Horas de uso mensual.....	61
5.4.2 Cálculo de horas de funcionamiento aproximado de la bomba de calor.....	61
5.5 Intercambio geotérmico.....	61

5.5.1 Longitud del intercambiador	68
5.6 Emplazamiento del intercambiador en serie	69
5.7 Pérdidas de carga en el sistema	73
5.7.1 Cálculo de la cantidad de fluido en el intercambiador y su pérdida de carga.....	73
5.7.2 Pérdidas de carga en la bomba de calor.....	73
5.7.3 Pérdidas totales en el sistema.....	74
5.8 Determinación de la bomba de circulación	74
CAPITULO VI. Comparación Técnica - Económica.....	76
6.1 Comparación técnica.....	77
6.1.1 Comparación en el método de diseño para los sistemas de climatización.....	77
6.1.2 Comparación en el montaje y ejecución de los sistemas de climatización.	77
6.1.3 Comparación del punto de vista medioambiental y energético	78
6.2 Comparación económica.....	79
6.2.1 Costos de inversión.....	79
6.2.2 Costos de operación	79
6.2.3 Costos de mantenimiento.....	80
6.2.4 Costos Totales de los sistemas de climatización.....	80
6.2.5 Comparación con sistema de climatización a Gas para la vivienda	81
6.2.6 Comparación de Valor Actual de Costos de los sistemas de Climatización..	84
6.2.7 Período de Amortización de los sistemas de climatización	87
CAPÍTULO VII. Conclusiones	89
Bibliografía.....	92
ANEXOS.....	95

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.1: Diagrama de Metodología de la Investigación	5
FIGURA 2.1: Paneles solares de tubo al vacío.....	9
FIGURA 2.2: Sistema de climatización solar y su Funcionamiento.....	10
FIGURA 2.3: Bomba de Calor Geotérmica.....	14
FIGURA 2.4: Funcionamiento Bomba de Calor.....	17
FIGURA 2.5: Captadores Geotérmicos.....	20
FIGURA 2.6: Captador Vertical.....	21
FIGURA 2.7: Captador Horizontal.....	22
FIGURA 2.8: Captador Horizontal en serie y en paralelo.....	22
FIGURA 2.9: Losa Radiante.....	23
FIGURA 2.10: Asilapol con Tetones.....	25
FIGURA 2.11: Distribución ideal de Temperatura.....	26
FIGURA 3.1: Diagrama del proceso para determinar las cargas térmicas y la demanda energética.....	29
FIGURA 3.2: Temperaturas mensuales de Antofagasta	33
FIGURA 3.3: Demanda energética de la vivienda.....	39
FIGURA 4.1: Irradiación diaria media mensual efectiva, Antofagasta.....	44
FIGURA 4.2: Intensidad útil diaria de cada mes, Antofagasta.....	46
FIGURA 4.3: Panel Solar.....	47
FIGURA 4.4: Aporte solar diario, Antofagasta.....	50
FIGURA 5.1: Oscilaciones mensuales de las temperaturas, Antofagasta.....	55
FIGURA 5.2: Trincheras.....	59
FIGURA 5.3: Pérdidas de carga de fluido (agua + 20%Metanol) para 100 m de Tubería HDPE.....	67
FIGURA 5.4: Esquema, Trinchera de la vivienda estudio.....	70
FIGURA 5.5: Corte de la Trinchera estudio.....	70
FIGURA 5.6: Plano de Planta de la Trinchera.....	71
FIGURA 5.7: Plano de Planta, excavación Trinchera.....	72
FIGURA 5.8: Curva Característica, Bomba R2C – R4C.....	75

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 3.1: Dimensiones de la vivienda	31
TABLA 3.2: Condiciones de confort para una vivienda.....	32
TABLA 3.3: Resultados de la transmitancia térmica.....	34
TABLA 3.4: Resultados de la carga térmica por transmision (invierno).	35
TABLA 3.5: Resultados de la carga térmica por ventilación (invierno).....	36
TABLA 3.6: Resumen de cargas térmicas en invierno.	36
TABLA 3.7: Resultado de cargas térmicas por transmisión (verano).....	37
TABLA 3.8: Aporte de la radiación solar a distintas horas.....	38
TABLA 3.9: Resumen de cargas térmicas en verano.....	38
TABLA 4.1: Irradiación diaria sobre superficie horizontal, Antofagasta.....	42
TABLA 4.2: Irradiación diaria mensual efectiva sobre superficie horizontal, Antogasta.....	42
TABLA 4.3: Factor de corrección por inclinación, Antofagasta.....	43
TABLA 4.4: Irradiación diaria mensual efectiva en superficie inclinada, Antofagasta.....	44
TABLA 4.5: Horas utiles de sol, segpun Censolar	45
TABLA 4.6: Resultado de la irradiación útil en un día medio de cada mes, Antofagasta.	46
TABLA 4.7: Temperaturas medias, Antofagasta.....	48
TABLA 4.8: Especificaciones técnicas segpun fabricante.	49
TABLA 4.9: Resultados del rendimiento del colector solar.....	49
TABLA 4.10: Resultados del aporte solar diario, Antofagasta.....	50
TABLA 4.11: Resultado de la energía solar disponible, Antofagasta	51
TABLA 5.1: Promedio de temperaturas suerficiales anuales de Antofagasta.	49
TABLA 5.2: Oscilación superficial de temperaturas medias con respecto a su promedio.	50
TABLA 5.3: Propiedades térmicas de los suelos.	51
TABLA 5.4: Temperaturas a distintas profundidades de diferentes tipos de suelo, Antofagasta.....	58
TABLA 5.5: Especificaciones técnicas de la bomba de calor.	60
TABLA 5.6: Temperaturas horarias del mes de Julio 2013, Antofagasta.....	62
TABLA 5.7: Cálculo del funcionamiento fraccionado de la bomba de calor (FH)	63
TABLA 5.8: Características del fluido a distintas temperaturas.....	64
TABLA 5.9: Características de las tuberías HDPE SDR 11.	65
TABLA 5.10: Resistencia térmica de las tuberías HDPE.....	65
TABLA 5.11: Resistencia térmica del suelo	68
TABLA 5.12: Cubicación de excavación para trinchera.....	72
TABLA 5.13: Cálculo de cantidad de fluido y pérdidas de cargas.	73
TABLA 6.1: Costos de operación del sistema geotérmico.....	80
TABLA 6.2: Poder calorifico del combustible (gas) y su densidad.	82
TABLA 6.3: Consumo energético del sistema de caldera a gas y su costo.....	82
TABLA 6.4: Costos de operación de los tres sistemas.....	83
TABLA 6.5: Cálculo de VAC para sistema de climatización solar térmica.....	84
TABLA 6.6: Cálculo de VAC para sistema de climatización geotérmica	85
TABLA 6.7: Cálculo de VAC para sistema de climatización por Caldera a gas.....	86
TABLA 6.8: Amortización del Sistema Solar Térmico respecto al Sistema de Caldera a gas.	87
TABLA 6.9: Amortización del Sistema Geotérmico respecto al Sistema de Caldera a gas.....	88

RESUMEN

En la presente tesis, se estudiaron dos sistemas de climatización para una vivienda unifamiliar en la ciudad de Antofagasta, un sistema con energía solar y otro con energía geotérmica, con el fin de realizar una comparación técnico – económico.

Ambos sistemas se ejecutan en nuestro país desde hace un tiempo, con mucha más influencia de la energía solar sobre la geotérmica aplicada en viviendas.

Se comenzó evaluando las necesidades térmicas de la vivienda unifamiliar, basándonos en la norma chilena 853.Of91. Sumado a esto se recopila información de las condiciones climatológicas de la zona de Antofagasta, la materialidad de la vivienda unifamiliar y las condiciones de confort que establece el reglamento de instalaciones térmicas en los edificios en Chile (RITCH, 2007).

Con toda la información obtenida sabremos la demanda energética de la vivienda y así poder diseñar los sistemas de climatización a utilizar.

Para la climatización con sistema solar se utilizó el manual de diseño para el calentamiento de agua con sistemas solares térmicos, realizado por la Corporación de Desarrollo Tecnológico de la Cámara Chilena de la Construcción, 2007. Una vez diseñado el sistema solar térmico necesario, se evaluará su costo para ver su viabilidad económica.

Para la climatización geotérmica se recurrió al método unificado por la IGSHPA (International Ground Sources Heat PUMP Association), asociación internacional encargada de estudiar la energía geotérmica utilizando bombas de calor con fuente de energía tierra. Una vez diseñado el sistema geotérmico necesario se evaluará su costo para ver su viabilidad económica.

Finalmente, analizados ambos sistemas, se realizó una comparación técnica-económica analizando ventajas y desventajas de los sistemas de climatización estudiados

CAPÍTULO I: ANTECEDENTES GENERALES

1.1 Introducción

El aumento de la población mundial sumado al modelo de desarrollo de los países industrializados han provocado un problema importante contaminando el medio ambiente (*Gutiérrez y Herrera, 2001*).

Las distintas industrias incluyendo la industria de la construcción no han sabido utilizar de buena manera los recursos energéticos (*PNUMA, 2011*), con graves consecuencias en lo que son el consumo de los recursos naturales (*Gómez, 2002*).

Para el año 2050 el consumo de energía mundial se habrá doblado y gran parte de ella provendrá de la explotación continua de combustibles fósiles si no existe un cambio en la generación de energía y emisiones de CO₂ (*Edwards, 2005*).

Un tercio de la población mundial depende de energía derivada de biomasa (normalmente leña o estiércol animal) para cocinar o calentarse (*ONU, 2002*), esto se produce por falta de conocimientos, falta de recursos económicos, obstáculos institucionales u obstáculos técnicos para la utilización de otras fuentes de energía (*Scholl, 1996*).

El 60% de la población mundial vivirá en ciudades el año 2030 lo que aumentará considerablemente el consumo energético de la zona urbana (*Gehl y Hook, 2010*) y por ende de la edificación (*Córdoba, 2006*).

A nivel mundial, la eficiencia energética en edificios y viviendas puede reducir la demanda energética un 11% (444 millones de toneladas equivalentes de petróleo TEP), incluyendo una reducción de demanda energética de 412 GW para 2020, lo que equivale a un ahorro total de aproximadamente US\$ 1.2 billones (*UNDP, 2011*).

En Chile no somos ajenos a estos acontecimientos mundiales, es por eso que entre los años 2002 y 2007, el consumo per cápita de energía eléctrica (relación entre consumo residencial y número de habitantes) de la población nacional se ha incrementado en un 51% (*INE, 2008*).

Las emisiones de CO₂ que Chile produce lo posicionan como el primer país de Latinoamérica y el Caribe en emisiones de este tipo. De 1984 a la fecha, Chile pasó de 1,8 toneladas de CO₂ per cápita a 3.9 toneladas per cápita, lo que significa un aumento alarmante (*IDH, 2007*).

El consumo energético por habitante en Chile es relativamente bajo comparado con regiones de mayor nivel de desarrollo económico. En materia de energía eléctrica, Chile presenta un consumo por habitante que es cercano a un tercio del consumo de países como Australia y Nueva Zelanda (*Jiménez, 2011*). En consecuencia, no hay duda que la demanda por energía eléctrica aumentará si Chile se acerca a una economía como la de los países de la OCDE (*IEA, 2008*).

Las fuentes de combustibles fósiles son muy limitadas en Chile (*Pizarro y Silva, 1997*) por ende el suministro energético depende en forma sustantiva de importaciones de combustibles fósiles, las que se han visto afectadas por restricciones en el envío de gas natural desde Argentina. Esta situación obligó a Chile a redefinir su política energética, acentuada aún más por el acelerado incremento en los precios internacionales de los combustibles fósiles (*Mancilla, 2009*).

Debido a esto, Chile ha empezado a buscar otros recursos alternativos a los convencionales, es por eso que al adherirse al acuerdo de Copenhague el año 2010 donde acordó invertir 10 millones de dólares en investigación de biocombustibles y 400 millones de dólares para inversiones en tecnologías de energías renovables y eficiencia energética (*OCDE, 2011*).

El sector de la construcción representa un 26% del consumo total de energía en Chile (*BNE, 2011*). Por lo tanto, para ésta área, es fundamental lograr el desarrollo de proyectos tendientes a

establecer un uso eficiente de los recursos energéticos en los diferentes subsectores que abarca, contribuyendo al desarrollo de los mismos (*AChEE, 2011*).

Por ende Si Chile quiere ser líder a nivel de Latinoamérica o a nivel mundial debería poner un mayor énfasis en el desarrollo de energías renovables en desmedro del uso de los combustibles fósiles para reducir sus emisiones de CO₂ (*Vasconi, 2009*).

Lo que se propone en esta investigación es implementar sistemas de climatización activos en las viviendas aprovechando el incremento proyectado en los próximos años. Uno de los tipos de climatización activa más utilizados en Chile es la energía solar ya que las condiciones climáticas y geográficas de son óptimas (*Palma, 2013*). Sin embargo también proponemos utilizar energía geotérmica creando una comparación técnica y económica entre los dos sistemas para ver la opción más viable en distintas partes de geográficas de Chile.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Principal

- Comparar técnica y económicamente el uso de sistemas de climatización solar con el sistema de climatización geotérmica en una vivienda unifamiliar.

1.2.2 Objetivos Secundarios

- Calcular las necesidades térmicas de la vivienda.
- Estimar los niveles de emisiones de CO₂ con respecto al sistema de climatización en la vivienda.
- Determinar y comparar el aporte energético de los sistemas solares y geotérmicos de climatización implementados en la vivienda.
- Evaluar la viabilidad económica entre una vivienda con sistema de climatización solar o geotérmica y una vivienda con el sistema de climatización tradicional.

1.3 Alcances

- Los cálculos y diseños de los sistemas de climatización se realizarán considerando las cargas térmicas de la vivienda ubicada en la ciudad de Antofagasta.
- La vivienda a climatizar en el estudio presenta un área construida de 65 m².

1.4 Metodología de la investigación

Para realizar este trabajo es necesario comenzar con una revisión bibliográfica del tema (sistemas de climatización solar y geotérmica) y así lograr definir los conceptos básicos y variables a utilizar.

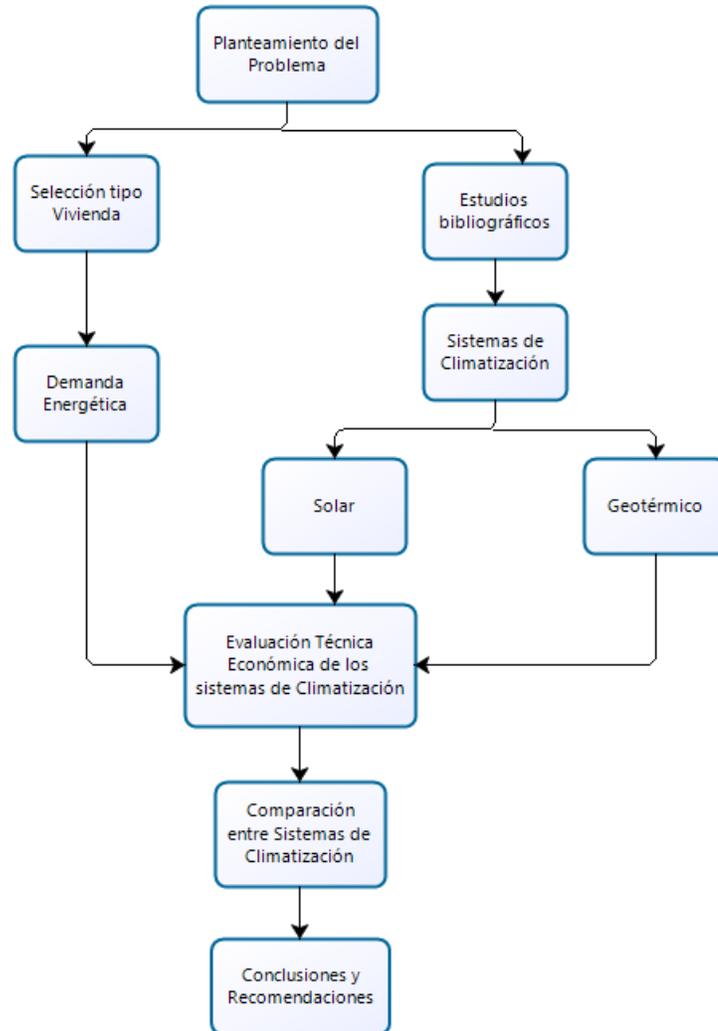
Luego se procede a definir el lugar donde se realizará esta experiencia (para obtener los datos climáticos), el tipo de sistema de climatización a utilizar en ambos casos (paneles fotovoltaicos, bombas, baterías, convertidores, etc.), el tipo de vivienda al que se le aplicará este estudio, el consumo eléctrico por vivienda y por último el modelo matemático para realizar los cálculos necesarios.

Al definir los datos necesarios para la investigación se puede iniciar un estudio técnico donde gracias a los resultados obtenidos con el modelo matemático, se podrá concluir que sistema de climatización es más efectivo (aporte energético).

Luego para el estudio económico se observan dos datos, el presupuesto (material y mano de obra) de los sistemas de climatización y el promedio de consumo eléctrico (costo) de las viviendas con lo que se puede dar inicio a un evaluación de proyecto del punto de vista del consumidor, para definir si es viable comprar una vivienda con sistemas de climatización solar o geotérmica en desmedro de una con sistema de climatización tradicional.

Teniendo la evaluación técnica y económica de los sistemas de climatización, se crearán criterios de evaluación para determinar qué tipo de sistema de climatización es mejor aplicar en la zona de estudio.

FIGURA 1.1: Diagrama de Metodología de la Investigación



Fuente: Elaboración Propia.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Confort Térmico en la vivienda.

El confort es esencial para la creación de ambientes humanos saludable y engloba los aspectos térmicos, de humedad, ventilación e iluminación. El objetivo de sentirse cómodo en una edificación es muy importante e incluso la organización mundial de la salud (OMS) lo destaca, definiendo la salud de las personas como “un estado de completo bienestar físico, mental y social.”

A continuación se presentan distintas definiciones:

Según la ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) lo define como las condiciones mentales por las que se expresan satisfacción con el ambiente térmico, las cuales requieren de una evaluación subjetiva.

El confort térmico se logra cuando las condiciones permiten que el sistema termorregulador este en mínima tensión.

Según la Organización mundial de la salud, (Edwards, 2005), el confort es un estado de completo bienestar físico, mental y social.

Según la UNE-EN ISO 7730 define confort como la condición en la que existe satisfacción respecto del ambiente térmico.

Los principales factores que condicionan un confort térmico para las personas son las siguientes:

- Temperatura del aire
- Humedad relativa
- Velocidad del aire
- Temperatura media de las superficies que rodean el local

2.2 Climatización

Por definición es la creación de condiciones de temperatura, humedad e higiene del aire para conseguir el “confort” y comodidad dentro de un hábitat determinado.

A partir para lo mencionado anteriormente la climatización equivale a lo que en inglés se llama Heating, Ventilating and Air conditioning (HVAC), esto aclara las tres cuestiones fundamentales de la climatización que son la calefacción, ventilación y el aire acondicionado por separado.

La climatización para lograr el “confort” se puede lograr a través de sistemas pasivos o sistemas activos.

El sistema pasivo se basa en principios básicos de física como la conducción, radiación y convección del calor, por ende este sistema se enfoca mayormente en la arquitectura y diseño del edificio.

El sistema activo se basa en la utilización de artefactos artificiales para lograr el confort de una edificación, como por ejemplo las placas solares térmicas o bombas de calor geotérmicas que se estudiarán en esta tesis.

2.2.1 Calefacción y Refrigeración

Gracias a los sistemas de calefacción y refrigeración podemos llegar a condiciones de confort para una persona en una edificación.

En la actualidad se ha comprobado que las técnicas utilizadas para generar una calefacción o refrigeración poseen una demanda alta en el consumo energético y producen elevadas emisiones de CO₂, es por eso que nace la preocupación de actuar en este tema y así lograr un consenso entre un buen confort y el medio ambiente.

Para lograr un confort térmico en la edificación con el menor consumo energético en lo que respecta a la climatización, se han realizado estudios que buscan crear un sistema de climatización innovador que cumpla con los requerimientos del bienestar térmico a través de la eficiencia energética.

2.2.2 Carga Térmica.

Cuando se habla de carga térmica sobre una vivienda, se entiende que se habla de un fenómeno que tiende a modificar la temperatura interior del aire o su contenido en humedad.

En este sentido se puede establecer una primera clasificación de las cargas térmicas, según su incidencia:

- a) Cargas térmicas sensibles: aquellas que van a originar una variación en la temperatura del aire.
- b) Cargas térmicas latentes: las que van a originar una variación en la humedad absoluta del ambiente (contenido de agua en el aire).

El conocimiento de las cargas térmicas es imprescindible, como paso previo para diseñar el sistema de climatización al interior de la vivienda

2.3 Energía Solar Térmica

La energía solar se ha utilizado a lo largo de la historia, sin embargo la manera en que se utilizaba ha cambiado con el tiempo.

La energía del sol, la más abundante de la Tierra, es renovable, inagotable y limpia, y contribuye a la reducción de las emisiones de CO₂ y otros gases de efecto invernadero. Según el Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (IDAE), una vivienda unifamiliar puede evitar 1,5 toneladas de dióxido de carbono (CO₂) al año utilizando este tipo de energía limpia y sustituyendo el consumo eléctrico.

Sin embargo se debe considerar que a pesar de su abundancia, el aprovechamiento de la energía solar está condicionado principalmente por tres aspectos, la intensidad de la radiación solar recibida por la tierra, los ciclos diarios y anuales a los que está sometida y las condiciones climatológicas de cada lugar. La utilización provechosa de la radiación solar como fuente de energía está directamente ligada a la situación geográfica del lugar escogido para aprovecharla y de las variaciones temporales.

Una de las características de esta fuente de energía es que podemos convertir energía solar en energía calórica a través de algún medio líquido o gaseoso con fines sanitarios o de climatización para usos habitacionales, industriales o comerciales.

Estos sistemas se dividen en tres grupos dependiendo de las temperaturas que trabajen, estos son:

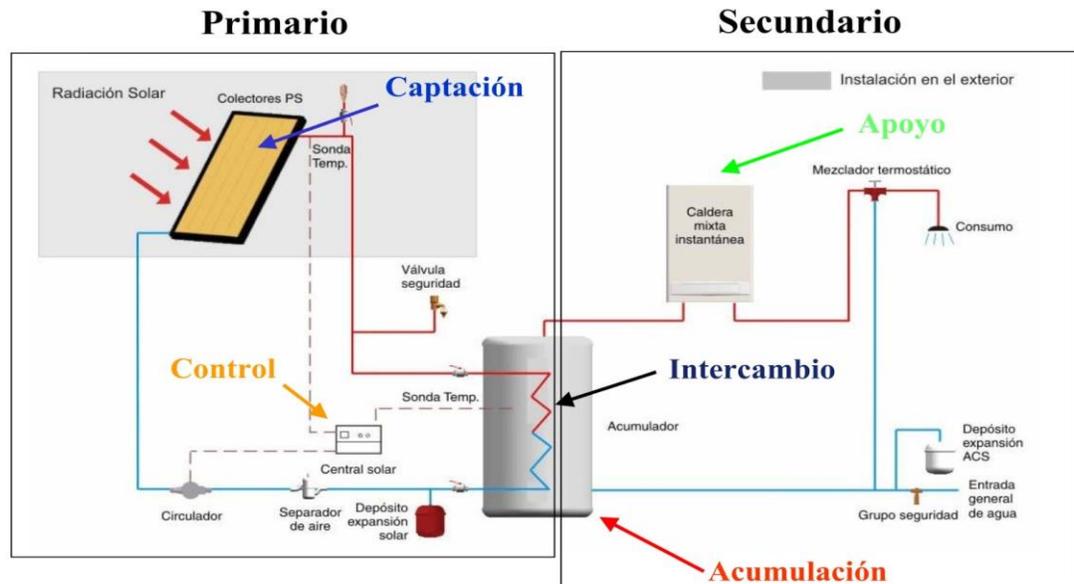
- Baja temperatura: Hasta 150 grados Celsius.
- Media temperatura: Desde 150 a 600 grados Celsius.
- Alta temperatura: Desde 600 a 1200 grados Celsius.

FIGURA 2.1: Paneles solares de tubos al vacío.



Fuente: Greensolar, 2013

FIGURA 2.2: Sistemas de climatización solar y su Funcionamiento.



Fuente: www.argem.es.

2.3.1 Funcionamiento de los sistemas de climatización solar

Una instalación Solar Térmica está formada por captadores solares (colectores), un circuito primario y secundario, intercambiador de calor, acumulador, vaso de expansión y tuberías.

a) Colectores

Es un dispositivo diseñado para recoger la energía radiada por el sol y convertirla en energía térmica.

Los colectores están compuestos por los siguientes elementos:

- **Cubierta:** Es transparente, puede estar presente o no. Generalmente es de vidrio aunque también se utilizan de plástico ya que es menos caro y manejable, pero debe ser un plástico especial. Su función es minimizar las pérdidas por convección y radiación y por eso debe tener una transmitancia solar lo más alta posible.
- **Canal de aire:** es un espacio que separa la cubierta de la placa absorbente. Su espesor se calcula teniendo en cuenta para equilibrar las pérdidas por convección.
- **Placa absorbente:** La placa absorbente es el elemento que absorbe la energía solar y la transmite al líquido que circula por las tuberías. La principal característica de la placa es que tiene que tener una gran absorción solar y una emisión térmica reducida. Como los materiales comunes no cumplen con este requisito, se utilizan materiales combinados para obtener la mejor relación absorción / emisión.
- **Tubos o conductos:** Los tubos están tocando (a veces soldadas) la placa absorbente para que el intercambio de energía sea lo más grande posible. Por los tubos circula el líquido que se calentará e irá hacia el tanque de acumulación.

- **Capa aislante:** La finalidad de la capa aislante es recubrir el sistema para evitar y minimizar pérdidas. Para que el aislamiento sea el mejor posible, el material aislante deberá tener una baja conductividad térmica.

Estos colectores utilizan un fluido para lograr el objetivo de climatizar un lugar. Existen distintos métodos para lograr estos resultados. Estos son:

- **Colector de placa plana:** El alma del sistema es una verja vertical de tubos metálicos, que conducen el agua fría en paralelo, conectados por abajo por un tubo horizontal en la toma de agua fría y por arriba por otro similar al retorno. La parrilla viene encajada en una cubierta, como la descrita más arriba, normalmente con doble vidrio para arriba y aislante por detrás.
- **Colector de vacío “todo vidrio”:** En este sistema los tubos metálicos del sistema precedente se sustituyen por tubos de vidrio, introducidos, de uno en uno, en otro tubo de vidrio entre los que se hace el vacío como aislamiento. Las grandes ventajas que presentan estos tipos de captadores son su alto rendimiento. En caso de que uno de los tubos se estropeará, no hay que cambiar todo el panel por uno nuevo, sino que sólo hay que cambiar el tubo afectado.
- **Colector de vacío con “tubos de calor”:** Este sistema aprovecha el cambio de fase de vapor a líquido dentro de cada tubo, para entregar energía a un segundo circuito de líquido de transporte. Los elementos son tubos cerrados, normalmente de cobre, que contienen el líquido que, al calentarse por el sol, hierve y se convierte en vapor que sube a la parte superior donde hay un cabezal más ancho (zona de condensación), que en la parte exterior está en contacto con líquido transportador, que siendo más frío que el vapor del tubo capta el calor y provoca que el vapor se condense y caiga en la parte baja del tubo para volver a empezar el ciclo. El líquido del tubo puede ser agua que, habiendo reducido la presión haciendo un vacío parcial, tendrá un punto de ebullición bajo para trabajar incluso con la insolación de los rayos infrarrojos en caso de nube. El tubo de calor (o tubo de cobre) se puede envolver con una chaqueta de materiales especiales para minimizar las pérdidas por irradiación. El tubo de calor se cierra dentro de otro tubo de vidrio entre los que se hace el vacío para aislar. Se suelen emplear tubos de vidrio resistente, para reducir los daños en caso de pequeñas granizadas.

b) **Circuito primario**

El circuito primario, es circuito cerrado, transporta el calor desde el captador hasta el acumulador (sistema que almacena calor). El líquido calentado (agua o una mezcla de sustancias que puedan transportar el calor) lleva el calor hasta el acumulador. Una vez enfriado, vuelve al colector para volver a calentar, y así sucesivamente.

c) **Intercambiador de calor**

El intercambiador de calor calienta el agua de consumo a través del calor captado de la radiación solar. Se sitúa en el circuito primario, en su extremo. Tiene forma de serpentín, ya que así se consigue aumentar la superficie de contacto y por lo tanto, la eficiencia.

El agua que entra en el acumulador, siempre que esté más fría que el serpentín, se calentará. Esta agua, calentada en horas de sol, nos quedará disponible para el consumo posterior.

d) Acumuladores

Por definición es un depósito donde se acumule la energía térmica que posteriormente se destina a ser utilizada, con el fin de satisfacer las demandas a cualquier hora del día.

En los sistemas de climatización solar, cabe destacar el acumulador de energía solar, ya que se puede almacenar de diversas maneras. Estas son:

- Calor sensible: El calor almacenado aumenta la temperatura de un medio líquido, sólido o gaseoso.
- Calor latente: El calor almacenado involucra un cambio de estado del sistema receptor (sólido o líquido); la restitución del calor corresponde al cambio de estado inverso.
- Calor sensible y latente: El calor almacenado entraña una variación de temperatura y un cambio de estado del sistema receptor (sólido o líquido); la restitución del calor corresponde al cambio de estado inverso.
- Energía química de productos en una reacción química reversible.
- La energía mecánica puede ser convertida en energía potencial y almacenada. Esto se refiere a elevar fluidos y luego recuperar su energía potencial.
- Sustancias obtenidas en procesos solares no energéticos, como el agua destilada en un alambique solar que se puede almacenar en depósitos para su utilización posterior.
- La elección del medio de almacenamiento depende directamente de la naturaleza del proceso en que se utilizará la energía almacenada. En los sistemas de calentamiento de agua es lógico utilizar el calor sensible de la misma agua como medio de almacenamiento. En los sistemas de calentamiento de aire se utiliza, como medio de almacenamiento, calor sensible o latente en unidades de almacenamiento particuladas.

e) Circuito secundario

El circuito secundario o de consumo, (circuito abierto), entra agua fría de suministro y por el otro extremo del agua calentada se consume. El agua fría pasa por el acumulador primeramente, donde calienta el agua hasta llegar a una cierta temperatura. Las tuberías de agua caliente del exterior, deben estar cubiertas por aislantes.

Para aplicar calefacción se debe incorporar un sistema emisor de calor como un radiador, suelo radiante o muro radiante por nombrar algunos.

f) Bombas

Las bombas, en caso de que la instalación sea de circulación forzada, son de tipo recirculación (suele haber dos por circuito), trabajando una la mitad del día, y la pareja, la mitad del tiempo restante. La instalación consta de los relojes que llevan el funcionamiento del sistema, hacen el intercambio de las bombas, para que una trabaje las 12 horas primeras y la otra las 12 horas restantes.

Si hay dos bombas en funcionamiento, está la ventaja que en caso que una deje de funcionar, está la sustituta, de modo que así no se puede parar el proceso ante el fallo de una de estas. El otro motivo a considerar, es que gracias a este intercambio la bomba no sufre tanto, sino que se la deja descansar, enfriar, y cuando vuelve a estar en buen estado (después de las 12 horas) se vuelve a poner en marcha. Esto ocasiona que las bombas puedan alargar durante más el tiempo de funcionamiento sin tener que hacer ningún tipo de mantenimiento previo.

g) Vaso de expansión

El vaso de expansión absorbe variaciones de volumen del fluido, el cual circula por los conductos del captador, manteniendo la presión adecuada y evitando pérdidas de la masa del fluido. Es un recipiente con una cámara de gas separada de la de líquidos y con una presión inicial en función de la altura de la instalación.

Lo que más se utiliza es con vaso de expansión cerrado con membrana, sin transferencia de masa en el exterior del circuito.

h) Tuberías

Las tuberías de la instalación se encuentran recubiertas de un aislante térmico para evitar pérdidas de calor con el entorno. Antiguamente se utilizaban tuberías de cobre. Luego se utilizó tubos PEX-AL-PEX, consistentes en tres capas plástico-aluminio-plástico, mucho más baratos y con mayor vida útil que la tubería de cobre tradicional.

Al pasar los años de uso del equipo y por la acumulación de radiación solar, se encontró que el PEX se cristalizaba destruyéndose por presión. Actualmente, se utiliza para circuito cerrado cañerías de acero inoxidable BPDN aislada con espuma elastomérica y rodeada de una mica de EPDM que da aislamiento térmico y proporciona durabilidad al proteger contra la radiación, y fallas por ruptura de uniones y soldaduras.

i) Panel de Control

Se dispone también de un panel principal de control en la instalación, donde se muestran las temperaturas en cada instante (un regulador térmico), de manera que pueda controlarse el funcionamiento del sistema en cualquier momento. Aparecen también los relojes encargados del intercambio de bombas.

2.4 Energía Geotérmica

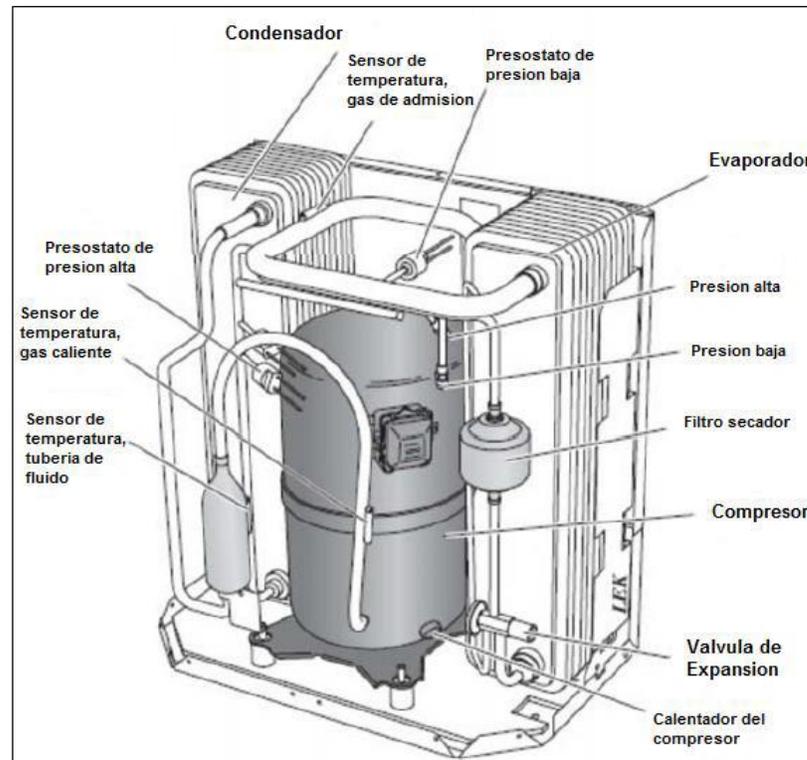
El planeta tierra constituye un sistema activo desde el punto de vista energético, ya que contiene una inmensa cantidad de energía en forma de calor acumulado en toda su masa, la cual procede del núcleo de la tierra y se va renovando gracias a la radiación solar que cada día atraviesa la atmosfera y que es absorbida en gran parte por la superficie del planeta en forma de calor.

Es este calor más superficial llamado de muy baja temperatura o entalpia, el que se utiliza como fuente de energía para la climatización de viviendas.

Por lo tanto no hace falta hablar de un yacimiento de energía geotérmica de baja temperatura, ya que cualquier punto a poca profundidad de la corteza terrestre puede ser empleado como fuente de energía al estar la temperatura normalmente por debajo de los 25 °C incluso en las zonas con climas fríos.

2.4.1 Bombas de calor

FIGURA 2.3: Bomba de Calor Geotérmica



Fuente: www.nibe.eu/ (2013)

Las leyes de los gases de Boyle, Mariotte, Charles y Gay-Lussac, no son más que el reflejo de un principio ya conocido desde muy antiguo por los físicos y que puede enunciarse así: “Un gas se calienta cuando se comprime y se enfría cuando se expande”. Este sencillo enunciado, casi evidente, es el origen de una de las máquinas con más difusión en la sociedad europea y con la que se pretenderá explicar el funcionamiento básico de una bomba de calor.

En efecto, los clásicos frigoríficos, tanto domésticos como industriales, utilizan este principio. Los denominados comúnmente “refrigerador” o “nevera” son armarios o cajones aislados térmicamente para que el calor no penetre dentro de dicho armario.

Dentro del refrigerador se dispone de un panel de captación, que contiene en su interior un circuito hidráulico, por el que circula un líquido refrigerante o un gas licuado. Este líquido tiende a evaporarse captando o “robando” rápidamente el calor introducido junto con el alimento.

Una vez captado el calor en el líquido o gas, éste pasa a un compresor que lo comprime, consiguiendo así que aumente de temperatura.

Aumentada su temperatura en la compresión, se traspassa por circulación al panel o circuito exterior (parte trasera de los refrigeradores).

El calor que transporta el líquido invadirá la ausencia de éste en el ambiente exterior, disipándolo fuera del refrigerador.

Este mecanismo es lo que se denomina una bomba de calor, y con ella se ha conseguido extraer el calor del interior del frigorífico y se ha disipado en el exterior.

Así pues, de una forma más general podemos definir una bomba de calor como un mecanismo que aprovecha las leyes de la termodinámica para mover el calor de forma ultra eficiente de un lugar a otro.

Para lograrlo, convierte el líquido refrigerante que circula por su interior en gas de forma mecánica.

El gas absorbe el calor de una fuente de energía, y el compresor, que es el único proceso que consume electricidad, comprime el gas para pasarlo de nuevo al estado líquido, extrayendo el calor, que podemos aplicar después.

Si se consigue aprovechar el frío en el evaporador (válvula de expansión) para enfriar un ambiente en verano, y el calor en el condensador (compresor) para calentar el mismo ambiente en invierno, se habrá conseguido alcanzar el concepto de climatización.

Un aparato de aire acondicionado es una bomba de calor semejante a un frigorífico, pero que dispone de componentes adicionales que permiten enviar calor en cualquiera de los dos sentidos. Por lo tanto lo que hace es expulsar al aire de la calle el calor que hay en nuestra casa en verano, e introducir en invierno aire caliente.

Pues bien, la bomba de calor geotérmica hace lo mismo que la máquina de aire acondicionado pero el lugar de intercambiar el calor con el aire de la calle, lo intercambia con el subsuelo, que mantiene una temperatura constante a largo de todo el año.

En el sistema de lazo cerrado, empleado en el futuro proyecto, circula una solución anticongelante, como fluido de transferencia, por las tuberías enterradas.

En verano el terreno es más frío que el aire con lo que las tuberías condensan el refrigerante a temperaturas más bajas, mientras que en invierno es al revés y las tuberías evaporan el refrigerante a temperaturas más altas.

2.4.1.1 Componentes, Bomba de Calor Geotérmica

a) Intercambiador:

Un intercambiador de calor es un dispositivo diseñado para transferir calor de un fluido a otro, sea que estos estén separados por una barrera o que se encuentren en contacto. Son parte esencial de los dispositivos de refrigeración, acondicionamiento de aire, producción de energía y procesamiento químico.

En una bomba de calor hay dos tipos de intercambiadores:

- **Evaporador:** Elemento en el que la ebullición del fluido refrigerante procedente del sistema de expansión produce el efecto frigorífico. Se trata, de un intercambiador de calor, en el que el fluido refrigerante que después de la expansión se encuentra como vapor húmedo, absorbe calor del medio, ya sea aire, agua o cualquier otra sustancia, para cambiar de estado hasta que todo se encuentre como gas. Cuanto mayor sea la fracción líquida del vapor húmedo, mayor será el efecto frigorífico.
- **Condensador:** Intercambiador de calor en el que el refrigerante que proviene del compresor en estado de vapor sobrecalentado, a temperatura elevada, cede calor a un medio que puede ser aire o agua. Este enfriamiento produce la condensación del fluido refrigerante. El condensador disipa la energía que recoge el evaporador, y además la componente térmica del trabajo del compresor.

b) Compresor:

Este dispositivo permite aumentar la presión del refrigerante en estado gaseoso y normalmente sobrecalentado, procedente del evaporador, hasta una presión que favorece el paso de estado de gas a líquido en el condensador, cediendo calor al entorno.

Es el elemento mecánico más complicado y delicado de la instalación, siendo objeto de inspecciones y verificaciones sistemáticas. Además, el compresor es el único elemento de la máquina que necesita consumir energía eléctrica para su funcionamiento.

c) Válvula de Expansión:

La válvula de expansión es el elemento que se encarga de separar el lado de alta presión del de baja presión. Su finalidad es doble: regular el flujo de refrigerante hacia el evaporador y reducir la presión del líquido refrigerante.

d) Inversor de Ciclo o Válvula de 4 Vías:

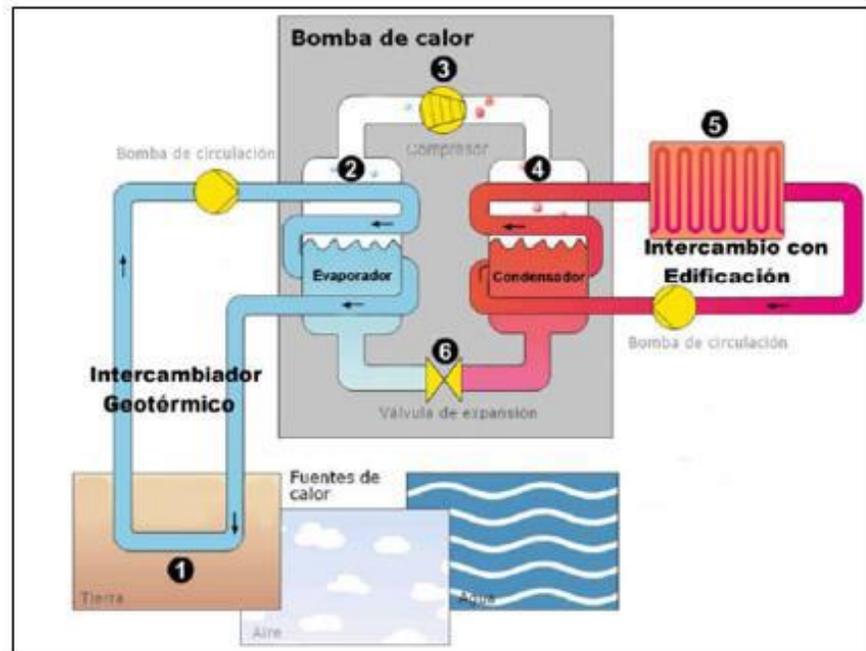
Esta válvula sirve para regular el flujo de refrigerante desde la descarga del compresor hacia la denominada sección exterior o sección interior que actúa como condensador. Su función es la de invertir el ciclo, ya que invierte el sentido del flujo de calor pudiendo impulsar calor en cualquier dirección

2.4.1.2 Funcionamiento de la Bomba de Calor

La Bomba de Calor trabaja en ciclo cerrado, es decir, por el interior circula un fluido refrigerante que, al atravesar los distintos componentes, sufrirá una serie de transformaciones en su estado y propiedades, al final de las cuales volverá a recuperar su estado inicial, repitiéndose cíclicamente dicha secuencia y consiguiendo los transvases de calor deseados.

En el siguiente esquema se ve el funcionamiento básico de la Bomba de Calor.

FIGURA 2.4: Funcionamiento Bomba de Calor.



Fuente: www.glendimplex.de, Mayo 2013.

El evaporador es un intercambiador de calor donde el fluido refrigerante, a baja presión y temperatura, va a absorber el calor traído hasta él por los colectores dispuestos en el subsuelo, que estarán recorridos por un fluido generalmente formado por agua y glicol, éste último para evitar la congelación de la mezcla. Al absorber el calor, el fluido refrigerante pasa de un estado líquido gaseoso a evaporarse completamente a presión constante. A continuación, el refrigerante, ya en estado vapor, pasa al compresor, elevándose su presión, temperatura y contenido energético.

El refrigerante pasa al condensador para ceder a presión constante su energía en forma de calor al fluido de distribución de calefacción del recinto que se quiere calentar: el agua que circula o bien por fancoils, o bien por radiadores o suelo radiante. Debido a esta transformación el refrigerante vuelve a estado líquido al salir del condensador. Finalmente, el fluido refrigerante pasa a la válvula de expansión, donde se acondiciona rebajando su presión y temperatura antes de entrar al evaporador como una mezcla de vapor y líquido, con predominio de vapor, completándose así el ciclo.

La bomba de calor geotérmica impulsa calor de ambientes fríos a ambientes más calientes en sentido contrario al gradiente natural de flujo de calor. Así el calor "Q2" extraído del terreno a baja temperatura "T2" es recogido por el refrigerante en el evaporador para ser llevado hacia el interior del recinto.

Sin embargo, para poder ceder este calor a una temperatura más alta T1, es necesario subir la presión y temperatura del refrigerante por medio de un compresor cuyo trabajo es recibido en forma de energía por el refrigerante. De este modo, el calor Q1 finalmente cedido en el interior del local es mayor que el extraído al terreno.

Hay que considerar que en el evaporador y condensador el flujo de calor sigue las leyes de la transmisión de calor, es decir, sigue direcciones decrecientes de temperatura, por lo que para

Conseguir los flujos de calor deseados, el refrigerante debe estar a una temperatura inferior a la del terreno en el evaporador y a una temperatura superior a la del fluido de la calefacción en el condensador, en ambos caso con un margen de unos 10-15°C para que se dé una buena transferencia de calor y se complementen los procesos de evaporación y condensación.

En el evaporador y en el condensador, la absorción o cesión de calor del refrigerante es debida principalmente a su cambio de fase. Cuando un fluido se está vaporizando o condensando, la presión y la temperatura se mantienen constantes. La temperatura a la que se vaporiza un fluido depende de su presión y viceversa.

Por lo tanto, conseguir las temperaturas del refrigerante en el evaporador y el condensador es equivalente a decir que se deben conseguir las presiones en ambos elementos que permiten los cambios de fase a dichas temperaturas.

Ésta es la función principal del compresor y de la válvula de expansión, acondicionar las presiones para una adecuada transmisión de calor.

Adicionalmente, el compresor introduce un calor equivalente a su trabajo W hacia el recinto, lo cual parece beneficioso cuando se trata de calentar. Sin embargo, no se debe perder de vista que se trata de inyectar el máximo calor renovable ofrecido por el terreno, realizando el menor trabajo W externo posible.

La bomba de calor tiene la posibilidad de invertir el sentido del flujo calorífico dependiendo de la temperatura ambiental, es decir, usarla como calefacción en invierno y como sistema de refrigeración en verano, evitando tener que duplicar los equipos instalados, uno para calentar y otro distinto para refrigerar. Para trabajar de forma inversa, las funciones del condensador y del evaporador han de intercambiarse, de modo que el intercambiador conectado térmicamente al sistema de climatización de la casa pasará a trabajar a baja presión como evaporador y el intercambiador conectado térmicamente al terreno pasará a trabajar a mayor temperatura y presión como condensador.

Para poder llevar a cabo esta reversibilidad de funciones se utiliza una válvula de 4 vías, llamada también válvula inversora.

La válvula inversora se encarga de redirigir el flujo de refrigerante al intercambiador correcto en cada modo. Se activa por la propia presión del líquido refrigerante y es pilotada eléctricamente.

2.4.2 Sistema de Climatización con Bomba de Calor Geotérmico

El sistema geotérmico de climatización de baja entalpía aprovecha la inercia térmica de la tierra a profundidades que van de 2 a 150 m. dependiendo si la instalación utiliza conductos de captación verticales, hasta 150 m de profundidad, u horizontales, a una profundidad entre 1,5 y 5 m. Se diferencia de la energía geotérmica convencional de agua caliente extraída a profundidades que pueden llegar hasta los 5 km, en que trabaja a temperaturas del terreno entre 0°C y 20°C dependiendo de la latitud.

La climatización se realiza aprovechando la diferencia de temperatura entre el subsuelo y el ambiente exterior, a través de un colector instalado bajo tierra que en invierno aprovecha la temperatura más alta del suelo para la calefacción, y en verano la temperatura más baja para la refrigeración.

Para diferenciarlo del sistema geotérmico clásico de aprovechamiento del agua caliente a gran profundidad, el sistema se llama geotérmico de bomba de calor, en inglés se le conoce con las siglas GHP (Geothermal Heat Pump) o GSHP (Ground Source Heat Pump).

2.4.3 Sistemas de Captación de Energía Geotérmica.

La energía contenida en el subsuelo se obtiene gracias a unos captadores de energía o colectores por los cuales circulara un fluido, normalmente agua glicolada, que al ponerse en contacto con el suelo, captaran o cederán energía como consecuencia de un salto térmico entre el fluido y el terreno.

2.4.3.1 Sistemas de captación cerrados

- **Intercambiador de Calor Subterráneo**

La función de un intercambiador de calor subterráneo es servir de vía de conexión entre el terreno, que es la fuente o el pozo de calor (en modo calefacción o refrigeración), y el intercambiador de calor mediante el fluido refrigerante de éste.

Para unas condiciones del terreno dadas, la carga del edificio (calefacción y/o refrigeración) es el factor principal que influye en el tamaño (capacidad) del intercambiador subterráneo, pero las temperaturas de salida y retorno del fluido portador de calor al subsuelo son fijadas por el proyectista del sistema geotérmico.

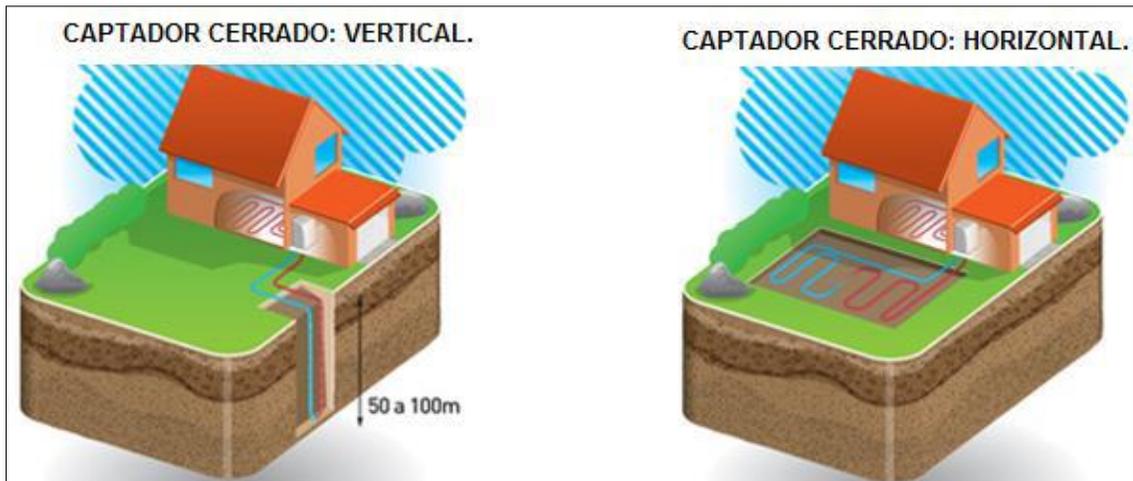
Cuanto más elevada sea la temperatura mínima aceptada a la salida del bucle, mayor será el rendimiento del sistema (refrigeración).

Sin embargo, el bucle subterráneo correspondiente tendrá mayor longitud y el coste inicial será más elevado. Esto se aplica, análogamente, a los valores más bajos para la temperatura de salida máxima (calefacción); de tal manera que nunca se descienda por debajo de una temperatura mínima del fluido geotérmico en invierno para evitar congelaciones del subsuelo (Temperatura de entrada a la captación geotérmica $> -5^{\circ}\text{C}$), y que no se exceda de una temperatura máxima del fluido geotérmico en verano que evite la degradación del polietileno de la sonda (Temperatura entrada a la captación geotérmica $< 30^{\circ}\text{C}$).

Estos Intercambiadores trabajan en forma indirecta. Siendo su elemento de transporte el fluido (agua más anticongelante) que viaja dentro de tuberías cerradas, llevando el calor de una fuente a otra.

Existen dos formas de captar la energía de la tierra, una es de manera vertical y la otra de manera horizontal.

FIGURA 2.5: Captadores Geotérmicos.



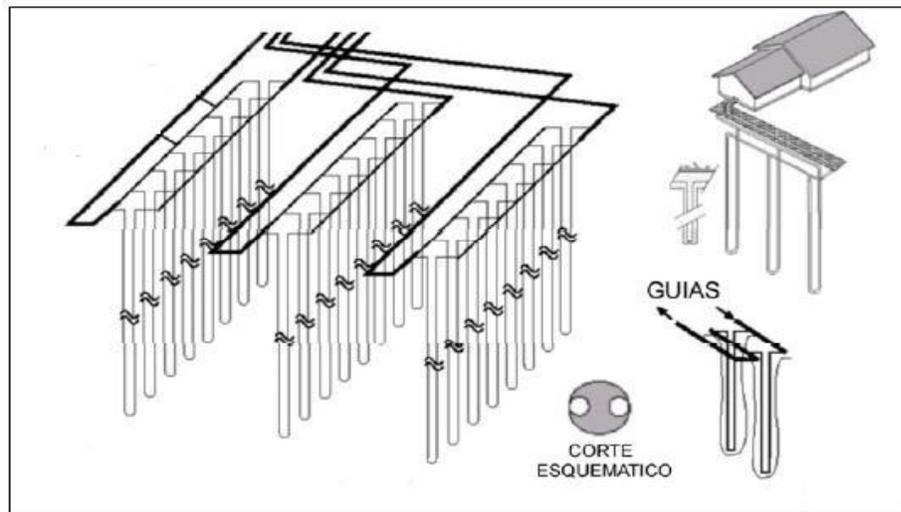
Fuente: www.grupociat.es.

- **CAPTADOR VERTICAL:**

Debido a que la temperatura a cierta profundidad (cerca de 15 a 20 metros) permanece constante durante el año, y debido a la necesidad de instalar una capacidad suficiente de intercambio de calor bajo un área específica, los intercambiadores de calor verticales son ampliamente favorecidos (intercambiadores de calor en perforaciones).

Los Intercambiadores Verticales llamadas también sondas, se suelen usar en instalaciones grandes, tales como colegios y edificios. Donde las demandas son grandes y el área para sistemas de intercambio horizontal no son posibles. (Departament of Energy, 1998)

FIGURA 2.6: Captador Vertical.



Fuente: Chiasson, 1998.

En general los Intercambiadores Verticales cerrados acoplados al suelo, consisten en dos tuberías de plástico de diámetro pequeño en forma de U enterrados en un pozo que puede tener una profundidad variable entre los 50 y los 200 metros. Las dos tuberías se utilizan como una de ida y otra de vuelta, los cuales pueden llevar cada cierta profundidad algún sistema de separación que los mantenga siempre a distancia. Luego de instalados, se pueden poner distintos tipos de relleno entre los tubos para llenar el pozo; tal como arena, el propio material del terreno o material de mayor conductividad térmica.

- **CAPTADOR HORIZONTAL:**

En este sistema la tubería de captación está enterrada en sentido horizontal, a una profundidad de hasta 2 metros aproximadamente. (Geotics)

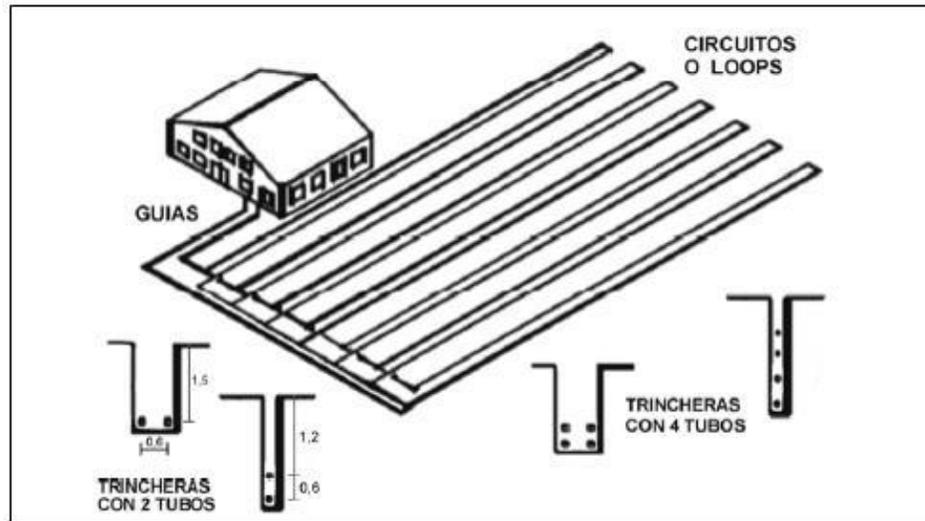
Este tipo de instalación es generalmente la más rentable para las instalaciones residenciales, particularmente para las construcciones nuevas donde exista suficiente terreno disponible.

Se requieren de zanjas de por lo menos 0,9 metros de profundidad (Departament of Energy, 1998).

Las tuberías son de Polietileno de Alta Densidad: PEAD (High Density Polyethylene: HDPE) enterradas en zanjas generalmente entre 1,5 a 1,8 metros de profundidad o más.

El diámetro de la tubería usada va de los 25 a 40mm.

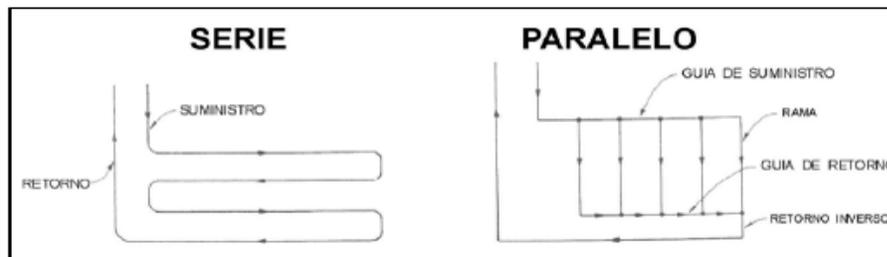
FIGURA 2.7: Captador Horizontal



Fuente: Geokiss.

Las tuberías pueden ser puestas en serie o en paralelo:

FIGURA 2.8: Captador Horizontal en serie y en paralelo



Fuente: International Ground Source Heat Pump Association, 1998.

Es importante mencionar que en la superficie del terreno de las instalaciones con sistemas de intercambio horizontal cerrado no se aconseja la presencia de árboles. Además, esta superficie no se ha de asfaltar ni poner ningún pavimento ya que estos impiden el paso del sol al subsuelo; se recomienda recubrirla de césped o con algún tipo de arena. De esta manera la radiación del sol (energía en forma de calor) llega en forma directa a la tierra y al colector geotérmico.

2.5 Sistema de distribución en la vivienda

Por último para las instalaciones de climatización solar y geotérmica se debe buscar la manera de distribuir el calor y el frío en el interior del lugar.

Existen diversos tipos de soluciones técnicas para este propósito, pero generalmente consisten en circuitos de aire o agua que absorben o ceden calor a la bomba.

Las instalaciones más utilizadas son las siguientes:

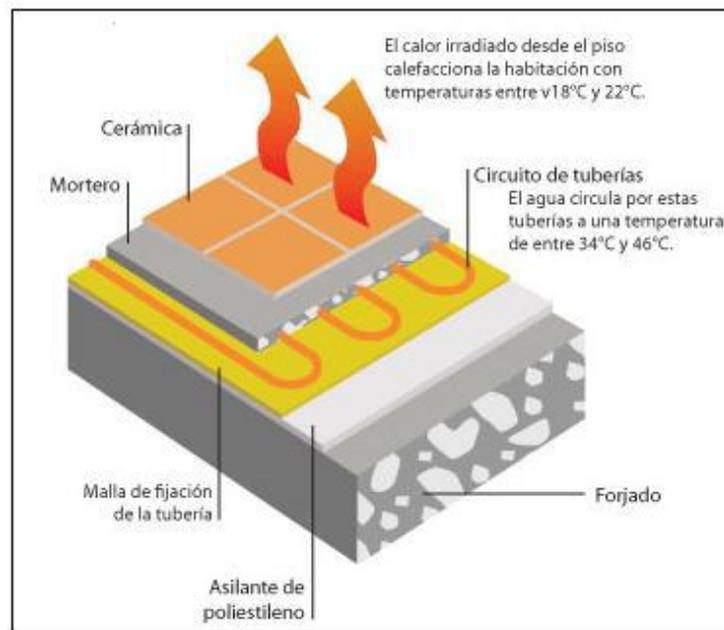
- **Splits y Francoils:** Se trata de aparatos de aire acondicionado alimentados por la bomba de calor. Pueden usarse tantas unidades tipo Split (consola de pared) como Fancoil (consola central interior que alimenta conducciones de aire).
- **Radiadores:** Es una instalación de climatización con agua al igual que el suelo radiante, pero en este caso se utilizan radiadores de pared.
- **Losa Radiante:** Se trata de un circuito cerrado de tuberías embutidas en la losa de hormigón que constituye el piso de una vivienda.

Por dichas tuberías circula un fluido a una temperatura mayor que la que se quiere alcanzar en la estancia, aportando así calor para alcanzar la temperatura de confort.

Este tipo de instalación posee la ventaja de proporcionar una climatización integral, proporcionando calefacción en invierno y refrescamiento en verano.

2.5.1 Sistema de Climatización “Losa Radiante”

FIGURA 2.9: Losa Radiante



Fuente: www.revista.consumer.es, 2013.

Analizaremos en particular este sistema de climatización, ya que lo aplicaremos utilizando la energía solar térmica y la energía geotérmica.

a) Componentes de la Losa Radiante

Constructivamente el piso radiante se ve representado mediante corte en la figura 10 donde se puede apreciar la composición y distribución de los elementos que componen este sistema.

En ella se puede observar que en la zona inferior de los muros exteriores va instalada a una banda de material aislante flexible de no más de 1 cm de espesor, que llega hasta el nivel del piso terminado. Sobre el radiante son colocadas planchas de aislamiento con densidad suficiente para soportar cargas de presión a las que estará sometido el piso, ya sea para uso habitacional o industrial.

Cuando la humedad pueda penetrar por el radiante y ser absorbida por el aislante, se debe colocar una capa delgada de plástico como barrera anti vapor.

Sobre el aislamiento se distribuyen las tuberías.

Por último se sitúa el pavimento, que puede ser de cualquier material de los usados habitualmente. Lo que no se debe realizar por ningún motivo es colocar una tarima que deje una cámara de aire entre el mortero y el tipo de pavimento que se instale (Ortega, 2001).

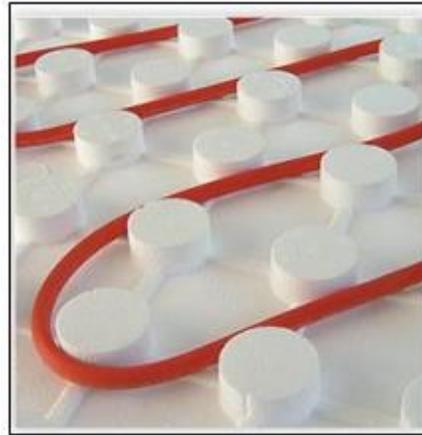
b) Características de los componentes:

- **Aislamiento**

Para evitar que el calor se propague hacia el suelo es necesario colocar un aislante entre el radiante y el mortero que cubre las tuberías, generalmente este aislante es de poliestireno expandido ya que conjuga favorablemente una excelente característica aislante, facilidad de conformado, resistencia mecánica y bajo costo (Alb, 2009).

En la actualidad existen dos presentaciones de estas planchas: lisas y con tetones (nopas). Esta última según Aislapol (2004), presenta un diseño conformado por una serie de protuberancias moldeadas, distribuidas sobre la totalidad de la placa lo que las hace adecuadas para sistemas por piso radiante ya que permite guiar las tuberías a las distancias adecuadas y recibir estas solo por presión sin la necesidad de utilizar algún sistema de sujeción o agarre mecánico adicional (aunque a veces es necesario la utilización de fijaciones debido a la tensión que presenta el tubo después de desenrollado). Este modelo de aislante permite distancia entre tubos de 5, 10, 15, 20, 25 y 30 centímetros.

FIGURA 2.10: Aislapol con Tetones



Fuente: Aislapol, 2013.

- **Tuberías de polietileno reticulado**

Por muchos años las tuberías utilizadas para sistemas por piso radiante fueron metálicas, hierro primero y cobre después, actualmente estas tuberías se han remplazado por tuberías de plástico resistentes a altas temperaturas y presiones de trabajo, denominadas tuberías termoplásticas, entre las cuales se encuentran las tuberías de polietileno reticulado.

El polietileno al ser un termoplástico es un material muy flexible pero con poca resistencia al calor y sometiéndolo a un proceso de reticulación se obtiene un material capaz de soportar temperaturas de hasta 95° C (Orkli, 2008).

Existen tres métodos para la reticulación. Estos son:

- 1) **Reticulación por peróxido (PEX-A):** En este método la reticulación se realiza a la vez que se va conformando el tubo. Mediante la acción de un peróxido o catalizador se consigue crear lazos fijos de unión entre las cadenas de polietileno lográndose así una mayor resistencia a las altas presiones y temperaturas.
- 2) **Reticulación por silano (PEX-B):** En este método la reticulación se realiza después de conseguir el tubo de polietileno, sumergiendo el tubo en cubetas.
- 3) **Reticulación por radiación de electrones (PEX-C):** En este método la reticulación también se realiza después de conseguir el tubo de polietileno. Este proceso se realiza por impacto de electrones en la superficie del tubo.

En instalaciones de calefacción cerrada el agua que circula se ve sometida a variaciones de temperaturas. A medida que la temperatura aumenta, el agua que circula por la instalación aumenta su capacidad de absorber oxígeno para luego ser liberado al momento de enfriarse, provocando la oxidación de las zonas metálicas de la instalación, lo que reduce su vida útil.

Para evitar esto la Norma UNE EN 1264 de suelo radiante, la Norma Alemana DIN 4726 y la Norma Chilena Nch 2086 (Recal, 2008a), estipulan la utilización de una barrera anti-oxígeno para reducir los problemas de corrosión que se producen al combinar tubos de plástico con materiales ferrosos en la instalación.

- **Baranda Perimetral**

Es una banda de aislamiento que separa la losa de mortero con la pared, logrando que esta sea una losa flotante, cuya función es evitar la formación de puentes acústicos y permitir la dilatación térmica del mortero de calefacción (Rehau, 2008).

La cinta debe permitir un movimiento del mortero de calefacción de cómo mínimo 5 milímetros. El material para la banda perimetral puede ser espuma de polietileno, poliestireno expandido o algún otro material aislante. Su espesor no suele ser superior a 10 mm.

- **Mortero**

El espesor mínimo de la capa de mortero debe ser de 30 mm medidos a partir de la generatriz superior de la tubería (UNE EN 1264). Sin embargo es recomendable una sección de espesor de 4 a 5 cm de mortero por sobre la generatriz de la tubería (Giacomini, 2006).

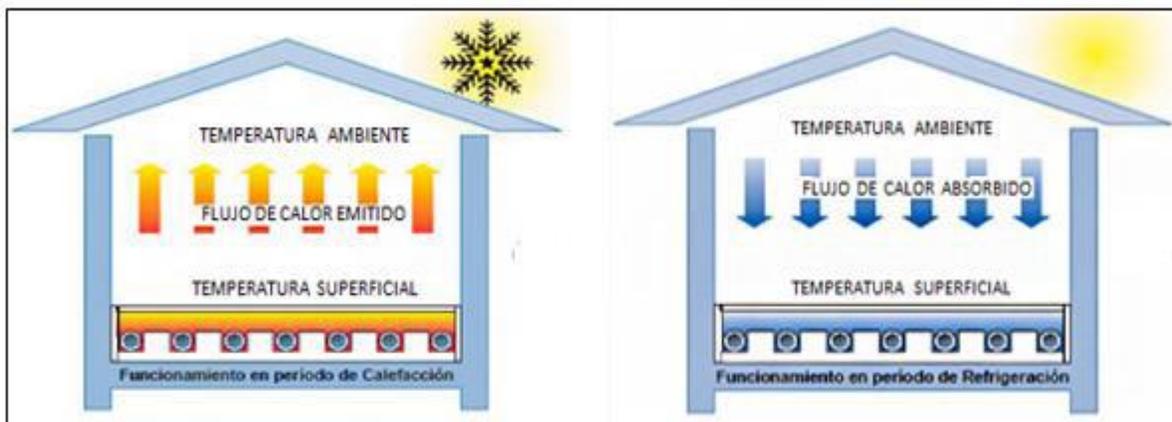
Una losa de mortero demasiado fina podría originar zonas frías y calientes en el suelo, así como la aparición de grietas (Blansol, 2007). Por encima de estos valores se aumenta considerablemente la inercia del sistema lo que es un inconveniente para este tipo de calefacción.

Es recomendable agregar un aditivo al mortero para aumentar su fluidez. Con una mayor fluidez del mortero, se requerirá una menor cantidad de agua para el amasado y producirá que se reduzca la porosidad una vez fraguado, mejorando así las características de resistencia a la compresión y maleabilidad. De esta forma el mortero envolverá perfectamente el tubo sin dejar burbujas de aire que dificultarían la transmisión del calor.

Luego de realizada la sobrelosa de mortero, se requiere que la temperatura ambiente no sea inferior a 5°C durante un mínimo de 3 días a partir del momento del hormigonado y se eviten los excesos de calor así como las corrientes de aire a fin de limitar lo máximo posible las contracciones del mortero durante el secado.

c) Distribución de Temperatura por Suelo Radiante

FIGURA 2.11: Distribución ideal de Temperatura



Fuente: www.climatización.com.uy, 2013

La climatización por suelo radiante ofrece condiciones de máximo confort y ello se debe a los siguientes factores:

- Distribución ideal de la temperatura.

Los estudios que se han realizado en el ámbito del confort, han llegado a la conclusión de que la mejor sensación de confort para las personas se consigue cuando la temperatura a nivel del suelo es ligeramente superior a la temperatura a nivel de la cabeza, es decir, “con los pies calientes y la cabeza fría”.

- Distribución uniforme de temperaturas.

Con esto se logra eliminar las zonas excesivamente frías o calientes y se genera una emisión o absorción de calor muy uniforme en todo el local.

- La superficie del suelo.

Al ser el elemento emisor se evitan los problemas que suelen originar otro tipo de elementos emisores en lo que a la integración con la decoración se refiere.

- Compatible

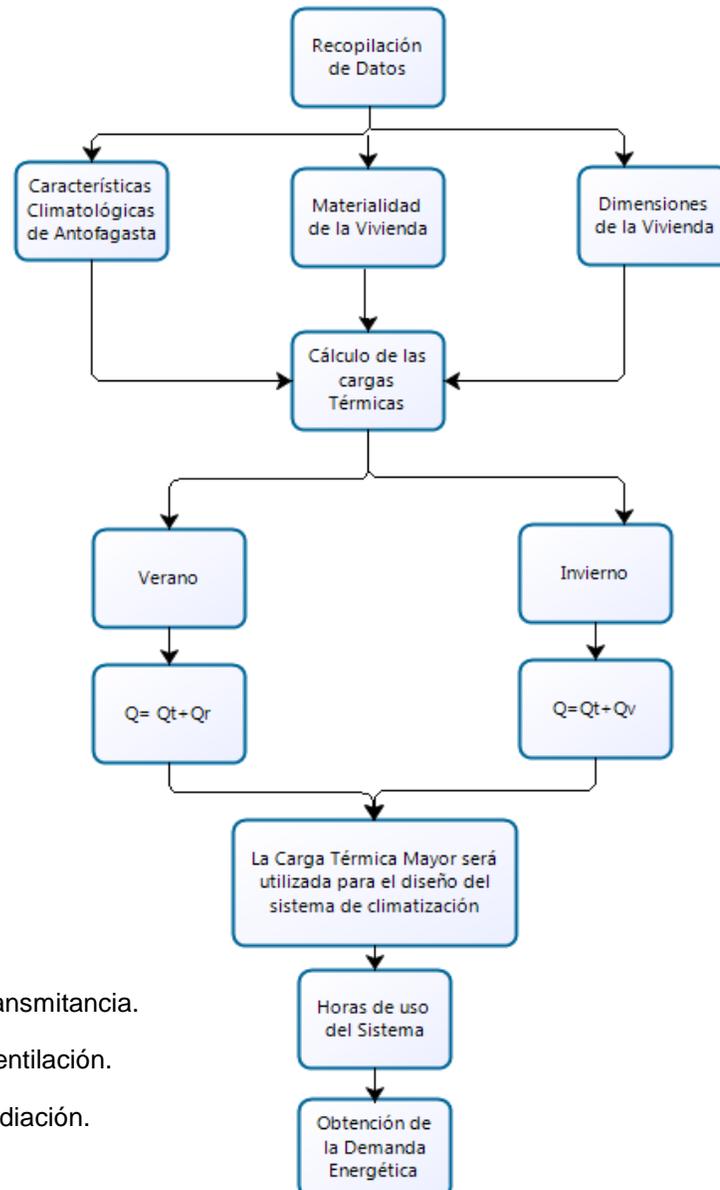
Este sistema puede utilizar cualquier tipo de pavimento. La calefacción por suelo radiante puede instalarse con cualquier tipo de pavimento, pero siempre hay que tener en cuenta su conductividad térmica a la hora de realizar el cálculo de la instalación, ya que ésta no se comportará de la misma manera con un tipo u otro de pavimento.

CAPÍTULO III: CARGA TÉRMICA Y DEMANDA ENERGÉTICA DE LA VIVIENDA.

Antes de diseñar cualquier sistema de climatización se debe tener en consideración las cargas térmicas que presente la vivienda, para luego determinar la demanda energética existente.

A continuación se puede apreciar un diagrama para ver el proceso utilizado para determinar las cargas térmicas y la demanda energética que presente la vivienda.

FIGURA 3.1: Diagrama del proceso para determinar las cargas térmicas y la demanda energética.



En la que:

Qt: Carga térmica por transmitancia.

Qv: Carga térmica por ventilación.

Qr: Carga térmica por radiación.

Fuente: Elaboración propia

3.1 Antecedentes de la vivienda a climatizar.

3.1.1 Ubicación de la vivienda.

La vivienda a estudiar será unifamiliar aislada, siendo ubicada teóricamente en la zona norte del territorio chileno, específicamente en la ciudad de Antofagasta.

Antofagasta es la capital de la segunda región de Chile, siendo la quinta ciudad mayor poblada de Chile (INE, 2012) y con el mayor ingreso per cápita lo cual la hace una ciudad económicamente atractiva.

La ciudad de Antofagasta está ubicada a 23°38'39 Sur de latitud y 70°24'39 Oeste de longitud.

3.1.2 Características de la vivienda.

La vivienda está constituida de dos dormitorios, una cocina, un baño y un living comedor. Los sectores de la vivienda están distribuidos en plano de arquitectura (ANEXO.A).

a) Materialidad de los elementos envolventes de la vivienda.

- Muros
 - ✓ Plancha OSB de 11,1 mm de espesor.
 - ✓ Lana mineral de 50 mm de espesor.
 - ✓ Plancha de Yeso – Cartón de 12,5 mm de espesor.
 - ✓ Revestimiento de fibrocemento 6mm.
- Cielo y techumbre
 - ✓ Plancha de Yeso – Cartón de 10 mm de espesor.
 - ✓ Lana de vidrio de 50 mm de espesor.
 - ✓ Plancha fibrocemento 4mm.
- Puerta
 - ✓ Planchas de MDF de 4 mm de espesor, con una cámara de aire de 30 mm.
- Piso
 - ✓ Hormigón de 7 cm (radier).
 - ✓ Aislapol de 3 cm (para piso radiante).
 - ✓ Mortero 5 cm (para piso radiante).
 - ✓ Revestimiento de madera.

- Ventanas
 - ✓ Vidrio plano de 6 mm de espesor.
 - ✓ Marco de aluminio.

b) Dimensiones de la vivienda

Según planos de arquitectura (ANEXO A) la vivienda consta de 65 m² de superficie y 2,4 m de altura, los cuales están distribuidos de la siguiente manera.

Tabla 3.1: Dimensiones de la vivienda

Sector de la vivienda	Superficie (m ²)
Dormitorio 1	11,5
Dormitorio 2	11,5
Cocina	6,8
Baño	4,3
Living – Comedor	24,4

Fuente: Elaboración Propia.

3.2 Carga Térmica.

Este concepto también conocido como carga de enfriamiento o calentamiento, se define como la cantidad de energía térmica en la unidad de tiempo que un recinto cerrado intercambia con el exterior y así lograr el confort térmico.

Para realizar el cálculo de las cargas térmicas de la vivienda, en las distintas zonas a estudiar, se requiere la información detallada del diseño de la vivienda e información climática de la zona donde se ubique.

Los cálculos de las cargas térmicas se realizaran para la época de invierno y verano, tomando la carga térmica más desfavorable para el diseño.

3.2.1 Consideraciones para diseño.

a) Condiciones interiores.

El confort térmico para una vivienda está condicionado por la percepción de cada persona, ya que no todas las personas tienen el mismo metabolismo y por ende no se sienten a gusto a las mismas condiciones de temperatura o humedad.

Para este estudio se utilizarán los valores recomendados por el “Reglamento de instalaciones térmicas en los edificios de Chile” (RITCH).

Tabla 3.2: Condiciones de confort para una vivienda.

Estación	Temperatura Operativa °C	Velocidad media aire (m/s)	Humedad Relativa (%)
Verano	23 a 25	0,18 a 0,24	40 a 60
Invierno	20 a 22	0,15 a 0,20	40 a 60

Fuente: RITCH, 2007.

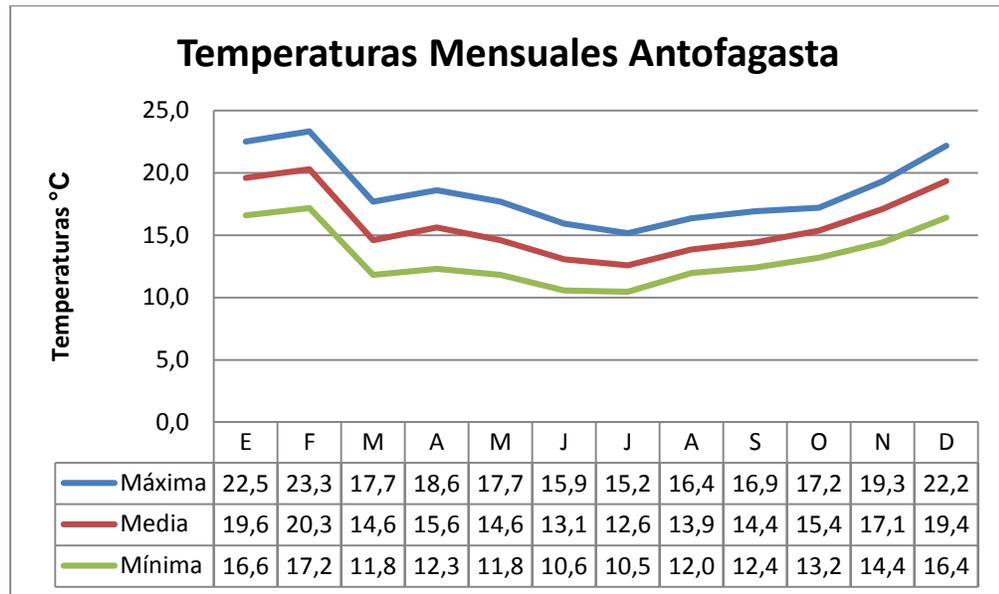
Los valores de temperatura operativa escogidos para verano e invierno serán 23°C y 21°C respectivamente.

b) Condiciones exteriores.

El detalle de las temperaturas ambiente de Antofagasta se aprecia en el ANEXO B.

Los valores escogidos para el diseño de cada ciudad se obtienen de las temperaturas máximas promedio y las temperaturas mínimas promedio.

FIGURA 3.2: Temperaturas mensuales de Antofagasta



Fuente: Elaboración propia a partir de www.wunderground.com

Los valores que se tomarán para el cálculo de la carga térmica serán aproximados hacia el más desfavorable. En invierno la temperatura promedio mínima es la del mes de Julio, con 10,5 °C, por ende el valor a utilizar será de 10 °C. En verano la temperatura promedio máxima es la del mes de Febrero, con 23,3 °C, sin embargo para efectos de cálculo el valor a utilizar será de 24 °C.

3.2.2 Cálculo de la transmitancia térmica de cerramientos.

La transmitancia se calcula de la siguiente manera:

$$U = \frac{1}{Rt}$$

En la que:

U : Transmitancia térmica en $\frac{W}{m^2K}$

Rt : Resistencia térmica total. Siendo esta la suma de las resistencias de cada material.

$$Rt = \sum \left(\frac{e}{\lambda} \right) + Rse + Rsi + Rg$$

En la que:

e / λ : Resistencia térmica de una capa de material.

Rse y Rsi : Resistencia térmica correspondiente al aire interior y exterior. (Anexo C)

Rg : Resistencia térmica de una cámara de aire.

Los cálculos realizados con la expresión anteriormente expuesta arrojaron los siguientes valores. (Anexo C).

Tabla 3.3: Resultados de la transmitancia térmica.

Sector de la vivienda	U (W/m ² K)
Muros	0,62
Cielo	0,61
Piso	0,97
Puerta	2,89
Ventana	6,2

Fuente: Elaboración Propia.

3.2.3 Cálculo cargas térmicas para invierno.

El cálculo de la carga térmica está dado por la siguiente expresión.

$$Q = (Qt + Qv)$$

En la que:

Q : Carga térmica total de invierno (w).

Qt : Carga térmica por transmisión (w).

Qv : Cargas térmica por ventilación (W).

Para realizar los cálculos de la carga térmica en invierno se utilizarán los siguientes datos de temperaturas obtenidos anteriormente

Temperatura exterior: 10 °C.

Temperatura interior: 21 °C.

Temperatura tierra: 17 °C.

Nota: Para el cálculo de los pisos se toma la T° exterior como la T° media anual más 1°C.

a) Carga térmica por transmisión

El cálculo de la carga térmica por transmisión está dado por la siguiente expresión.

$$Qt = Co * S * K * \Delta T^{\circ}$$

En la que:

Co: Coeficiente de orientación. (Norte: 1,15 – Sur: 1,05 – Este: 1,1 – Oeste: 1,05)

*K: Coeficiente global de transmisión de calor (W/m²*k).*

ΔT: Diferencia de temperatura entre el interior y el exterior.

S: Superficie expuesta a la diferencia de temperaturas (m²).

Los cálculos realizados con la expresión anteriormente expuesta arrojaron los siguientes valores de la ciudad de Antofagasta. (Anexo C)

Tabla 3.4: Resultados de la carga térmica por transmisión (invierno).

Sector de la vivienda	Pérdidas de calor (w)
Dormitorio 1	-492,95
Dormitorio 2	-503,01
Cocina	-406,53
Baño	-257,13
Living - Comedor	-988,59
Total de pérdidas	-2648,21

Fuente: Elaboración Propia.

b) Carga térmica por ventilación.

El cálculo de la carga térmica por ventilación está dado por la siguiente expresión.

$$Q_v = V * n * 1,205 * 1,005 * \Delta T^\circ$$

En la que:

V: Volumen de recinto a climatizar (m^3).

n: Número de renovaciones horarias. (0,5 general y 1 para baño)

ΔT : Diferencia de temperatura entre el interior y el exterior.

1,205: Calor específico del aire.

1,005: Densidad del aire (Kg/m^3)

Los cálculos realizados con la expresión anteriormente expuesta arrojaron los siguientes valores para la ciudad de Antofagasta.

Tabla 3.5: Resultados de la carga térmica por ventilación (invierno).

Sector de la vivienda	Pérdidas de calor (w)
Dormitorio 1	-183,83
Dormitorio 2	-183,83
Cocina	-111,90
Baño	-137,48
Living - Comedor	-390,05
Total de pérdidas	-1007,09

Fuente: Elaboración propia

Con las cargas térmicas por transmisión y ventilación se obtiene la carga térmica total de invierno o también llamada de calefacción que se aprecia en la siguiente tabla por ciudad.

Tabla 3.6: Resumen de cargas térmicas en invierno.

Resumen de pérdidas de calor en Invierno (W)			
Ciudad	Qt	Qv	Qt + Qv
Antofagasta	-2648,21	-1007,09	-3655,30

Fuente: Elaboración propia

3.2.4 Cálculo cargas térmicas para verano.

El cálculo de la carga térmica está dado por la siguiente expresión.

$$Q = (Qt + Qr)$$

En la que:

Q: Carga térmica total de verano (w).

Qt: Carga térmica por transmisión (w).

Qr: Cargas térmica por radiación solar (W).

Para realizar los cálculos de la carga térmica en verano se utilizaran los siguientes datos de temperaturas obtenidos anteriormente

Temperatura exterior: 24 °C.

Temperatura interior: 23 °C.

Temperatura tierra: 17 °C.

Nota: Para el cálculo de los pisos se toma la T° exterior como la T° media anual más 1°C.

a) Carga térmica por transmisión.

Los cálculos para la carga térmica por transmisión se realizan de la misma manera que en invierno (Anexo C). Los resultados obtenidos son los siguientes:

Tabla 3.7: Resultado de cargas térmicas por transmisión (verano).

Sector de la vivienda	Pérdidas de calor (w)
Dormitorio 1	-26,53
Dormitorio 2	-25,62
Cocina	-6,61
Baño	-3,24
Living - Comedor	-62,00
Total de pérdidas	-124,01

Fuente: Elaboración propia.

b) Carga térmica por radiación solar.

El cálculo de la carga térmica por radiación está dado por la siguiente expresión.

$$Q_r = S * R * C_s * C_c$$

En la que:

S: Superficie traslucida expuesta (m^2). * Se desprecia la radiación por muros.

R: Radiación solar que atraviesa la superficie traslucida (w/m^2). Tabulada para cada latitud y por hora del día. (Anexo C)

C_s y *C_c*: Coeficientes de sombra y coeficiente de corrección por marco de ventana.

El aporte de radiación solar se analizará a tres horas del día, a las 8:00, 12:00 y 16:00 horas debido a los cambios de radiación que tiene cada lugar según la ubicación de la vivienda y se escogerá el mayor valor para el diseño. Según la tabulación por latitud y por hora (Anexo C) los valores obtenidos son los siguientes.

Tabla 3.8: Aporte de la radiación solar a distintas horas.

	Radiación solar (W/m^2)		
	8:00	12:00	16:00
Antofagasta	222,37	355,31	664,98

Fuente: Elaboración propia a partir de Manual de aire acondicionado, Carrier.

Con las cargas térmicas por transmisión y radiación se obtiene la carga térmica total de verano o también llamada de refrigeración que se aprecia en la siguiente tabla para la ciudad de Antofagasta.

Tabla 3.9: Resumen de cargas térmicas en verano.

Cargas térmicas en verano (W)			
Ciudad	Qt	Qr	Qt + Qr
Antofagasta	-124,01	664,98	540,97

Fuente: Elaboración propia.

Con los cálculos realizados en verano e invierno se debe escoger la mayor carga térmica para utilizarla en el diseño.

- Verano: 540,97 W.
- Invierno: 3655,3 W.

Como se aprecia el valor a utilizar es la carga térmica de invierno a la cual se le aplicara un factor de seguridad de 10% por lo que el valor a utilizar para temas de cálculos será de 4KW.

3.3 Demanda energética de la vivienda.

Para la vivienda de 65 m² en estudio se calculó una pérdida de calor máxima de 4 Kw para el mes de diseño (Julio, 2013) con una temperatura promedio mínima de 10 °C y la temperatura requerida al interior de 21 °C (invierno).

Con estos datos se debe determinar la pérdida de calor por cada grado Celsius de la siguiente manera:

$$\frac{4 \text{ Kw}}{21 \text{ }^{\circ}\text{C} - 10 \text{ }^{\circ}\text{C}} = 0,364 \frac{\text{Kw}}{\text{ }^{\circ}\text{C}}$$

Este valor sirve para saber la pérdida de calor que tiene la vivienda para cada temperatura exterior a partir de la siguiente expresión:

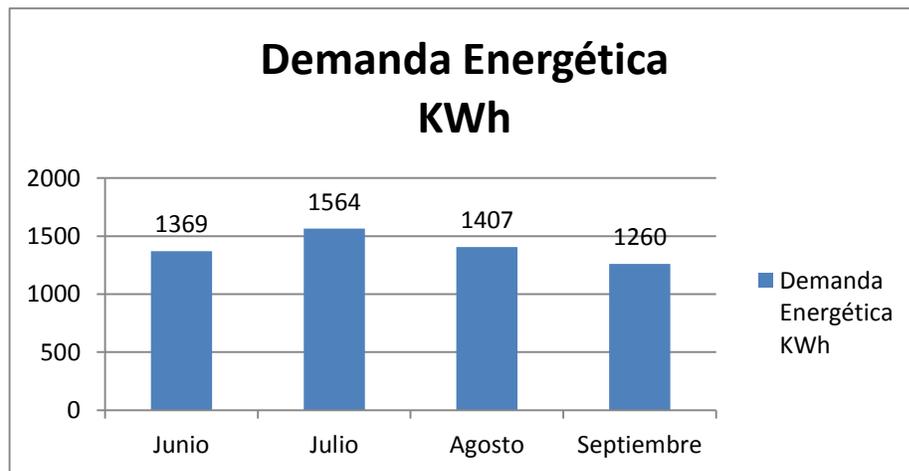
$$0,364 \frac{\text{Kw}}{\text{ }^{\circ}\text{C}} * \Delta T^{\circ} = \text{Pérdida de calor de la vivienda.}$$

Con los datos de temperatura de Antofagasta sumado a la expresión anterior podemos ver las cargas térmicas mensuales.

En este estudio se estimará climatizar una vivienda desde las 6 am hasta las 12am de lunes a viernes y desde las 9 am hasta las 12 am los sábados y domingo. Con esto se delimita los horarios de uso del sistema, pudiendo contabilizarlas.

Por lo tanto se requieren las temperaturas horarias de los meses (invierno) a climatizar las cuales se pueden apreciar en el Anexo D donde se obtienen el siguiente gráfico.

FIGURA3.3: Demanda energética de la vivienda.



Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA Y DISEÑO DEL SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN SOLAR EN ANTOFAGASTA.

4.1 Introducción:

El recurso solar es aquella parte de la energía solar que puede ser utilizada por el hombre. Para ello, la energía aportada por el sol debe ser captada mediante algún mecanismo con el fin de generar calor o electricidad.

Para este estudio se utilizará el "Manual de diseño para el calentamiento de agua con sistemas solares térmicos" realizado por la Corporación de Desarrollo Tecnológico, de la Cámara Chilena de la Construcción.

Cabe destacar que para usos de climatización, el recurso de la energía solar se utiliza como apoyo a un sistema de climatización la cual repercute en un importante ahorro de combustible fósil. El aporte solar para climatización no está estipulado ni normado por lo que depende única y exclusivamente de la cantidad de ahorro energético que estime el calculista del sistema.

Para este estudio se estimará un ahorro del 50%, lo que quiere decir que la energía solar debe ser capaz de suministrar el 50% de la demanda energética de la vivienda unifamiliar.

4.2 Irradiación en Antofagasta.

4.2.1 Irradiación diaria sobre superficie horizontal.

La irradiación diaria depende única y exclusivamente del lugar geográfico donde se ubique. En la siguiente tabla se mostrará la irradiación de Antofagasta dadas por el Registro Solarimétrico editado por el Gobierno de Chile y la Comisión Nacional de Energía (CNE).

TABLA 4.1: Irradiación diaria sobre superficie horizontal, Antofagasta.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Irradiación diaria media mensual (MJ/m ²)	24,1	22,8	20,1	15,8	12,6	11,2	12,0	14,1	17,7	21,4	23,8	24,7

Fuente: Elaboración propia a partir de CNE.

Los valores dados por el Registro Solarimétrico editado por el Gobierno de Chile y la Comisión Nacional de Energía (CNE) deben ser corregidos aplicando dos coeficientes, uno por no perpendicularidad y el otro por envejecimiento y suciedad.

En la siguiente tabla se aprecian los valores corregidos de irradiación diaria horizontal.

TABLA 4.2: Irradiación diaria media mensual efectiva sobre superficie horizontal, Antofagasta.

Irradiación diaria media mensual efectiva sobre superficie horizontal (He).				
MES	Factor de corrección		Irradiación Bruta	Irradiación Efectiva
	Suciedad y envejecimiento	No Perpendicularidad		
	-	-	(MJ/m ²)	
Enero	0,97	0,97	24,1	22,7
Febrero	0,97	0,97	22,8	21,5
Marzo	0,97	0,97	20,1	18,9
Abril	0,97	0,97	15,8	14,9
Mayo	0,97	0,97	12,6	11,9
Junio	0,97	0,97	11,2	10,5
Julio	0,97	0,97	12	11,3
Agosto	0,97	0,97	14,1	13,3
Septiembre	0,97	0,97	17,7	16,7
Octubre	0,97	0,97	21,4	20,1
Noviembre	0,97	0,97	23,8	22,4
Diciembre	0,97	0,97	24,7	23,2

Fuente: Elaboración propia, a partir de CNE.

4.2.2 Inclinación y orientación.

La inclinación y orientación son un factor importante para el cálculo, estos factores dependerán de la latitud de zona a estudiar. (Ver Anexo E)

Para este estudio Antofagasta (23° 26' S) utilizaremos los datos de latitud 24° los cuales son los siguientes:

TABLA 4.3: Factor de corrección por inclinación, Antofagasta.

Lat = 24° S		Mes											
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Inclinación	0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	5	0,99	1,00	1,03	1,05	1,07	1,09	1,08	1,06	1,03	1,01	0,99	0,99
	10	0,98	1,00	1,05	1,10	1,14	1,16	1,15	1,11	1,06	1,01	0,98	0,97
	15	0,96	1,00	1,06	1,13	1,20	1,24	1,22	1,16	1,08	1,01	0,96	0,94
	20	0,93	0,99	1,07	1,17	1,26	1,31	1,28	1,20	1,09	1,00	0,94	0,91
	25	0,90	0,97	1,07	1,19	1,31	1,37	1,33	1,23	1,10	0,99	0,91	0,88
	30	0,87	0,94	1,06	1,21	1,35	1,42	1,38	1,26	1,11	0,97	0,88	0,84
	35	0,83	0,92	1,05	1,22	1,38	1,46	1,42	1,28	1,10	0,95	0,84	0,80
	40	0,78	0,88	1,04	1,23	1,41	1,50	1,45	1,29	1,09	0,92	0,80	0,75
	45	0,73	0,84	1,01	1,23	1,43	1,53	1,47	1,29	1,07	0,88	0,75	0,70
	50	0,68	0,80	0,98	1,22	1,43	1,55	1,49	1,29	1,05	0,84	0,70	0,64
	55	0,62	0,75	0,95	1,20	1,43	1,55	1,49	1,28	1,02	0,79	0,64	0,58
	60	0,56	0,70	0,91	1,17	1,43	1,55	1,49	1,26	0,98	0,74	0,58	0,52
	65	0,50	0,64	0,86	1,14	1,41	1,55	1,47	1,23	0,94	0,69	0,52	0,46
	70	0,44	0,58	0,81	1,10	1,38	1,53	1,45	1,20	0,89	0,63	0,46	0,40
75	0,37	0,51	0,75	1,05	1,34	1,50	1,42	1,15	0,83	0,56	0,40	0,34	
80	0,31	0,44	0,69	1,00	1,30	1,46	1,37	1,10	0,77	0,50	0,33	0,28	
85	0,25	0,38	0,62	0,94	1,24	1,40	1,32	1,04	0,70	0,43	0,27	0,22	
90	0,20	0,31	0,54	0,87	1,18	1,34	1,26	0,97	0,63	0,36	0,22	0,19	

Fuente: CDT Sistemas solares térmicos, Cámara Chilena de la Construcción, 2007.

Para este estudio se utilizará una inclinación de 45° (marcado de color rojo) con el fin de aumentar la irradiación en los meses de invierno.

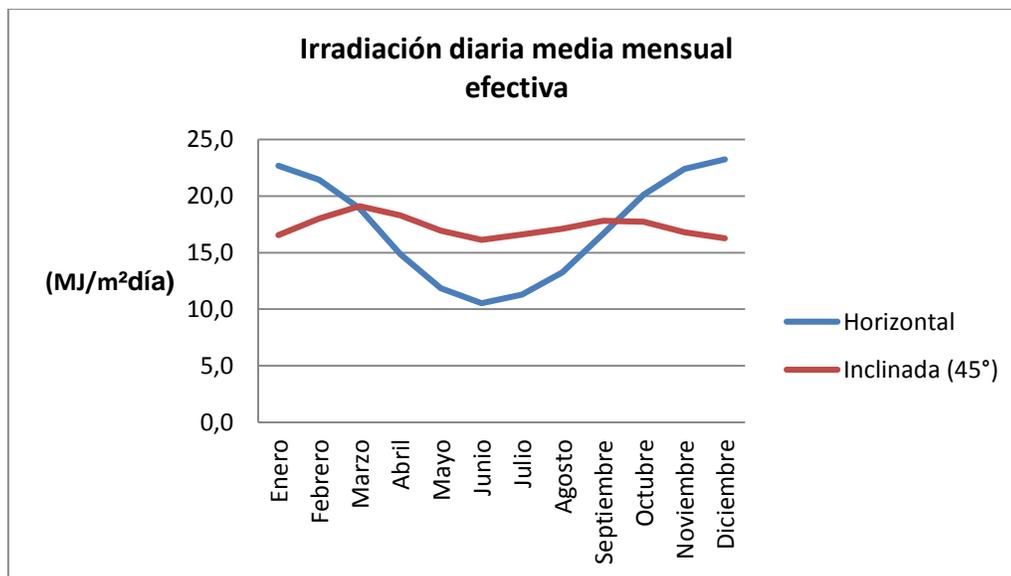
Al igual que el factor de inclinación, la orientación nos da los límites de inclinación que puede presentar el colector y se pueden apreciar en el Anexo E, pero para este estudio se escoge una orientación norte del panel solar por lo que no existen límites de inclinación.

TABLA 4.4: Irradiación diaria mensual efectiva en superficie inclinada, Antofagasta.

MES	Factor de inclinación 45°	Irradiación diaria media mensual efectiva	
		Horizontal (He)	Inclinada (45°)
		(MJ/m2)	
Enero	0,73	22,7	16,6
Febrero	0,84	21,5	18,0
Marzo	1,01	18,9	19,1
Abril	1,23	14,9	18,3
Mayo	1,43	11,9	17,0
Junio	1,53	10,5	16,1
Julio	1,47	11,3	16,6
Agosto	1,29	13,3	17,1
Septiembre	1,07	16,7	17,8
Octubre	0,88	20,1	17,7
Noviembre	0,75	22,4	16,8
Diciembre	0,7	23,2	16,3

Fuente: Elaboración propia, a partir de CDT Sistemas Solares Térmicos, 2007.

FIGURA 4.1: Irradiación diaria media mensual efectiva, Antofagasta.



Fuente: Elaboración propia.

En la gráfica se puede apreciar una línea más homogénea al inclinar los paneles en 45°, logrando así un aporte mayor en los meses de invierno.

4.2.3 Horas útiles de sol en un día medio de cada mes.

La determinación de las horas útiles de sol en un día medio de cada mes dependen al igual que la irradiación de la latitud que se encuentre la zona a estudiar.

Los datos de las horas útiles de sol en un día medio de cada mes se encuentran expuestos en la siguiente Tabla realizada por Censolar.

TABLA 4.5: Horas útiles de sol, según Censolar.

Mes	Nº de horas útiles de sol en un día medio de cada mes	
	Latitud -25 a -45	Latitud 25 a -25
Enero	9,5	8,75
Febrero	9,5	9,25
Marzo	9	9,5
Abril	9	9,25
Mayo	8	8,75
Junio	7,5	8,5
Julio	8	8,75
Agosto	9	9,25
Septiembre	9	9,5
Octubre	9,5	9,25
Noviembre	9,5	8,75
Diciembre	9,5	8,5

Fuente: Censolar, 2009.

Antofagasta se encuentra en 23° 26' S o -23° 26', por lo que se utilizan los datos marcados de color amarillo en la TABLA 14.

Para efectos de cálculos estos datos son favorables, debido a que las cantidades de horas útiles en invierno son mayores.

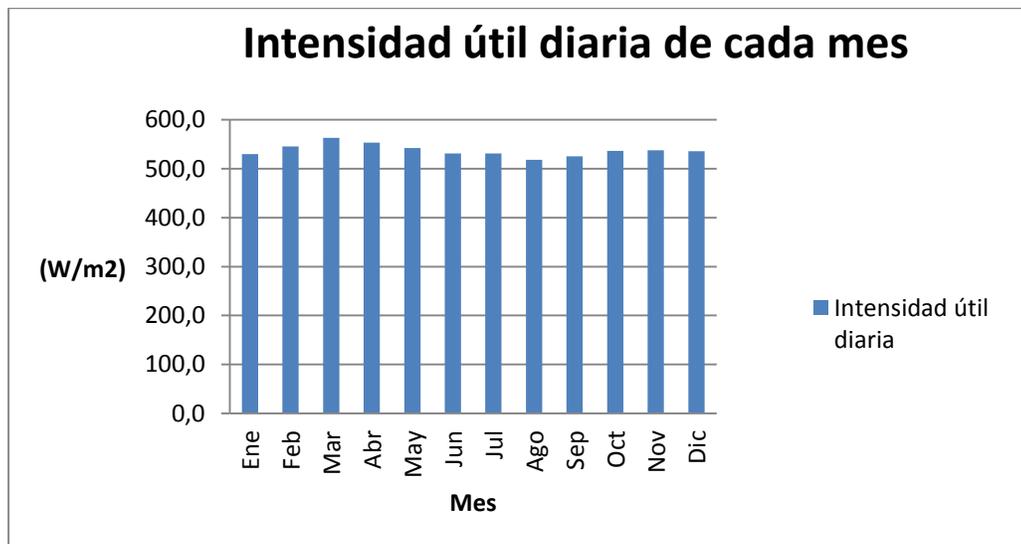
Con los datos obtenidos de la irradiación efectiva horizontal, los factores de corrección por inclinación y orientación sumado a las horas útiles de sol en un día medio de cada mes, se puede determinar la irradiación útil en un día medio de cada mes.

TABLA 4.6: Resultado de la irradiación útil en un día medio de cada mes, Antofagasta.

Mes	Irradiación efectiva (45°)	Irradiación efectiva (45°)	Nº de horas sol	Intensidad útil diaria	Intensidad útil diaria
	(MJ/m ²)	(KWh/m ²)	(hr)	(Kw/m ²)	(W/m ²)
Enero	16,55	4,63	8,75	0,53	529,7
Febrero	18,02	5,05	9,25	0,55	545,5
Marzo	19,10	5,35	9,5	0,56	563,0
Abril	18,29	5,12	9,25	0,55	553,5
Mayo	16,95	4,75	8,75	0,54	542,5
Junio	16,12	4,51	8,5	0,53	531,1
Julio	16,60	4,65	8,75	0,53	531,1
Agosto	17,11	4,79	9,25	0,52	518,0
Septiembre	17,82	4,99	9,5	0,53	525,2
Octubre	17,72	4,96	9,25	0,54	536,4
Noviembre	16,80	4,70	8,75	0,54	537,4
Diciembre	16,27	4,56	8,5	0,54	535,9

Fuente: Elaboración propia, a partir de CDT Sistemas Solares Térmicos, 2007.

FIGURA 4.2: Intensidad útil diaria de cada mes, Antofagasta.



Fuente: Elaboración Propia.

4.3 Colector solar térmico.

4.3.1 Selección del colector.

Se pueden encontrar 3 tipos de colectores solares térmicos, colectores de polipropileno, colectores de placa plana y colectores de tubos de vacío.

Los distintos colectores solares térmicos se deben seleccionar en función del destino de la instalación.

Es por eso que para este estudio se utilizarán colectores de placas planas debido a que la irradiación es bastante homogénea por lo que no es necesario elevar su rendimiento en invierno como lo hacen los colectores de tubos de vacío. Por otro lado los colectores solares planos son más económicos que los tubos al vacío y cumplen con las condiciones recomendadas para la calefacción por suelo radiante.

En el mercado hay una variedad de colectores solares térmicos de placa plana, por lo que en este estudio se utilizará un modelo de la "KBB Solar Collectors" que cumple con las certificaciones necesarias para su utilización en Chile.

En la siguiente imagen se puede apreciar algunos modelos y sus componentes:

FIGURA 4.3: Panel Solar



Paneles Solares 

Panel Solar K420LC / K420MS / K423MS

Componentes

- Nueva generación de paneles solares optimizados y funcionales.
- LC diseño de absorbedor de cobre seriado de 18 mm. Ø, ideal para instalaciones residenciales.
- MS diseño de absorbedor de cobre seriado de 22 mm. Ø, ideal para instalaciones medianas y grandes.
- Perfil de aluminio curvo con tratamiento anticorrosivo y esquineros de PVC.
- Tratamiento selectivo TiNOX High Performance.
- Vidrio templado de 3,2 mm., aislación de lana mineral y sellos en EPDM.
- Kits de montaje opcionales para una instalación rápida y segura.

Fuente: www.anwo.cl.

En Chile los colectores solares se rigen por la NCh3096/1.c2007 que es equivalente a la norma internacional UNE-EN 12975-1.

4.3.2 Rendimiento del colector solar térmico.

El rendimiento del colector solar térmico está dado por la siguiente expresión.

$$h = h_o - \left[K1 * \left(\frac{T_m - T_a}{I} \right) - K2 * \left(\frac{(T_m - T_a)^2}{I} \right) \right] * 100$$

En la que:

h : Rendimiento del colector solar térmico.

h_o : Rendimiento óptico.

$K1$: Coeficiente de pérdidas lineal ($W/m^2 \cdot K$).

$K2$: Coeficiente de pérdidas cuadráticas ($W/m^2 \cdot K^2$).

T_m : Temperatura media que se quiere conseguir ($^{\circ}C$ o $^{\circ}K$).

T_a : Temperatura media ambiente. ($^{\circ}C$ o $^{\circ}K$).

I : Irradiancia (W/m^2).

a) Temperaturas

La temperatura media que se quiere conseguir (T_m) es un dato que propone el proyectista, para este estudio (calefaccionar por losa radiante) la temperatura ideal es de $45^{\circ}C$.

La Temperatura media ambiente se obtiene de datos meteorológicos, por ende se utilizan los siguientes datos.

TABLA 4.7: Temperaturas medias, Antofagasta.

T° media ambiente ($^{\circ}C$)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
	19,6	20,3	14,6	15,6	14,6	13,1	12,6	13,9	14,4	15,4	17,1	19,4

Fuente: Elaboración propia a partir de www.wunderground.com.

b) Especificaciones técnicas del colector.

Las especificaciones técnicas están dadas por el fabricante (Anexo F) y nos aportan los datos necesarios para realizar el cálculo para el rendimiento del colector.

TABLA 4.8: Especificaciones técnicas según fabricante

Especificaciones técnicas	
Marca	KBB Solar Collectors
Modelo	K420 LC Residencial
Rendimiento óptico	74,80%
K1	3,93 (W/m ² *k)
K2	0,0148 (W/m ² *k ²)

Fuente: elaboración propia a partir www.anwo.cl.

Con todos los datos obtenidos podemos calcular el rendimiento del colector para cada mes de año, aplicando la expresión dada en una planilla Excel obteniendo los siguientes valores.

TABLA 4.9: Resultados del rendimiento del colector solar.

	Ta (°C)	Tm (°C)	Tm-Ta (°C)	h _o	K1 (W/m ² k)	K2 (W/m ² k ²)	Irradiancia (W/m ²)	Rendimiento	
								Tanto por uno	%
Ene	19,6	45	25,4	0,748	3,93	0,0148	529,70	0,58	58
Feb	20,3	45	24,7	0,748	3,93	0,0148	545,47	0,59	59
Mar	14,6	45	30,4	0,748	3,93	0,0148	562,98	0,56	56
Abr	15,6	45	29,4	0,748	3,93	0,0148	553,51	0,56	56
May	14,6	45	30,4	0,748	3,93	0,0148	542,50	0,55	55
Jun	13,1	45	31,9	0,748	3,93	0,0148	531,12	0,54	54
Jul	12,6	45	32,4	0,748	3,93	0,0148	531,12	0,54	54
Ago	13,9	45	31,1	0,748	3,93	0,0148	518,05	0,54	54
Sep	14,4	45	30,6	0,748	3,93	0,0148	525,21	0,55	55
Oct	15,4	45	29,6	0,748	3,93	0,0148	536,36	0,56	56
Nov	17,1	45	27,9	0,748	3,93	0,0148	537,44	0,57	57
Dic	19,4	45	25,6	0,748	3,93	0,0148	535,89	0,58	58

Fuente: Elaboración propia.

4.4 Aporte solar.

El aporte solar está en función del colector solar (rendimiento) y la irradiación útil como se aprecia en la siguiente expresión.

$$\text{Aporte Solar} = \text{Rendimiento del colecto} * \text{Irradiación útil.}$$

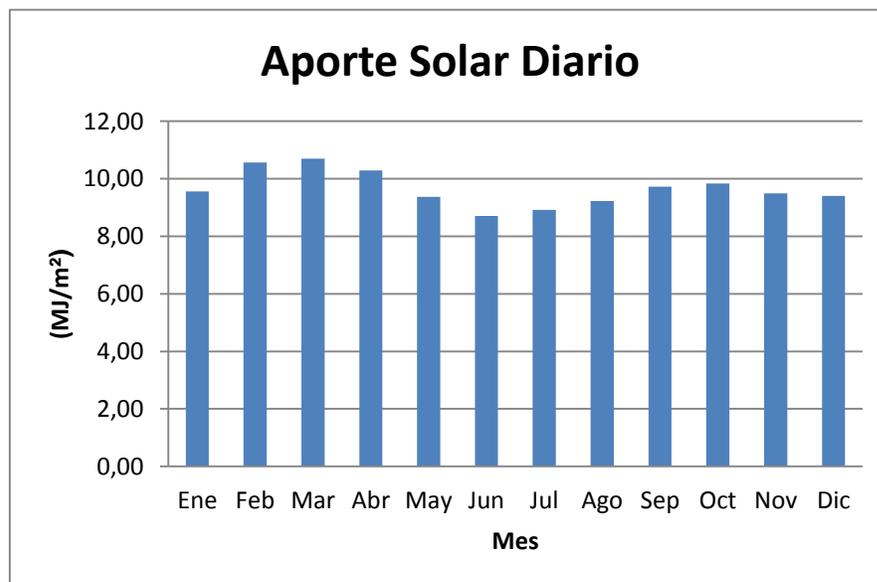
Siguiendo la expresión se determina el aporte solar por cada mes del año en la ciudad de Antofagasta.

TABLA 4.10: Resultados del aporte solar diario, Antofagasta.

	Rendimiento	Irradiación	Aporte solar diario
	%	(MJ/m ²)	(MJ/m ²)
Enero	58	16,55	9,56
Febrero	59	18,02	10,57
Marzo	56	19,10	10,70
Abril	56	18,29	10,29
Mayo	55	16,95	9,38
Junio	54	16,12	8,71
Julio	54	16,60	8,92
Agosto	54	17,11	9,23
Septiembre	55	17,82	9,72
Octubre	56	17,72	9,83
Noviembre	57	16,80	9,50
Diciembre	58	16,27	9,40

Fuente: Elaboración propia.

FIGURA 4.4: Aporte solar diario, Antofagasta.



Fuente: Elaboración propia.

Sin embargo el aporte solar diario presenta pérdidas energéticas debido al sistema mismo (tuberías, acumuladores, etc) y según el CDT se estima un 20 %, por ende la energía neta disponible diaria y mensual es la siguiente:

TABLA 4.11: Resultado de la energía solar disponible, Antofagasta.

Mes	Días	Aporte solar diario (MJ/m ²)	Pérdidas del sistema %	Energía disponible	
				Diaria	Mensual
				(MJ/m ²)	(MJ/m ²)
Ene	31	9,56	20	7,65	237,14
Feb	28	10,57	20	8,46	236,75
Mar	31	10,70	20	8,56	265,35
Abr	30	10,29	20	8,23	246,88
May	31	9,38	20	7,50	232,53
Jun	30	8,71	20	6,97	209,01
Jul	31	8,92	20	7,14	221,20
Ago	31	9,23	20	7,39	228,99
Sep	30	9,72	20	7,78	233,34
Oct	31	9,83	20	7,87	243,90
Nov	30	9,50	20	7,60	227,91
Dic	31	9,40	20	7,52	233,23

Fuente: Elaboración propia.

4.5 Cálculo de colectores.

La cantidad de colectores se calcula dependiendo del mes con mayor demanda energética y el aporte solar en el mismo mes.

En este estudio se presenta una demanda energética de 1564 KWh en el mes de Julio 2013 y la energía solar debe suministrar el 50%. A su vez en el mes de Julio el aporte energético es de 221,2 MJ/m² que equivale a 62 KWh/m².

El cálculo para determinar la cantidad de colectores a utilizar es la siguiente:

$$N^{\circ} \text{ de colectores} = \frac{\text{Demanda energética}}{\text{Aporte Solar} * \text{Sup absorbedor}} = \frac{782}{62 * 1,98} = 6 \text{ colectores}$$

Por ende en este estudio se necesitan 6 colectores solares planos para cubrir el 50% de la demanda energética

CAPÍTULO V: METODOLOGÍA Y DISEÑO DEL SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN GEOTÉRMICO EN ANTOFAGASTA.

5.1 Introducción:

El recurso geotérmico es aquella parte de la energía geotérmica que puede ser utilizada por el hombre. Para ello, el calor almacenado en el subsuelo debe ser transportado a la superficie, mediante mecanismos con el fin de generar calor o electricidad.

Para este estudio se utilizará un intercambiador horizontal cerrado, debido a que es el sistema más económico en ausencia de aguas subterráneas. Para realizar el diseño del intercambiador se utilizará el método unificado por la "Asociación internacional de bombas de calor Fuente – Tierra" (International Ground Sources Heat Pump Association: IGSHPA)

El método unificado por la IGSHPA para el diseño del intercambiador geotérmico horizontal está en función de las siguientes variables:

Intercambiador Geotérmico Horizontal: $f(He, Fh, Rp, Rs, Est, Tl)$

En la que:

He: Calor de extracción del suelo.

Fh: Funcionamiento fraccionado de calor.

Rp: Resistencia térmica de la tubería empleada.

Rs: Resistencia térmica del suelo.

Est: Temperatura del fluido en el intercambiador, entrando a la bomba de calor.

Tl: Temperatura mínima del suelo.

El intercambiador geotérmico horizontal necesita ir conectado a una bomba de calor geotérmica la cual se escogerá según el manual de la IGSHPA de 1988.

5.2 Estudio de temperaturas.

5.2.1 Temperaturas superficiales.

Para realizar estos estudios de temperaturas se analizan los datos obtenidos de las temperaturas de la ciudad de Antofagasta. Estos datos permiten estimar el comportamiento de las temperaturas a lo largo del año como se aprecia en el Anexo B.

a) Estimación de la temperatura media del suelo (TM).

TABLA 5.1: Promedio de temperaturas superficiales anuales de Antofagasta.

Promedios Temperaturas Mensuales de Antofagasta, 2013			
Mes	T° máxima (°C)	T° mínima (°C)	T° media (°C)
Enero	22,5	16,6	19,5
Febrero	23,3	17,2	20,3
Marzo	17,7	11,8	14,7
Abril	18,6	12,3	15,5
Mayo	17,7	11,8	14,7
Junio	15,9	10,6	13,3
Julio	15,2	10,5	12,8
Agosto	16,4	12,0	14,2
Septiembre	16,9	12,4	14,7
Octubre	17,2	13,2	15,2
Noviembre	19,3	14,4	16,9
Diciembre	22,2	16,4	19,3
Promedios	19	13	16

Fuente: Elaboración propia.

Para estimar la temperatura media del suelo (TM), se utiliza el promedio de temperatura media anual aumentándole 1 °C (International Ground Source Heat Pump Association, 1988).

Por ende la temperatura media del suelo en Antofagasta es de 17 °C. Esta temperatura varía dependiendo de la profundidad y el tipo de suelo.

b) Cálculo de la oscilación de temperaturas, oscilación anual (AS) y fase.

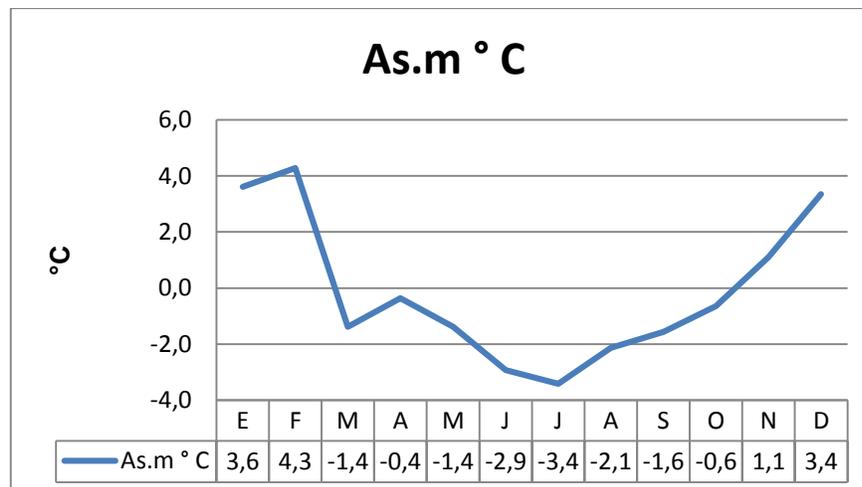
TABLA 5.2: Oscilación superficial de temperaturas medias con respecto a su promedio.

Oscilaciones Mensuales de las Temperaturas		
Mes	T° Media ° C	As.m ° C
Ene	19,6	3,6
Feb	20,3	4,3
Mar	14,6	-1,4
Abr	15,6	-0,4
May	14,6	-1,4
Jun	13,1	-2,9
Jul	12,6	-3,4
Ago	13,9	-2,1
Sep	14,4	-1,6
Oct	15,4	-0,6
Nov	17,1	1,1
Dic	19,4	3,4

Fuente: Elaboración propia.

En la siguiente gráfica se aprecia mejor la oscilación superficial de temperaturas medias con respecto a su promedio.

FIGURA 5.1: Oscilaciones mensuales de las temperaturas, Antofagasta.



Fuente: Elaboración propia.

De la gráfica anterior se determina que la oscilación anual (As) es de -3,4 °C y ocurre en el mes de julio, donde se produce la Fase (to) de la curva, equivalente al día 212.

5.2.2 Estimación de la temperatura del suelo a distintas profundidades.

Para realizar esta estimación se necesita saber las propiedades térmicas de suelo a estudiar y las profundidades utilizadas para los intercambiadores horizontales cerrados.

a) Propiedades térmicas del suelo.

Los diferentes tipos de suelo se caracterizan por su difusividad térmica (α), su conductividad térmica (λ), el calor específico (c) y su densidad (ρ).

El valor que se necesita (Difusividad) para la estimación de la temperatura del suelo a distintas profundidades esta dado por la siguiente ecuación:

$$\alpha = \frac{\lambda}{\rho * c} \frac{m^2}{hr}$$

La difusividad térmica expresa la velocidad de cambio y flujo de temperaturas en un material, por ende da cuenta de la respuesta de la temperatura en cierto lugar al interior de un material, a un cambio de temperatura de la superficie. Por ende al ser más elevada la difusividad térmica del material, tanto más sensible a los cambios de temperatura superficial resulta la temperatura interior (NCh 849, 1987).

Sin embargo las propiedades térmicas de los distintos suelos los encontramos en la siguiente tabla.

TABLA 5.3: Propiedades térmicas de los suelos.

Tipo de suelo	Difusividad (m ² /día)	Calor específico (W/kg°C)	Densidad (Kg/m ³)	Conductividad (W/m°C)
Duro - Húmedo	0,055	0,2677	2098	1,2983
Duro – Seco	0,048	0,2328	2002	0,87
Ligero - Húmedo	0,0446	0,291	1602	0,8655
Ligero – Seco	0,0248	0,2328	1442	0,3462

Fuente: international ground source heat pump association, 1988.

Para este estudio se utilizará suelo Duro – Seco.

b) Profundidades utilizadas para intercambiadores horizontales cerrados.

Las profundidades que se utilizan para extraer calor del suelo con los intercambiadores horizontales cerrados van de los 0,9 metros hasta los 4 metros (IGSHPA, 1988).

Con los datos de las propiedades térmicas del suelo sumado a las profundidades que se utilizan los intercambiadores horizontales cerrados, se pueden estimar las temperaturas a distintas profundidades con una ecuación analítica.

c) Ecuación analítica para estimar temperaturas del suelo a distintas profundidades.

$$T(z, t) = T_M - A_s e^{-z \sqrt{\frac{\pi}{365\alpha}}} \cos \left[\frac{2\pi}{365} \left(t - t_0 - \frac{z}{2} \sqrt{\frac{365}{\pi\alpha}} \right) \right]$$

En la que:

$T(z, t)$: Temperatura en °C del suelo en el tiempo t y profundidad z .

T_M : Temperatura media anual del suelo en °C.

A_s : Oscilación de la temperatura superficial en °C.

t : Tiempo en días.

t_0 : Constante de fase, día donde la temperatura del año es mínima.

α : Difusividad térmica del suelo en $m^2/día$.

Para obtener la longitud de intercambiador necesario para satisfacer la máxima carga de refrigeración se tomará el instante de máxima temperatura anual. Viceversa para el caso de calefacción.

$$T_{\min} = T_M - A_s \cdot e^{-z \left(\frac{\pi}{365\alpha} \right)^{1/2}} \quad T_{\max} = T_M + A_s \cdot e^{-z \left(\frac{\pi}{365\alpha} \right)^{1/2}}$$

Utilizando la ecuación analítica para estimar las temperaturas del suelo, se realiza una tabla con todos los resultados obtenidos durante el año y a distintas profundidades en la ciudad de Antofagasta que se puede apreciar en la siguiente tabla, marcando en color rojo las temperaturas mínimas correspondiente al suelo a utilizar en este estudio (Duro – Seco).

TABLA 5.4: Temperaturas a distintas profundidades de diferentes tipos de suelo, Antofagasta.

Tabla Resumen: Temperaturas de Diferentes Tipos de Suelos a Varias Profundidades en un año, en Antofagasta.								
Datos Iniciales : $T_M = 17\text{ }^\circ\text{C}$; $A_s = -3,4$; $t_o = 212$ días.								
PROFUNDIDAD DEL SUELO (m)		0,9	1,2	1,5	2	2,5	3	4
TIPO DE SUELO	MES	TEMPERATURAS DEL SUELO ($^\circ\text{C}$)						
	Suelo Duro - Humedo (a) Difusividad Térmica 0,055 [m ² /día]	E	18,7	18,3	18,0	17,5	17,1	16,9
F		19,5	19,1	18,7	18,2	17,8	17,4	17,0
M		19,6	19,3	19,1	18,6	18,3	17,9	17,4
A		18,2	19,0	18,9	18,7	18,4	18,1	17,7
M		18,0	18,1	18,2	18,2	18,2	18,1	17,8
J		16,6	16,9	17,2	17,5	17,7	17,7	17,7
J		15,4	15,8	16,1	16,6	17,0	17,2	17,4
A		14,6	15,0	15,3	15,8	16,3	16,6	17,0
S		14,4	14,7	14,9	15,4	15,8	16,1	16,6
O		14,9	15,0	15,1	15,3	15,6	15,9	16,4
N		15,9	15,8	15,7	15,7	15,8	15,9	16,2
D		17,3	17,0	16,7	16,4	16,3	16,2	16,3
Promedio		17	17	17	17	17	17	17
Suelo Duro - Seco (a) Difusividad Térmica 0,048 [m ² /día]	E	18,7	18,2	17,9	17,4	17,0	16,8	16,6
	F	19,4	19,0	18,6	18,1	17,7	17,3	16,9
	M	19,5	19,3	19,0	18,5	18,1	17,8	17,3
	A	18,1	19,0	18,8	18,6	18,3	18,0	17,6
	M	18,0	18,1	18,2	18,2	18,1	18,0	17,7
	J	16,7	17,0	17,3	17,5	17,7	17,7	17,6
	J	15,5	15,9	16,3	16,7	17,1	17,3	17,4
	A	14,6	15,1	15,4	16,0	16,4	16,7	17,1
	S	14,2	14,7	15,0	15,5	15,9	16,3	16,8
	O	14,9	15,0	15,1	15,4	15,7	16,0	16,5
	N	15,9	15,8	15,7	15,7	15,8	16,0	16,3
	D	17,2	16,9	16,7	16,4	16,3	16,2	16,3
	Promedio		17	17	17	17	17	17
Suelo ligero - Humedo (a) Difusividad Térmica 0,0446 [m ² /día]	E	18,6	18,2	17,8	17,3	17,0	16,8	16,6
	F	19,4	18,9	18,6	18,0	17,6	17,3	16,9
	M	19,5	19,2	18,9	18,5	18,1	17,7	17,2
	A	18,1	18,9	18,8	18,5	18,3	18,0	17,5
	M	18,0	18,1	18,2	18,2	18,1	18,0	17,6
	J	16,7	17,1	17,3	17,6	17,7	17,7	17,6
	J	15,5	15,9	16,3	16,8	17,1	17,3	17,4
	A	14,7	15,1	15,5	16,0	16,5	16,8	17,1
	S	14,5	14,8	15,1	15,6	16,0	16,3	16,8
	O	14,9	15,0	15,2	15,4	15,7	16,0	16,5
	N	15,9	15,8	15,7	15,7	15,9	16,0	16,4
	D	17,2	16,9	16,6	16,4	16,3	16,2	16,4
	Promedio		17	17	17	17	17	17
Suelo Ligero - Seco (a) Difusividad Térmica 0,0248 [m ² /día]	E	18,2	17,7	17,3	16,9	16,7	16,6	16,7
	F	18,9	18,4	18,0	17,5	17,1	16,9	16,7
	M	19,2	18,8	18,5	17,9	17,5	17,2	16,9
	A	18,0	18,8	18,5	18,1	17,8	17,5	17,1
	M	18,1	18,2	18,2	18,1	17,9	17,6	17,2
	J	17,1	17,4	17,6	17,7	17,7	17,6	17,3
	J	16,0	16,4	16,8	17,2	17,4	17,4	17,3
	A	15,1	15,6	16,1	16,6	16,9	17,1	17,3
	S	14,8	15,2	15,6	16,1	16,5	16,8	17,1
	O	15,0	15,2	15,5	15,9	16,2	16,5	16,9
	N	15,8	15,7	15,7	15,9	16,1	16,4	16,8
	D	16,8	16,5	16,4	16,2	16,3	16,4	16,7
	Promedio		17	17	17	17	17	17

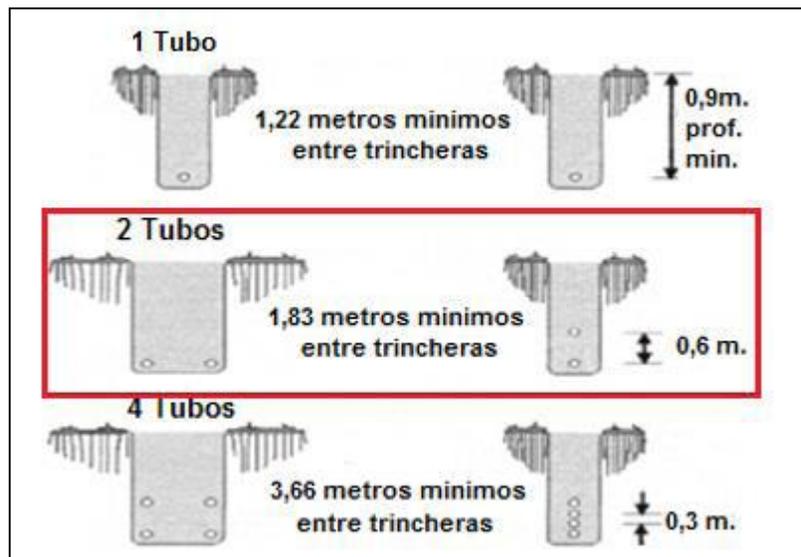
Fuente: Elaboración propia

5.3 Requisitos para la extracción de calor del suelo.

Para la extracción de calor del suelo hay que considerar los requisitos según la configuración de los intercambiadores horizontales y las horas de uso al año del sistema. Estas disposiciones son para que los radios de hielo no se unan, esto ocurre por las bajas temperaturas del fluido de los intercambiadores (tuberías).

Para evitar lo anteriormente mencionado se toman resguardos, el espacio entre trincheras se incrementa a medidas que aumenta el números de tubos como se muestra en la siguiente figura.

FIGURA 5.2: Trincheras



Fuente: International Ground Sources Heat Pump Association, 1988.

El otro requisito muy importante es no sobrepasar las 2400 horas de uso anual del suelo para el intercambio de calor (IGSHPA, 1988).

5.4 Selección de la bomba de calor.

Para la elección de la bomba de calor se necesita la demanda máxima (Julio, 2013) de calor de la vivienda en Kilo Watts y el sistema de climatización a utilizar. En este caso el sistema de climatización es mediante losa radiante por ende debe tener una temperatura promedio de 40°C (isoingeniería, 2008).

En la siguiente tabla se ven las especificaciones técnicas de bombas de calor.

TABLA 5.5: Especificaciones técnicas de la bomba de calor.

Especificaciones Técnicas	MODELO BOMBA DE CALOR			
	NSW 018	NSW 025	NSW 040	NSW 050
	Calefacción	Calefacción	Calefacción	Calefacción
ELT (°C)	38	38	38	38
LLT (°C)	41,1	41,3	41,3	41,2
Caudal (L/s) Intercambiador	0,32	0,44	0,63	0,95
CAP (KW)	4,3	6,5	8,9	12,4
HE (kW)	2,8	4,3	6,2	8,9
COP	2,95	3,12	3,1	3,15
kW	1,46	2,06	2,86	4,17
EST (°C)	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1
LST (°C)	-3	-3	-3	-3
PD (kPa)	8,9	8,9	22	31,7
LOAD (L/s)	0,32	0,32	0,63	0,95
Temperaturas ELT y LLT da como Promedio = 40 °C, ideal para Losa Radiante				

Fuente: Water Furnace International Global, 2014.

En la que:

ELT: (*Entering Load fluid Temperature to heat pump*) Temperatura del agua en el circuito de intercambio con la edificación (ejemplo losa radiante) entrando a la bomba de calor, haciendo contacto con el condensador, el cual le entrega calor. Medida en grados Celsius (°C).

EST : (*Entering Source fluid Temperature to heat pump*) Temperatura del fluido en el Intercambiador geotérmico, entrando a la bomba de calor con una temperatura superior, haciendo contacto con el evaporador, cediéndole calor de esta forma. Medida en grados Celsius (°C).

LOAD: Corresponde al caudal de agua en el circuito de intercambio con la edificación (ejemplo losa radiante), necesario para entregar calor al medio (Caudal Másico). El valor que entrega la tabla es aproximado, es calculado con la capacidad de la bomba de calor que indica la tabla y con las temperaturas ELT y LLT. Medido en Litros por segundo (L/s).

LLT: (*Leaving Load Temperature from heat pump*) Temperatura del agua del circuito de intercambio con la edificación (ejemplo losa radiante) dejando la bomba de calor, luego de haber incrementado su temperatura debido al contacto con el condensador. Medida en grados Celsius (°C).

CAP: (*Capacity*) Capacidad de la Bomba de Calor, es igual al Calor de Extracción (HE) del suelo más la energía eléctrica consumida por la bomba de calor. ($CAP = HE + kW$).

HE: (*Heat Extraction*) Calor de Extracción del Suelo, medido en kilo Watts. También se puede expresar como: ($HE = CAP \times (COP - 1)/COP$) o ($HE = CAP \times (1 - (1/COP))$)

COP: (*Coefficient of Performance*) Coeficiente de rendimiento ideal de la bomba de calor usada para calentar. Es igual a la Capacidad dividida por el consumo de kilo Watts.

LST: (*Leaving Source fluid Temperature from heat pump*) Temperatura del fluido en el Intercambiador geotérmico dejando la bomba de calor, donde hizo contacto con el evaporador, al cual le cedió el calor proveniente del suelo. Medida en grados Celsius (°C).

PD: (*Pressure Drop*) Corresponde a la Pérdida de Carga del fluido (agua) dentro del evaporador de la Bomba de Calor. Es medida en kilo Pascales (kPa) y siempre es igual para un mismo caudal.

De acuerdo con la pérdida de calor que sufre la vivienda (4 KW) y una temperatura promedio de 40 °C para losa radiante, se escoge una bomba de calor con una capacidad de 4 KW o mayor.

La bomba de calor seleccionada es la NSW 018, debido a que cumple con las condiciones necesarias para la vivienda y sus características técnicas están enmarcadas con rojo. (Ver Anexo G)

5.4.1 Cálculo de Funcionamiento Fraccionado (FH) de la Bomba de Calor y sus Horas de uso mensual.

El funcionamiento fraccionado indica el porcentaje de la potencia calorífica de la bomba de calor que se necesita para mantener las temperaturas de diseño en el interior de la vivienda, cuando ocurre una temperatura exterior determinada (Técnic suport, sf.).

El funcionamiento fraccionado se calcula dividiendo las horas de funcionamiento mensual de la bomba de calor, por las horas mensuales que se requiera la calefacción.

a) Pérdidas de calor debido a diferentes temperaturas del exterior con el interior.

Para la vivienda de 65 m² en estudio se calculó una pérdida de calor máxima de 4 Kw para el mes de diseño (Julio, 2013). La temperatura mínima de Julio es de 7 °C y la temperatura requerida al interior de 21 °C.

Con estos datos se debe determinar la pérdida de calor por cada grado Celsius de la siguiente manera:

$$\frac{4 \text{ KW}}{21^{\circ}\text{C} - 7^{\circ}\text{C}} = 0,285 \frac{\text{Kw}}{^{\circ}\text{C}}$$

Este valor sirve para saber la pérdida de calor que tiene la vivienda para cada temperatura exterior a partir de la siguiente expresión:

$$0,285 \frac{\text{Kw}}{^{\circ}\text{C}} * \Delta T^{\circ} = \text{Pérdida de calor de la vivienda}$$

b) Temperaturas horarias del mes de diseño (Julio).

En este estudio se estimara climatizar una vivienda desde las 6 am hasta las 12am de lunes a viernes y desde las 9 am hasta las 12 am los sábados y domingo. Con esto se delimita los horarios de uso del sistema, pudiendo contabilizarlas.

Por lo tanto se requieren las temperaturas horarias del mes de diseño (Julio) las cuales se aprecian en la siguiente tabla.

TABLA 5.6: Temperaturas horarias del mes de Julio 2013, Antofagasta.

Hora	Temperaturas horarias en la ciudad de Antofagasta, Julio 2013																														
	Días del mes																														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
6:00 AM	12	13	12	10	11		12	13	13	13	13		13	12	12	13	12		11	8	12	11	12		12	13	13				
7:00 AM	11	13	12	9	11		12	12	13	13	13		12	12	12	13	12		10	7	11	12	12		13	13	13				
8:00 AM	12	13	12	11	10		12	12	13	13	13		12	12	12	13	11		10	8	11	12	12		13	13	13				
9:00 AM	12	13	12	12	12	10	12	12	13	13	13	14	13	13	12	12	12	14	12	13	13	12	11	11	12	12	13	14	13	13	13
10:00 AM	13	14	14	12	13	13	13	13	13	13	13	14	14	14	13	13	12	15	13	15	14	12	12	12	13	14	15	14	13	14	14
11:00 AM	15	14	14	14	15	14	14	14	14	14	14	16	15	14	14	14	14	15	13	15	15	13	13	13	13	14	16	15	14	14	14
12:00 PM	15	15	14	14	15	14	14	15	14	14	14	16	15	16	14	15	16	15	14	15	15	14	13	15	14	15	15	15	14	15	14
1:00 PM	14	15	14	14	15	15	14	15	14	14	14	15	16	16	14	15	15	15	14	15	15	14	13	15	14	14	14	15	14	15	14
2:00 PM	14	14	14	15	15	15	14	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	14	15	15	14	14	14	14	15	15	15	14	15	15
3:00 PM	14	14	14	15	15	15	14	14	15	15	14	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	14	13	14	14	15	15	15	14	15	15
4:00 PM	14	13	14	14	15	15	14	14	15	15	14	15	15	15	15	14	14	15	14	15	14	14	13	14	13	15	15	15	14	14	15
5:00 PM	13	13	13	13	14	14	13	14	15	15	14	15	14	14	14	14	14	14	14	14	13	13	13	13	13	14	14	14	14	13	14
6:00 PM	13	13	13	13	14	13	13	13	15	15	13	14	13	14	14	13	14	14	14	14	13	12	13	13	13	14	14	14	14	13	14
7:00 PM	13	13	13	13	13	13	12	13	15	14	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	11	12	12	13	14	14	14	14	13	13
8:00 PM	13	13	13	13	12	13	13	13	13	14	13	14	13	12	12	12	13	13	13	13	13	13	11	12	12	13	13	13	13	13	13
9:00 PM	13	13	13	13	12	13	13	13	13	14	13	14	13	12	12	13	13	13	13	13	13	13	11	12	12	13	13	13	13	13	13
10:00 PM	12	13	13	13	11	13	12	13	13	14	13	14	13	11	12	12	13	12	12	12	12	12	11	12	12	13	13	13	13	13	13
11:00 PM	13	13	13	13	11	13	12	13	12	13	13	13	13	11	12	11	13	12	12	12	13	11	12	12	13	13	13	13	13	12	13
12:00 AM	12	13	13	12	13	11	13	12	12	12	13	13	14	13	13	10	11	13	13	12	12	12	10	12	14	13	13	14	13	12	13

Fuente: Elaboración propia a partir del anexo D.

En esta tabla el color azul representa el horario en funcionamiento del sistema climatizador (6 am – 12 am). El color rojo representa los días sábados y domingo del mes de Julio 2013 donde el funcionamiento del sistema de climatización cambia el horario (9am – 12 am).

Con los datos adquiridos se puede calcular el factor de Funcionamiento Fraccionado de la Bomba de Calor (FH) como se aprecia en la siguiente tabla.

TABLA 5.7: Cálculo del funcionamiento fraccionado de la bomba de calor (FH)

Tabla para cálculo del funcionamiento fraccionado de la bomba de calor (FH)

Mes de diseño.	jul-13	
Ubicación.	Antofagasta	
Temperatura interior de diseño.	21	°C
Pérdida de calor de la vivienda (Q total).	4	Kw
Capacidad de la bomba de calor (CAP).	4,3	Kw
Temperatura exterior mínima.	7	°C
Pérdida de calor por cada °C.	0,285	Kw/°C

	Temperaturas exteriores (°C)	Cantidad de horas al mes	Pérdida en la vivienda por la T° exterior (Kw)	Pérdida en la viv. por nº de hrs de la T° ext. (Kwh)	Horas de funcionamiento bomba de calor
	7	1	4,0	4,0	0,9
	8	2	3,7	7,4	1,7
	9	1	3,4	3,4	0,8
	10	7	3,1	21,9	5,1
	11	23	2,9	65,6	15,2
	12	89	2,6	228,3	53,1
	13	203	2,3	462,8	107,6
	14	134	2,0	267,3	62,2
	15	98	1,7	167,6	39,0
	16	7	1,4	10,0	2,3
	TOTAL	565		1238,3	288,0

Funcionamiento fraccionado de calor (FH) = (288/565) = 0,5

Fuente: Elaboración propia.

5.4.2 Cálculo de horas de funcionamiento aproximado de la bomba de calor

Conocer la cantidad aproximada de horas de funcionamiento de la bomba de calor al año, nos permite establecer las horas de uso aproximado del suelo con el fin de no exceder el límite de 2400 horas anuales y también para saber con cuales resistencias térmicas de suelo trabajar para el cálculo de la longitud del Intercambiador. Además, conociendo las horas mensuales de funcionamiento y el consumo de la bomba de calor, se puede determinar el costo mensual y anual de operación de la calefacción.

Los meses a calefaccionar son en invierno y corresponden a: Junio, Julio, Agosto y Septiembre.

5.5 Intercambiador Geotérmico

Para definir las características del intercambiador se necesita considerar los siguientes puntos:

a) Elección del fluido circulante.

El fluido circulante por el intercambiador de calor enterrado es agua o agua con anticongelante, ya que se estima en diseño que el intercambiador geotérmico puede tener riesgo de congelación.

La elección del fluido se basa en las características de transferencia de calor, punto de congelación, viscosidad, requerimientos de presión y su costo.

Para este estudio el fluido será agua con 20% de metanol por su bajo costo. Se debe tener en consideración que al utilizar 20% de metanol aumenta un 25% las pérdidas de carga en la tubería con respecto a un fluido que contenga 100% agua. (IGSHPA, 1988).

En la siguiente tabla se aprecian las características del fluido a distintas temperaturas.

TABLA 5.8: Características del fluido a distintas temperaturas.

Temperatura °C	Viscosidad m ² /s	Densidad Kg/m ³
0	3,64E-06	972,3
-1	3,80E-06	972,6
-2	3,96E-06	973
-3	4,13E-06	973,4
-4	4,31E-06	973,8

Fuente: Elaboración propia a partir de Grundfos, 2005.

b) Material y tipo de tubería.

Existe una variedad de materiales para tuberías en el mercado pero la recomendada por la IGSHPA para intercambiar calor con el suelo es el polietileno de alta densidad, conocido por sus siglas en inglés HDPE (High Density Polyethylene).

La tubería HDPE usada para los Intercambiadores corresponde a la que tiene una Relación Dimensional Standard (Size Dimension Ratio: SDR) igual a 11. (International Ground Source Heat Pump Association, 1988) Esto quiere decir que el cociente entre el diámetro externo y el espesor de pared de la tubería corresponde a 11. El valor SDR es adimensional.

TABLA 5.9: Características de las tuberías HDPE SDR 11.

HDPE		SDR 11	
		Presión nominal 12,5 bar	
Diametro Nominal D (mm)	Diametro Nominal D (Plg)	Espesor Mínimo (mm)	Peso Medio (Kg/m)
20	¾	2,3	0,14
25	¾	2,3	0,17
32	1	2,9	0,27
40	1 ¼	3,7	0,43
50	1 ½	4,6	0,67
63	2	5,8	1,07

Fuente: www.vinilit.cl, 2014.

El largo de los tubos es variable. EL suministro normal es en rollos de 50 y 100 metros, y tubos rectos de 6 y 12 metros. (Vinilit, 2013)

TABLA 5.10: Resistencia térmica de las tuberías HDPE.

Resistencia térmica (Rp) de tuberías HDPE SDR 11 (m°C/W)				
Diámetro Ext (m)	Diámetro Int (m)	Rp 1 tubería	Rp 2 tuberías	Rp 4 tuberías
0,025	0,0204	0,081	0,055	0,039
0,032	0,0261	0,081	0,055	0,039
0,04	0,0326	0,081	0,055	0,039
0,05	0,0406	0,081	0,055	0,039
0,063	0,0514	0,081	0,055	0,039

Fuente: international ground source heat pump association, 1988.

c) Elección del sistema a utilizar.

La elección debe ser según el tipo de instalación y según la trayectoria del fluido, Horizontal o vertical y en serie o paralelo respectivamente.

Para este estudio el sistema a utilizar será horizontal y en serie.

d) Elección del diámetro.

Para la selección del diámetro de las tuberías se debe llegar a un compromiso entre la caída de presión y el funcionamiento térmico.

El diámetro debe ser lo suficientemente grande para producir una pérdida de carga pequeña y así necesitar una potencia de bombeo menor.

También Debe ser lo suficientemente pequeño para asegurar altas velocidades y así garantizar turbulencia del fluido dentro del tubo, de manera que se favorezca el traspaso térmico entre el fluido que circula y la pared interior. Cuanto mayor sea la turbulencia mayor será el intercambio térmico. La condición que asegura la turbulencia es:

$$Re = \frac{4 * Q}{\pi * \vartheta * D} > 2300$$

En que:

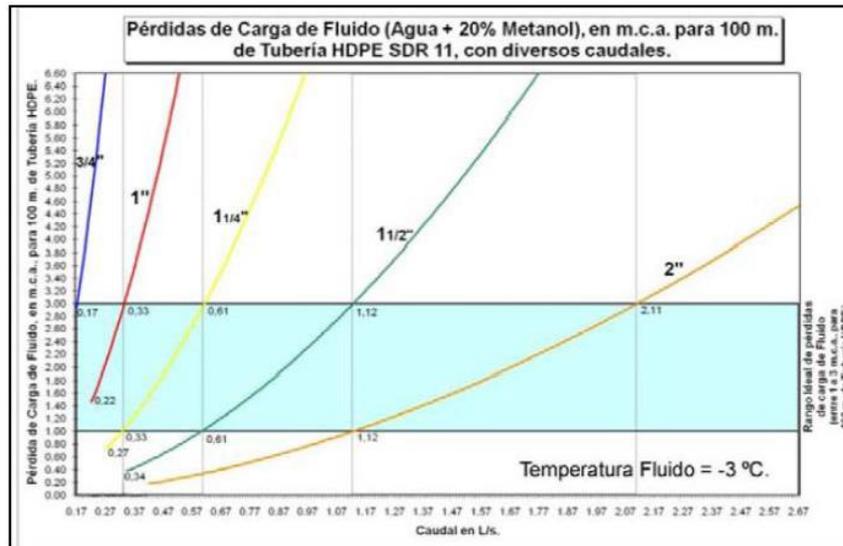
Re: Número de Reynold

Q: Caudal m3/s.

\vartheta : Viscosidad cinemática m2/s.

Sin embargo para efectuar el análisis de Pérdida de Carga de los Fluidos: agua más 20% Metanol, en las tuberías HDPE SDR 11, se recurre al siguiente gráfico para el fluido, con diversos caudales en Litros por segundo (L/s.), y pérdidas de carga del Fluido en 100 metros de tubería, en metros columna de agua (m.c.a.).

FIGURA 5.3: Pérdidas de carga de fluido (agua + 20% Metanol) para 100m de Tubería HDPE.



Fuente: Carlos Vergara Muñoz, pérdidas de carga, 2009.

El Gráfico se realizó basándose en el Anexo H que es una adaptación del Rango Ideal de pérdidas para 100 pies (30,48 metros) de tubería a 100 metros de tubería HDPE.

El Rango Ideal de pérdidas para 100 pies de tubería está establecido en el libro ASHRAE *Handbook-Fundamentals*, de 1993, adaptado posteriormente por Kavanaugh, S.P. y Rafferty, K. en el libro *Ground-Source Heat Pumps, Design of Geothermal and Institutional Buildings*, de 1997, de la ASHRAE. (Fuente: Kavanaugh, et al., 1997). Corresponde a una pérdida que está entre 1 y 3 pies, y se presenta en una gráfica con pérdidas de carga en pies por cada 100 pies, con diversos caudales en galones por minuto, para tuberías HDPE SDR 11, con fluido de agua más 20% de Metanol.

Al conocer el rango ideal de pérdidas sumado al caudal utilizado (0,32 L/s) por la bomba de calor seleccionada, obtenemos un diámetro ideal de 1 plg.

e) Resistencia térmica del suelo.

La resistencia térmica del suelo es la oposición al paso del calor que presenta este elemento y los valores están dados en la siguiente tabla para distintos tipos de suelo, distintas profundidades y distintos Rp (resistencia térmica de las tuberías).

TABLA 5.11: Resistencia térmica del suelo.

Resistencia Térmica de Tuberías (Rp) (m.°C / W.)		Resistencia Térmica de Suelos (Rs) (m.°C / W.)											
		Para las siguientes Configuraciones:					(Para Tiempo máximo de Uso = 1500 Horas.)						
HDPE SDR - 11													
		Rs (Suelo Duro - Húmedo)	Rs (Suelo Duro - Seco. o Suelo Ligero - Húmedo)										
Diámetro Nominal Equivalente	Rp1	Rp2	Rp4										
3/4"	↑	↑	↑	0,59	0,61	0,63	0,64	0,76	0,79	1,18	1,24	1,22	1,09
1"	↑	↑	↑	0,80	0,83	0,85	0,86	1,02	1,06	1,59	1,65	1,65	1,46
				0,56	0,59	0,60	0,61	0,73	0,76	1,16	1,21	1,20	1,06
1 1/4"	0,081	0,055	0,039	0,76	0,79	0,81	0,82	0,98	1,02	1,55	1,61	1,61	1,43
				0,53	0,56	0,57	0,58	0,70	0,73	1,13	1,18	1,17	1,03
1 1/2"	↓	0,056	↓	0,72	0,76	0,77	0,79	0,94	0,98	1,51	1,57	1,57	1,39
				0,51	0,54	0,56	0,57	0,69	0,72	1,11	1,17	1,15	1,02
2"	↓	↓	↓	0,70	0,73	0,75	0,76	0,92	0,96	1,48	1,55	1,54	1,36
				0,49	0,51	0,53	0,54	0,66	0,69	1,09	1,14	1,12	0,99
				0,66	0,69	0,72	0,73	0,88	0,92	1,45	1,51	1,51	1,32

Fuente: international ground sources heat pump association, 1988.

Para este estudio el suelo se estima como Duro-Seco, la configuración escogida es de dos tuberías a 1,5 y 0,9 metros y la resistencia térmica de las tuberías es Rp2. Por ende el valor de Rs (resistencia térmica del suelo) es 0,98.

5.5.1 Longitud del intercambiador.

Con los datos anteriormente obtenidos se puede determinar la longitud del intercambiador utilizando la siguiente ecuación.

$$L(m) = \frac{HE * (Rp + (Rs * FH))}{TL - EST}$$

En la que:

He: (Heat Extraction) Calor de Extracción del Suelo, medido en Watts. Dato suministrado en las especificaciones técnicas de la bomba de calor.

R_p: Resistencia térmica de la tubería, medida en (m.°C/W.).

R_s: Resistencia Térmica del Suelo, medida en (m.°C/W.).

FH: Factor de Funcionamiento Fraccionado de la Bomba de Calor.

TL: Temperatura Mínima Anual del Suelo, en °C.

EST: (Entering Source fluid Temperature to heat pump) Temperatura del fluido en el Intercambiador, entrando a la bomba de calor, medida en °C.

Esta ecuación corresponde en el caso de la configuración en Serie, al largo total de la tubería HDPE del sistema geotérmico.

Aplicando esta ecuación en nuestro estudio se obtiene lo siguiente:

$$L(m) = \frac{2800 * (0,048 + (0,98 * 0,5))}{14 - (-1,1)} = 100 \text{ metros}$$

La longitud del intercambiador geotérmico horizontal 100 m. se multiplica por un factor de error igual al 10% quedando la longitud final de 110 metros.

5.6 Emplazamiento del intercambiador en serie.

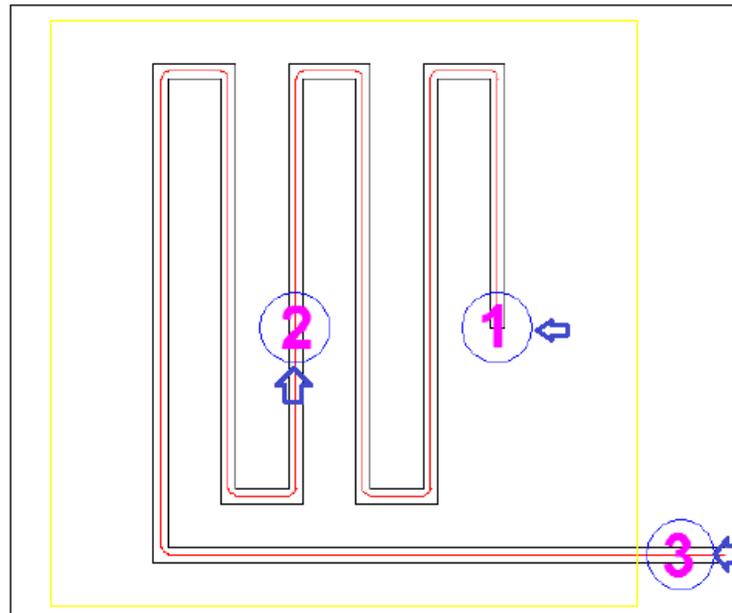
Para la configuración en Serie, se coloca la tubería HDPE de 1" como ida y vuelta en la misma zanja, separadas verticalmente 0,6 metros, y dispuesta en forma de serpentin.

Para el emplazamiento de la tubería HDPE de 1", se debe respetar el radio mínimo de curvatura, equivalente a 10 veces su diámetro exterior, por lo tanto, para 1", (0,034 metros de diámetro exterior), el radio mínimo de curvatura es de 0,34 metros pero se dará un margen utilizando una curvatura de 0,4m.

En los encuentros de 90° entre trincheras de 0,4 metros de ancho, la curvatura de la tubería de 1", se realiza cómodamente. El problema se suscita en el extremo final de la trinchera, donde la tubería vuelve, resultando una curva de 180°, y como la altura teórica entre tuberías es de 0,6 metros, se debe profundizar más la excavación en el extremo final de la trinchera (0,5 metros extra) con el fin de poder desarrollar la vuelta de la tubería.

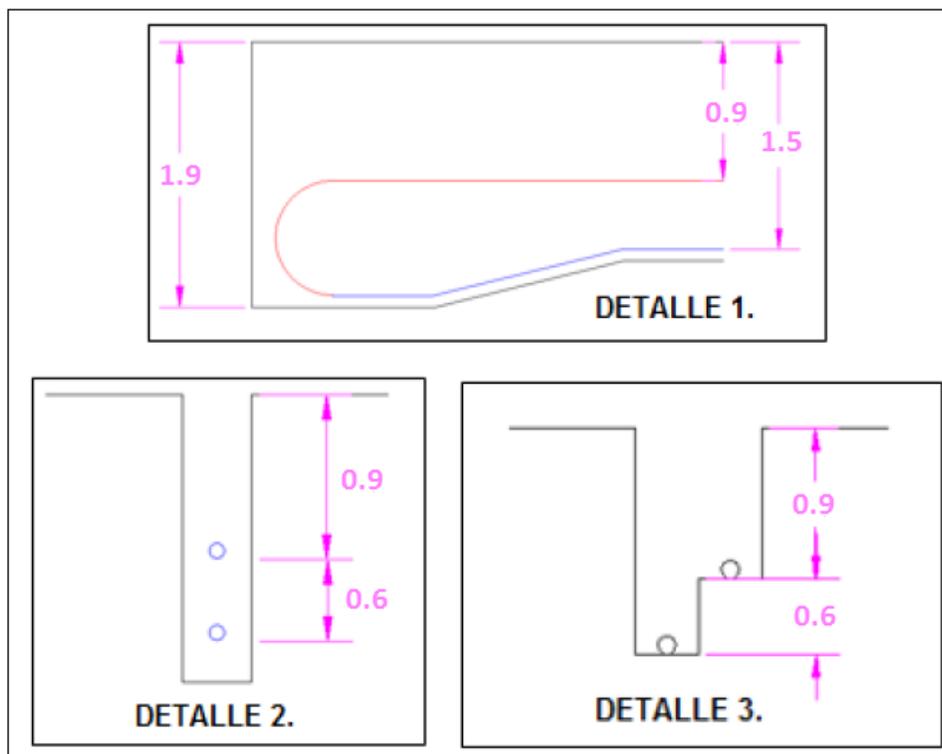
El detalle del emplazamiento de las tuberías del colector geotérmico, se puede apreciar en las siguientes figuras, donde se incluye una planta y cortes esquemáticos para comprender la posición de las tuberías dentro de las trincheras.

FIGURA 5.4: Esquema, Trinchera de la vivienda estudio.



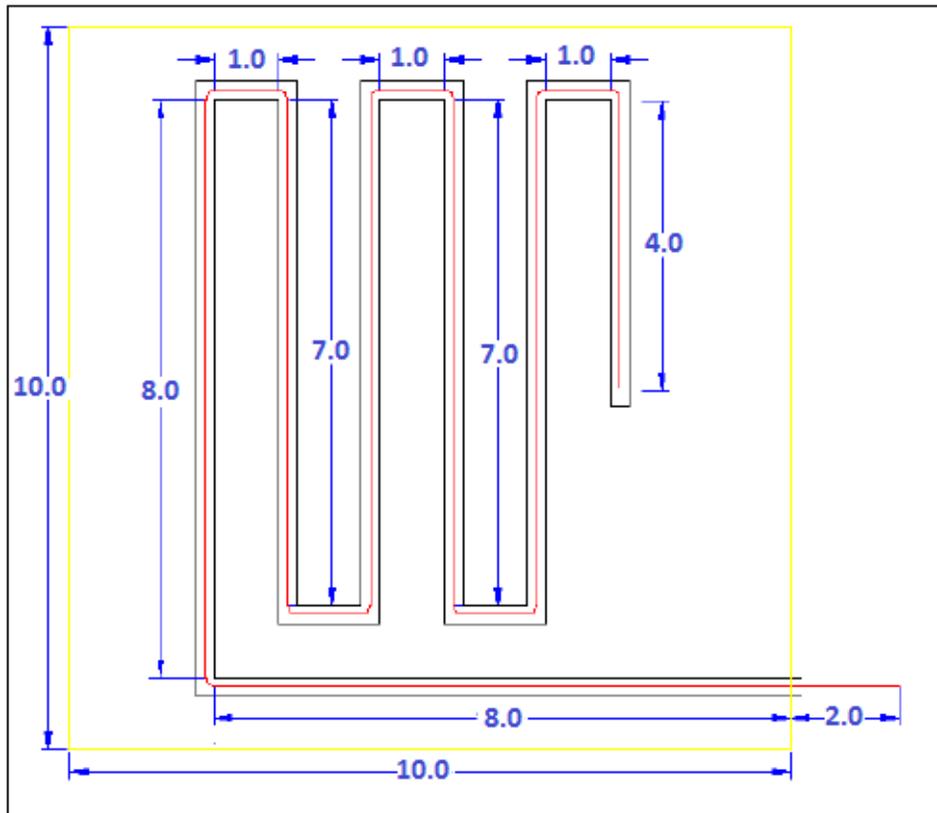
Fuente: Elaboración propia.

FIGURA 5.5: Corte de la Trinchera estudio.



Fuente: Elaboración propia

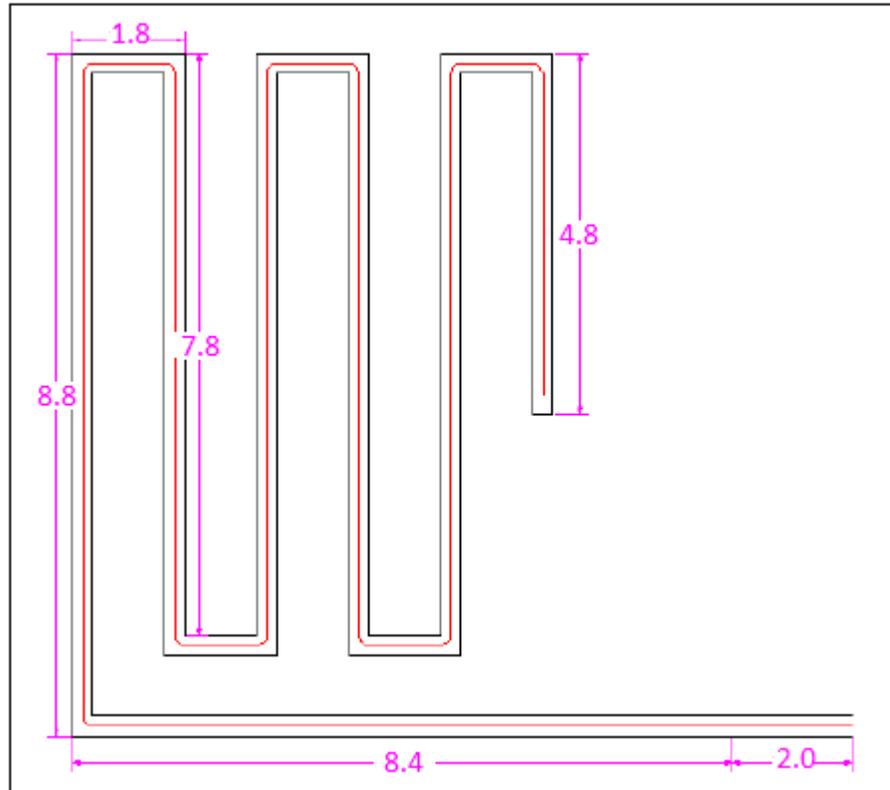
FIGURA 5.6: Plano de Planta de la Trinchera.



Fuente: Elaboración propia.

A partir de las figuras anteriores podemos determinar el volumen necesario de excavación para las trincheras configuradas en serie la cual se resume en la siguiente figura y los valores obtenidos en la TABLA 32.

FIGURA 5.7: Plano de Planta, excavación Trinchera.



Fuente: Elaboración propia.

TABLA 5.12: Cubicación de excavación para trinchera.

Cubicación de excavación para trincheras			
Ancho(m)	Profundidad (m)	Longitud (m)	Volumen (m3)
0,4	1	2	0,8
0,4	1,6	62,2	39,808
Total			40,608

Fuente: Elaboración propia.

5.7 Pérdidas de carga en el sistema.

5.7.1 Cálculo de la cantidad de fluido en el intercambiador y su pérdida de carga.

Para determinar el volumen de fluido en el colector, es necesario conocer la longitud de cada tramo. Luego se multiplica la longitud por el área transversal de la tubería, obteniendo el volumen total del fluido. Del resultado, el 80% del fluido total es Agua, y el 20% es Metanol.

La pérdida en metros columna agua por cada metro de tubería, se conoce dividiendo por 100 los valores de pérdidas que aparecen en el Anexo H, para cada diámetro de tubería y caudal conocido. Por lo tanto, la pérdida por tramo, se obtiene multiplicando su longitud por su pérdida por cada metro.

Para calcular la Cantidad de Fluidos y Pérdidas de Carga, se confecciona una tabla en la cual se indica el objeto a analizar, su ubicación, el diámetro equivalente en pulgadas y en metros, su área transversal, la longitud, el volumen del fluido, su caudal, la pérdida de carga en metros por cada metro (m/m) y la pérdida por tramo. Finalmente se obtiene el resultado total del volumen del fluido en el colector y las pérdidas de carga totales del colector en Serie.

TABLA 5.13: Cálculo de cantidad de fluido y pérdidas de cargas.

Diámetro equivalente (Plg)	Diámetro interior (mm)	Área transversal (m ²)	Longitud (m)	Volumen fluido (m ³)	Caudal (Lt/s)	Pérdida por metro (m.c.a)	Pérdida total (m.c.a)
1	26,04	0,00053	110	0,0583	0,32	0,0276	3,036
Volumen total (m3)				0,0583	Pérdida total (m.c.a)		3,036
Volumen total (Lt)				58,3	Pérdida total (Kpa)		30,36

Fuente: Elaboración propia.

Como se aprecia, el volumen total de fluido en el intercambiador es de 58,3 litros, por lo tanto la cantidad de agua es 46,64 litros y de metanol 11,66 litros que corresponden al 80% y 20 % respectivamente del total.

5.7.2 Pérdidas de carga en la bomba de calor.

Nombradas como PD: Pressure Drop, en las especificaciones técnicas. Son expresadas en kilo Pascales, y se refieren a las pérdidas en agua, por lo tanto la bomba de calor NSW 018 tiene pérdidas para agua iguales a 8,9 kPa., equivalente a 0,91 m.c.a.

Considerando que hay un 20% en el fluido de metanol, la pérdida de carga aumenta un 25% por lo que la pérdida total de carga en la bomba de calor de 1,14 m.c.a.

5.7.3 Pérdidas totales en el sistema.

Las pérdidas de carga totales en el sistema se determinan sumando las pérdidas en el colector y considerando las pérdidas que se generan en la bomba de calor.

La sumatoria de pérdidas de carga en el sistema es el siguiente:

$$\text{Pérdida de carga total} = 3,036 + 1,14 = 4,176 \text{ mca}$$

5.8 Determinación de la bomba de circulación.

La bomba de circulación centrífuga debe generar un caudal igual al requerido por la bomba de calor (caudal intercambiador): 0,32 L./s., y debe ser capaz de vencer las pérdidas de carga totales en el sistema igual a 4,2 m.c.a, además se considera que el fluido que circula es agua más 20% de Metanol a una temperatura de -3° Celsius.

Bomba seleccionada:

Modelo R2C 40-60.

- Bomba centrífuga de una sola etapa, acoplada directamente a un motor con rotor húmedo enjaulado. Bomba y motor forman un único conjunto sin cierre mecánico.

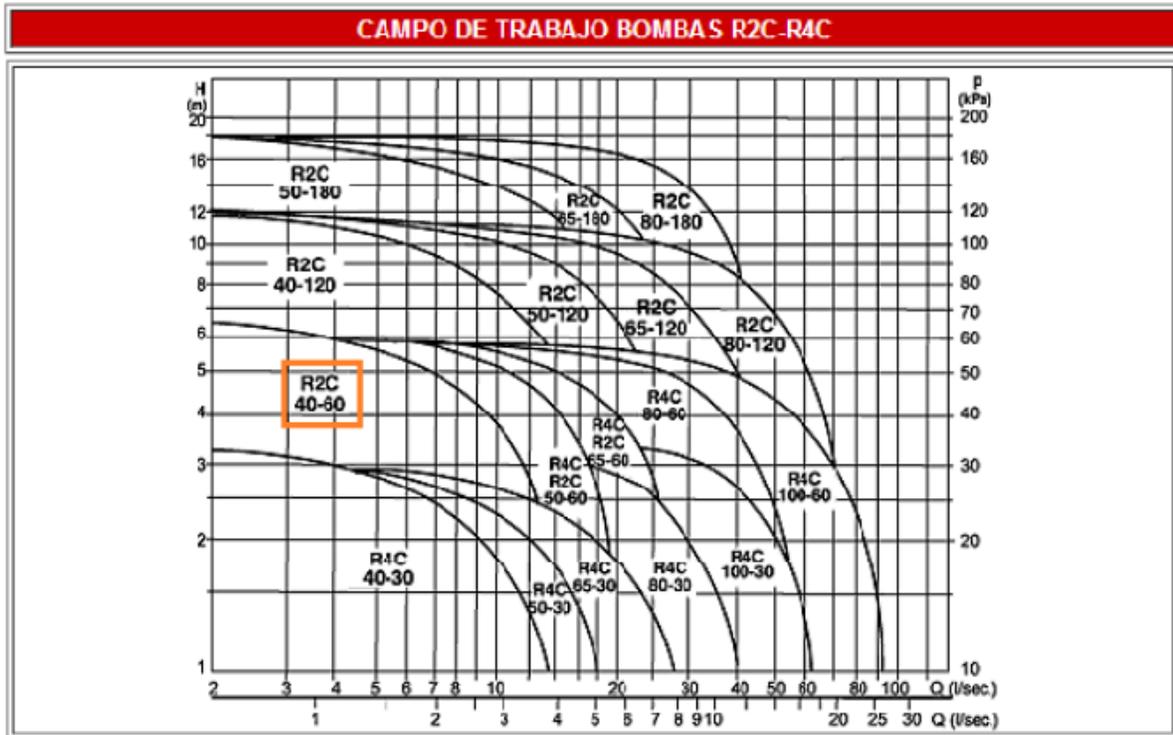
Motor

- Con rotor enjaulado, 2 o 4 polos, diseñado para trabajar a dos velocidades. El estator dispone de protección térmica interna. Debido a la continua presencia de aire en las plantas, el cual puede dañar el motor eléctrico, éste dispone de un sistema de circulación de aire, el cual permite un drenaje automático y permanente de aire desde la cámara del rotor.

Límites de trabajo

- Rango de T°: desde -20 °C hasta +130 °C.
- Presión de trabajo: PN 6 / PN 10.

FIGURA 5.8: Curva Característica, Bomba R2C – R4C.

Fuente: www.recal.cl

CAPÍTULO VI: COMPARACIÓN TÉCNICA - ECONÓMICA.

6.1 Comparación técnica.

Las diferencias esenciales entre un sistema de climatización geotérmico y un sistema de climatización solar térmico, proceden de la diferencia de recursos naturales que estos utilizan. Sin embargo en este estudio se presentan distintos puntos de comparación.

6.1.1 Comparación en el método de diseño para los sistemas de climatización.

Ambos métodos están respaldados por entidades serias como lo son la International Ground Sources Heat Pump Association (IGSHPA) y la Corporación de Desarrollo Tecnológico (CDT) de la Cámara Chilena de la Construcción.

La primera diferencia entre ambos métodos de diseño se aprecia en la ecuación analítica para determinar la temperatura a distintas profundidades del suelo en el caso de la energía geotérmica, tomando valores estimativos y teóricos, mientras que todos los datos del método solar térmico son datos empíricos los cuales se van actualizando cada año.

Otra diferencia que se aprecia es la cantidad de variables que se requiere para obtener el diseño de ambos sistemas. El método de diseño geotérmico incluye una cantidad de variables mayores a la que presenta la solar térmica dándole una complejidad mayor en el desarrollo del cálculo para el diseño.

6.1.2 Comparación en el montaje y ejecución de los sistemas de climatización

El montaje y ejecución de ambos sistemas presentan diferencias y similitudes las cuales se pueden apreciar a continuación.

- a) El tiempo de montaje y ejecución del sistema de climatización geotérmico es mayor que el sistema de climatización solar térmico, ya que en térmicos constructivos presenta mayores partidas como por ejemplo la excavación y soldaduras de las tuberías HDPE del intercambiador de calor horizontal.
- b) Ambos sistemas presentan una limitación a su uso tomando en cuenta los metros cuadrados que ocupa el montaje de los mismos. El sistema solar térmico requiere idealmente espacio disponible en la cubierta de una vivienda, mientras que el sistema geotérmico requiere espacio libre en el patio de la vivienda para instalar los intercambiadores horizontales.
- c) El montaje del sistema de climatización solar térmico afecta la arquitectura de la vivienda, ya que idealmente se debe establecer en la cubierta de una vivienda, mientras que el montaje del sistema geotérmico no interviene en la arquitectura de la vivienda debido a que es subterráneo.
- d) El sistema de climatización solar térmico debe sumar el montaje de un sistema de climatización adicional, ya que no el sistema solar funciona como un sistema de apoyo para climatizar, mientras que el sistema geotérmico no requiere de un apoyo y puede funcionar de manera independiente.

6.1.3 Comparación del punto de vista medioambiental y energético.

Ambos sistemas pertenecer a los nuevos métodos de climatización, los cuales presentan mejoras en el ámbito medio ambiental y a continuación se pueden apreciar las comparaciones entre ambos sistemas.

a) En Emisiones de CO₂ los resultados son los siguientes

- Sistema solar térmico.

Este sistema no emite Kg de CO₂.

- Sistema geotérmico.

Se determina dependiendo de la cantidad de KWh al año que utiliza. Según la international Energy Agency 1 KWh equivale a 0,178 Kg de CO₂. Por lo tanto si el consumo es de 2343 KWh la cantidad de CO₂ emitidos es de 417 Kg.

b) El sistema solar no requiere de una fuente de energía eléctrica (se desprecia el uso de la bomba de circulación), mientras que el sistema de climatización geotérmico requiere del uso de energía eléctrica para alimentar la bomba de calor y bomba de circulación.

c) En términos energéticos el uso de energía geotérmica está limitado a cierta cantidad de horas (2400 horas) al año según la IGSHPA, mientras que el sistema solar no presenta limitaciones de horas de uso.

d) El rendimiento energético que aporta el sistema solar depende del clima diario, mientras que el sistema geotérmico tiene un rendimiento estable debido a que la temperatura a cierta profundidad es constante.

e) Ambos sistemas son silenciosos evitando la contaminación acústica respecto a otros sistemas convencionales.

6.2 Comparación económica

El factor que influye en gran medida en la decisión de compra de un sistema de climatización es la economía en los costos de operación del equipo. Sin embargo, se deben considerar tres tipos de costos para poder comparar con otros sistemas de calefacción. Estos son: costo inicial, costo de operación y costo de mantención. (ECONAR, 1993.)

6.2.1 Costos de inversión.

El costo inicial incluye todos los gastos relacionados con la compra e instalación del sistema de climatización a utilizar, considerando también los costos de la instalación eléctrica, los movimientos de tierra (excavaciones de trincheras), montaje de paneles, dispositivos de regulación incluyendo la bomba de circulación, el anticongelante necesario, la mano de obra especializada, etcétera.

El detalle del costo de inversión para cada sistema de climatización se muestra en el ANEXO I.

6.2.2 Costos de operación

Los costos con que operan los sistemas convencionales de calefacción (radiadores conectados a caldera a gas o petróleo) representan un gasto significativo a lo largo de la vida útil del sistema, además en poco tiempo los gastos de operación duplican o triplican el costo inicial del equipo.

Los costos de operación dependen de dos factores, uno el tipo de energía usada en el sistema, y el precio de la energía que se usa

Los costos de operación mensual de los sistemas de climatización, corresponde a los costos de la energía eléctrica que consume la bomba de calor y la bomba de circulación en el caso del sistema geotérmico, a diferencia del sistema solar no presenta costos de energía ya que se desprecia la bomba al ser tan pequeña.

Los costos de operación de la bomba de calor NSW 018, se calculan multiplicando las horas de uso mensual de la bomba de calor por su consumo en kilo Watt (equivalente a 1,46 kW.) y multiplicando este resultado por el precio (en Pesos) del kilo Watt, según la tarifa.

La bomba de circulación escogida para la aplicación (Tipo R2C 40-120) tiene una potencia de entrada de 0,5 kilo Watt aproximadamente, y un consumo igual a 0,335 kW cuando opera en el sistema, el cual también se contempla para el cálculo del consumo mensual de energía eléctrica.

Los costos por kWh consumido tienen un valor de \$105 pesos chilenos según la empresa de electricidad ELECDA en la ciudad de Antofagasta.

- Costos de operación sistema solar térmico: \$0 (se desprecia)
- Costo de operación sistema geotérmico: \$246.035 anual.

TABLA 6.1: Costos de operación del sistema geotérmico.

Mes	Funcionamiento de la B.C.G (Hr)	Consumo B.C.G (KW)	Costos por energía (\$105/KW)	Consumo bomba circulación (KW)	Costos por energía (\$105/KW)	Costo de operación mensuales
Junio	318	464,28	48749	106,53	11186	\$ 59.935
Julio	364	531,148	55771	121,873	12797	\$ 68.567
Agosto	327	477,712	50160	109,612	11509	\$ 61.669
Septiembre	296,4	432,744	45438	99,294	10426	\$ 55.864
Total		1905,884	\$ 200.118	437,309	\$ 45.917	\$ 246.035

Fuente: Elaboración propia.

6.2.3 Costos de mantenimiento.

El costo de mantenimiento es el tercer factor que influye en los costos de los sistemas de calefacción.

El mantenimiento incluye las medidas preventivas rutinarias así como cualquier reparación o solución de problemas. Este costo incluye la mano de obra especializada y los materiales.

El costo de mantenimiento del sistema de calefacción geotérmica propuesto es de cero (\$) pesos, puesto que el sistema es cerrado, y lo único que tiene desgaste es la bomba de calor y la bomba de circulación, ambas con una vida útil prácticamente sin mantenimiento.

El costo de mantenimiento del sistema de calefacción solar propuesto es de cero pesos, ya que el sistema no requiere de mayores mantenimientos, los cuales pueden ser realizados por el usuario.

6.2.4 Costos Totales de los sistemas de climatización.

Los costos del sistema de calefacción geotérmica para el año cero (momento en el cual se realiza la inversión), equivalen a los costos de inversión inicial. (\$3.186.770 pesos).

En el primer año de funcionamiento, usando las temperaturas del año 2013, solo se considera la suma de los costos de operación y mantenimiento, los cuales son:

Costos en primer año de funcionamiento = (\$241.248+ \$ 0) pesos = \$ 241.248 pesos.

Los costos del sistema de calefacción solar térmico para el año cero (momento en el cual se realiza la inversión), equivalen a los costos de inversión inicial. (\$3.774.388 pesos).

En el primer año de funcionamiento, usando las temperaturas del año 2013, solo se considera la suma de los costos de operación y mantenimiento, las cuales son nulas. Sin embargo al necesitar apoyo de otro sistema de climatización se considerará un 50% de todos los costos de funcionamiento de la caldera a gas.

Costos en primer año de funcionamiento = 50% de los costos de Caldera a Gas.

Conociendo los costos de inversión, de operación y de mantenimiento, del sistema de calefacción geotérmica diseñado para la aplicación, se puede comparar con los sistemas de calefacción mediante calderas a gas y petróleo, aplicados para la misma edificación y bajo las mismas demandas energéticas.

6.2.5 Comparación con sistemas de climatización a Gas para la vivienda.

Para comparar los costos de inversión, de operación y de mantenimiento de los sistemas de calefacción geotérmica y solar térmica diseñados para la aplicación, con un sistema de calefacción mediante radiadores conectados a caldera a Gas, se deben conocer las características típicas de estos sistemas, tales como el valor del consumo energético en función del rendimiento estacional; los rendimientos estacionales; y el poder energético de los combustibles que utilizan.

a) Rendimiento estacional como parámetro de valoración del consumo energético.

El rendimiento estacional de una caldera, según DIN 4702 parte 8 (DIN 4702-8: Central heating boiler; determination of the standard efficiency and the standard emissivity, 1990-03, Alemania), es la magnitud normalizada con la que se expresa analíticamente el rendimiento energético, y por tanto, la rentabilidad de las calderas a lo largo de todo el periodo de calefacción.

La definición del rendimiento estacional ofrece la ventaja de poder deducir a partir de su valor numérico, el consumo de energía de diferentes tipos y modelos de calderas. (Tecnic Suport, sf.)

Con la Ecuación N° [13] se determina el Consumo anual de combustible (C_a) de las calderas, en base al rendimiento estacional (n) y al Poder Calorífico Inferior (P.C.I.) de los combustibles que utilizan.

$$C_a = \frac{D. \text{energética}}{P.C.I * h}$$

En la que:

C_a : Consumo anual de combustible, en litro/año o kilos/año.

$D. \text{energética}$: Demanda energética de calor de la edificación al año en kilowatt horas/año.

$P.C.I$: Poder Calorífico Inferior del combustible (kcal/kg), en kilowatt hora/litro o kilowatt hora/kilo.

n : Rendimiento estacional de la caldera.

- Valores de Rendimientos Estacionales de Calderas.

Los rendimientos estacionales sobre Poder Calorífico Inferior, en calderas de construcción estándar marca SIME, son:

- Caldera mural a **gas**, con cámara de combustión abierta, modelo 25 OF, rendimiento= **91,2%**

(Fuente: Anwo, sf.)

- Poder Energético de los Combustibles.

La cantidad de calor liberada en la combustión completa se denomina poder calorífico.

En los combustibles cuyos humos contienen vapor de agua se distingue entre el Poder Calorífico Inferior y el Poder Calorífico Superior (*P.C.I.* y *P.C.S.*, respectivamente).

Se denomina Poder Calorífico Inferior (*P.C.I.*) a la cantidad de calor que se libera en una combustión completa cuando el agua originada está presente en forma de vapor.

El Poder Calorífico Superior (*P.C.S.*) es la cantidad de calor liberado en la combustión completa incluido el calor de condensación del vapor de agua contenido en los humos.

En los cálculos de rendimiento siempre se utiliza como magnitud de referencia el Poder Calorífico Inferior. Por lo tanto, al comparar las calderas estándar, los rendimientos estacionales deben referirse al Poder Calorífico Inferior. (Espada, 2004)

En la siguiente tabla se encuentra el poder calorífico y la densidad del combustible.

TABLA 6.2: Poder calorífico del combustible (gas) y su densidad.

Combustible	Densidad Kg/Lt	Poder Calorífico inferior (P.C.I)				Poder Calorífico Superior (P.C.S)			
		Kcal/Lt	KWh/Lt	Kcal/Kg	KWh/Kg	Kcal/Lt	KWh/Lt	Kcal/Kg	KWh/Kg
Gas (propano)	0,508	5588	6,5	11000	12,8	6102	7,1	12013	14

Fuente: Elaboración propia.

b) Cálculo de consumo de combustible de las calderas de Gas, para la demanda energética de la vivienda.

Datos iniciales:

- Demanda energética de calor de la edificación = 10314 (kWh.)
- Caldera a Gas (Propano): P.C.I. = 12,8 (kWh/Kg.) : 91,2% = 0,912.

Los resultados y desarrollo de los consumos energéticos se aprecian a continuación.

TABLA 6.3: Consumo energético del sistema de caldera a gas y su costo.

Mes	Demanda energética (KWh)	Cálculo de consumo Caldera a Gas(Kg)	Consumo Caldera a Gas (Kg)	Costos por Gas (\$1167/KW)
Junio	1369	(1369/(12,8 x 0,91))	117,53	\$ 137.159
Julio	1564	(1564/(12,8 x 0,91))	134,27	\$ 156.695
Agosto	1407	(1407/(12,8 x 0,91))	120,79	\$ 140.966
Septiembre	1260	(1260/(12,8 x 0,91))	108,20	\$ 126.274
			Total	\$ 561.094

Fuente: Elaboración propia.

Con respecto a las emisiones de CO₂ Se determina dependiendo de la cantidad de Kg de gas utilizado al año. Según la Greenhouse Gas Protocol (GHG protocol) 1Kg de gas equivale a 2,94 Kg de CO₂. Por lo tanto si el consumo es de 480 Kg de Gas al año se emiten 1411 Kg de CO₂.

c) Comparativa de Costos de Operación de los Sistemas de Climatización, para Satisfacer las demandas de la vivienda.

Los Costos de Operación de los Sistemas de Climatización: Geotérmico con Bomba de Calor, solar térmico y Caldera a Gas, aplicado a la edificación, se calculan multiplicando los consumos energéticos de cada sistema por el precio de mercado de la energía (combustibles) que utilizan. Considerando \$1167 (pesos) por kilo de Gas.

Los costos de operación varían cada año, de acuerdo a los requerimientos de calefacción de la edificación, producto de las diferentes temperaturas que puede tener un año, considerándose éste como frío o caluroso. También hay variación en los costos de operación dependiendo de las fluctuaciones en los precios de los combustibles.

En la siguiente tabla se puede apreciar los costos de operación de los tres sistemas de climatización.

TABLA 6.4: Costos de operación de los tres sistemas.

Mes	Costos de operación (\$)		
	S. Solar Térmico	S. geotérmico	Caldera a gas
Junio	\$ 68.579	\$ 59.935	\$ 137.159
Julio	\$ 78.348	\$ 68.567	\$ 156.695
Agosto	\$ 70.483	\$ 61.669	\$ 140.966
Septiembre	\$ 63.137	\$ 55.864	\$ 126.274
Total	\$ 280.547	\$ 246.035	\$ 561.094

Fuente: Elaboración propia.

Según la Tabla N°37 los costos anuales de operación de la calefacción son:

- \$280.547 pesos, mediante sistema solar térmico.
- \$246.035 pesos, mediante sistema geotérmico.
- \$561.094 pesos, mediante caldera a gas.

Los sistemas solares térmicos y geotérmicos presentan un ahorro del 50% y 56% respectivamente en comparación al costo de operaciones anuales de la caldera a gas.

d) Comparativa de Costos Totales de los Sistemas de Calefacción, para Satisfacer las Demandas de Calor de la Edificación.

Para diferenciar entre costo total de inversión y costo total de funcionamiento anual, se considera el tiempo en que se produce la inversión, como año cero, teniendo presente que el costo inicial de cada sistema es igual al costo total de inversión.

Costo Total de Inversión de los sistemas de calefacción:

- Sistema Solar Térmico: \$3.724.388 de pesos.
- Sistema Geotérmico: \$3.232.870 de pesos.
- Sistema de Caldera a gas: \$1.000.000 de pesos, incluida instalación. La mantención anual tiene un costo de \$60.000 pesos. (isoingeniería, 2008).

Claramente el costo de inversión en los sistemas no convencionales es mayor, sin embargo se realizará una evaluación de proyecto para ver si es rentable o no la implementación en una vivienda.

6.2.6 Comparativa del Valor Actual de Costos de los Sistemas de Climatización.

Al comparar alternativas de proyectos que tienen iguales beneficios y que por lo tanto se diferenciarán solamente por los costos, puede usarse el Valor Actual de Costos (VAC), indicador que sirve para seleccionar la alternativa de mínimo costo, es decir, la que consume menos recursos.

Considerando una vida útil de 20 años para cada una de los sistemas de calefacción, se compara el VAC con una tasa de interés del 10%, utilizada para descontar el flujo del costo anual.

El sistema que tenga el menor VAC al final de la vida útil, resulta el más conveniente y se muestran en las siguientes tablas.

TABLA 6.5: Cálculo de VAC para sistema de climatización solar térmica.

Sistema Solar Térmico						
Año	Inversión	Costo Combustible	Mantención	Costo Total	Costo actualizado (i=10%)	VAC
0	\$3774388	0	0	\$3.774.388	\$3.774.388	\$3.774.388
1		\$280.547	\$30.000	\$310.547	\$282.315	\$4.056.703
2		\$280.547	\$30.000	\$310.547	\$256.650	\$4.313.354
3		\$280.547	\$30.000	\$310.547	\$233.318	\$4.546.672
4		\$280.547	\$30.000	\$310.547	\$212.108	\$4.758.780
5		\$280.547	\$30.000	\$310.547	\$192.825	\$4.951.605
6		\$280.547	\$30.000	\$310.547	\$175.296	\$5.126.901
7		\$280.547	\$30.000	\$310.547	\$159.360	\$5.286.260
8		\$280.547	\$30.000	\$310.547	\$144.872	\$5.431.133
9		\$280.547	\$30.000	\$310.547	\$131.702	\$5.562.835
10		\$280.547	\$30.000	\$310.547	\$119.729	\$5.682.564
11		\$280.547	\$30.000	\$310.547	\$108.845	\$5.791.409
12		\$280.547	\$30.000	\$310.547	\$98.950	\$5.890.359
13		\$280.547	\$30.000	\$310.547	\$89.954	\$5.980.313
14		\$280.547	\$30.000	\$310.547	\$81.777	\$6.062.090

15		\$280.547	\$30.000	\$310.547	\$74.342	\$6.136.432
16		\$280.547	\$30.000	\$310.547	\$67.584	\$6.204.016
17		\$280.547	\$30.000	\$310.547	\$61.440	\$6.265.456
18		\$280.547	\$30.000	\$310.547	\$55.855	\$6.321.311
19		\$280.547	\$30.000	\$310.547	\$50.777	\$6.372.088
20		\$280.547	\$30.000	\$310.547	\$46.161	\$6.418.249

Fuente: Elaboración propia.

TABLA 6.6: Cálculo de VAC para sistema de climatización geotérmica.

Sistema Geotérmico						
Año	Inversión	Costo Combustible	Mantenición	Costo Total	Costo actualizado (i=10%)	VAC
0	\$3.186.770	0	0	\$3.186.770	\$3.186.770	\$3.186.770
1		\$246.035	0	\$246.035	\$223.668	\$3.410.438
2		\$246.035	0	\$246.035	\$203.335	\$3.613.773
3		\$246.035	0	\$246.035	\$184.850	\$3.798.623
4		\$246.035	0	\$246.035	\$168.045	\$3.966.668
5		\$246.035	0	\$246.035	\$152.768	\$4.119.436
6		\$246.035	0	\$246.035	\$138.880	\$4.258.317
7		\$246.035	0	\$246.035	\$126.255	\$4.384.571
8		\$246.035	0	\$246.035	\$114.777	\$4.499.349
9		\$246.035	0	\$246.035	\$104.343	\$4.603.691
10		\$246.035	0	\$246.035	\$94.857	\$4.698.549
11		\$246.035	0	\$246.035	\$86.234	\$4.784.782
12		\$246.035	0	\$246.035	\$78.394	\$4.863.177
13		\$246.035	0	\$246.035	\$71.268	\$4.934.444
14		\$246.035	0	\$246.035	\$64.789	\$4.999.233
15		\$246.035	0	\$246.035	\$58.899	\$5.058.132
16		\$246.035	0	\$246.035	\$53.544	\$5.111.676
17		\$246.035	0	\$246.035	\$48.677	\$5.160.353
18		\$246.035	0	\$246.035	\$44.252	\$5.204.604
19		\$246.035	0	\$246.035	\$40.229	\$5.244.833
20		\$246.035	0	\$246.035	\$36.572	\$5.281.405

Fuente: Elaboración propia.

TABLA 6.7: Cálculo de VAC para sistema de climatización por Caldera a gas.

Sistema Caldera a Gas						
Año	Inversión	Costo Combustible	Mantenimiento	Costo Total	Costo actualizado (i=10%)	VAC
0	\$1.000.000	0	0	\$1.000.000	\$1.000.000	\$1.000.000
1		\$561.094	\$60.000	\$621.094	\$564.631	\$1.564.631
2		\$561.094	\$60.000	\$621.094	\$513.301	\$2.077.932
3		\$561.094	\$60.000	\$621.094	\$466.637	\$2.544.569
4		\$561.094	\$60.000	\$621.094	\$424.216	\$2.968.784
5		\$561.094	\$60.000	\$621.094	\$385.651	\$3.354.435
6		\$561.094	\$60.000	\$621.094	\$350.591	\$3.705.026
7		\$561.094	\$60.000	\$621.094	\$318.719	\$4.023.746
8		\$561.094	\$60.000	\$621.094	\$289.745	\$4.313.491
9		\$561.094	\$60.000	\$621.094	\$263.404	\$4.576.895
10		\$561.094	\$60.000	\$621.094	\$239.459	\$4.816.354
11		\$561.094	\$60.000	\$621.094	\$217.690	\$5.034.043
12		\$561.094	\$60.000	\$621.094	\$197.900	\$5.231.943
13		\$561.094	\$60.000	\$621.094	\$179.909	\$5.411.852
14		\$561.094	\$60.000	\$621.094	\$163.553	\$5.575.405
15		\$561.094	\$60.000	\$621.094	\$148.685	\$5.724.090
16		\$561.094	\$60.000	\$621.094	\$135.168	\$5.859.258
17		\$561.094	\$60.000	\$621.094	\$122.880	\$5.982.139
18		\$561.094	\$60.000	\$621.094	\$111.709	\$6.093.848
19		\$561.094	\$60.000	\$621.094	\$101.554	\$6.195.402
20		\$561.094	\$60.000	\$621.094	\$92.322	\$6.287.723

En resumen, el VAC para 20 años, de los tres sistemas son:

- Sistema Solar Térmico: \$6.368.249 de pesos.
- Sistema Geotérmico: \$5.327.505 de pesos.
- Sistema Caldera a gas: \$6.287.723 de pesos.

Por ende el sistema más conveniente en base al VAC es el sistema geotérmico, debido a que es el menor valor de los tres sistemas.

6.2.7 Período de Amortización de los sistemas de climatización.

En los cálculos anteriores se aprecia el ahorro que se obtiene al utilizar el sistema geotérmico, en comparación a los otros sistemas convencionales. Este ahorro se traduce en un beneficio al utilizar el sistema geotérmico, la cual amortiza en el transcurso del tiempo la gran inversión que genera el costo inicial del sistema.

Para determinar un período de recuperación de inversión, se procede a comparar los sistemas de calefacción considerados para la edificación. Utilizando dos indicadores económicos sobre los beneficios del ahorro que implica el sistema geotérmico frente a los otros sistemas, tal como el Valor Actual Neto (VAN) que considera el valor del dinero en el tiempo, además del índice secundario llamado Período de Recuperación de la Inversión (Pay-Back), el cual no considera el valor del dinero en el tiempo ni el riesgo de la inversión.

Los valores de la amortización del sistema geotérmico con respecto al sistema con caldera a gas utilizando una tasa de descuento de 10%, se muestran a continuación:

TABLA 6.8: Amortización del Sistema Solar Térmico respecto al Sistema de Caldera a gas.

Sistema Solar Térmico							VAN (\$)
	Ingresos		Inversión (\$)	Cash-Flow (\$)	Pay-Back (\$)	Valor actual (i=10%) (\$)	
	Ahorro Costos en Gas (\$)	ahorro en mantenimiento(\$)					
0			-3774388	-3774388	-3774388	-3774388	- 1.130.526
1	280547	30000		310547	-3463841	282315	
2	280547	30000		310547	-3153294	256650	
3	280547	30000		310547	-2842747	233319	
4	280547	30000		310547	-2532200	212108	
5	280547	30000		310547	-2221653	192825	
6	280547	30000		310547	-1911106	175296	
7	280547	30000		310547	-1600559	159360	
8	280547	30000		310547	-1290012	144872	
9	280547	30000		310547	-979465	131702	
10	280547	30000		310547	-668918	119729	
11	280547	30000		310547	-358371	108845	
12	280547	30000		310547	-47824	98950	
13	280547	30000		310547	262723	89954	
14	280547	30000		310547	573270	81777	
15	280547	30000		310547	883817	74342	
16	280547	30000		310547	1194364	67584	
17	280547	30000		310547	1504911	61440	
18	280547	30000		310547	1815458	55855	
19	280547	30000		310547	2126005	50777	
20	280547	30000		310547	2436552	46161	

Fuente: Elaboración propia.

TABLA 6.9: Amortización del Sistema Geotérmico respecto al Sistema de Caldera a Gas.

Sistema Geotérmico							VAN (\$)
	Ingresos		Inversión (\$)	Cash-Flow (\$)	Pay-Back (\$)	Valor actual (\$) (i=10%)	
	Ahorro Costos en Gas	ahorro en mantenimiento					
0			-3.186.770	-3.186.770	-3.186.770	-3.186.770	6.319
1	\$315.059	\$60.000		375.059	-2.811.711	340.963	
2	\$315.059	\$60.000		375.059	-2.436.652	309.966	
3	\$315.059	\$60.000		375.059	-2.061.593	281.787	
4	\$315.059	\$60.000		375.059	-1.686.534	256.170	
5	\$315.059	\$60.000		375.059	-1.311.475	232.882	
6	\$315.059	\$60.000		375.059	-936.416	211.711	
7	\$315.059	\$60.000		375.059	-561.357	192.465	
8	\$315.059	\$60.000		375.059	-186.298	174.968	
9	\$315.059	\$60.000		375.059	188.761	159.062	
10	\$315.059	\$60.000		375.059	563.820	144.601	
11	\$315.059	\$60.000		375.059	938.879	131.456	
12	\$315.059	\$60.000		375.059	1313.938	119.505	
13	\$315.059	\$60.000		375.059	1688.997	108.641	
14	\$315.059	\$60.000		375.059	2064.056	98.765	
15	\$315.059	\$60.000		375.059	2439.115	89.786	
16	\$315.059	\$60.000		375.059	2814.174	81.624	
17	\$315.059	\$60.000		375.059	3189.233	74.203	
18	\$315.059	\$60.000		375.059	3564.292	67.458	
19	\$315.059	\$60.000		375.059	3939.351	61.325	
20	\$315.059	\$60.000		375.059	4314.410	55.750	

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados del indicador VAN resulta negativo para el sistemas solar térmico al compararlo con el sistema de caldera a gas, lo cual indica que no es conveniente utilizar el sistema solar térmico, ya que no se recupera la inversión inicial con el ahorro que genera respecto al sistema de caldera a gas.

Sin embargo el indicador VAN resulta positivo para el sistemas geotérmico al compararlo con el sistema de caldera a gas, lo cual indica que es conveniente utilizar el sistema geotérmico, ya que se recupera la inversión inicial con el ahorro que genera respecto al sistema de caldera a gas.

Por otro lado el indicador secundario Pay-Back (el cual no considera el valor del dinero en el tiempo ni el riesgo de la inversión) considera que la inversión realizada para los sistemas de climatización solar térmico y geotérmico se recupera en 12 y 9 años respectivamente con respecto al sistema con caldera a gas. Desde el punto de vista económico, se aprecia que utilizar el sistema solar térmico conlleva un gasto mayor al necesitar de un sistema de climatización adicional, a diferencia del sistema geotérmico que presenta una autonomía para abastecer la demanda de la vivienda.

CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES.

El objetivo general de esta tesis es comparar técnica y económicamente el uso de sistemas de climatización solar con el sistema de climatización geotérmica en una vivienda unifamiliar en Antofagasta.

Como resultado del diseño basado en las condiciones físicas y climatológicas de la ciudad de Antofagasta se obtiene el aporte de un sistema independiente para abastecer la demanda de la vivienda como lo fue el sistema geotérmico, mientras que el sistema solar térmico fue necesario utilizar un sistema de apoyo.

Técnicamente ambos sistemas tienen las condiciones de climatizar un lugar a través de métodos no convencionales disminuyendo considerablemente las emisiones de CO_2 con respecto a los sistemas de climatización convencionales.

Como cualquier sistema de climatización, es más eficiente cuando existe menor demanda de calor por metro cuadrado (edificación aislada). El problema del sistema geotérmico es que puede colapsar, si la demanda energética de la edificación aumenta, ya que el intercambio de calor con el suelo se limita a 2400 horas al año, mientras que el sistema solar térmico tiene un recurso inagotable e ilimitado de energía anual.

En el ámbito económico se aprecian resultados distintos entre ambos sistemas, debido a los resultados obtenidos con el análisis económico.

El pay-back del sistema solar térmico se logra al año 12, mientras que en el sistema geotérmico se logra en el año 9. Esto indica que la inversión se recupera 3 años antes utilizando el sistema geotérmico en desmedro del solar térmico.

Otro factor en el ámbito económico es el valor del VAN para cada sistema, donde se utilizó una tasa de descuento del 10%. Los resultados reflejan un VAN positivo para el sistema geotérmico, mientras que el VAN del sistema solar térmico es negativo. Esto quiere decir que desde el punto de vista económico, es más viable utilizar el sistema de climatización geotérmico en desmedro del sistema solar térmico.

Sin embargo los costos iniciales o de inversión pueden variar drásticamente debido a la utilización de tecnologías vanguardistas, las cuales tienen una tendencia a disminuir los costos y aumentar el rendimiento de los sistemas actuales.

Esto en el caso del sistema de climatización solar térmico es muy influyente, ya que el resultado del VAN pudiese cambiar y así ser una alternativa viable para el consumidor.

Respecto a las necesidades térmicas para el diseño de un sistema de climatización de una edificación en la ciudad de Antofagasta, están condicionadas por la carga térmica de invierno en desmedro de la carga térmica de verano.

Esto no debería cambiar en el tiempo debido a que las variaciones de temperatura respecto a las temperaturas ideales en verano son casi nulas. Este efecto pasa por ser una ciudad costera y tener al mar como un regulador natural de temperatura, ya que la zona norte de Chile se caracteriza por tener temperaturas más elevadas como por ejemplo Calama o San Pedro de Atacama, que presentan un cambio significativo en el ámbito climatológico respecto a Antofagasta

La finalidad de la utilización de sistemas no convencionales se fundamenta en ayudar al medio ambiental, bajando el consumo de energías no renovables y evitar así las emisiones de CO₂ lo que en esta tesis se puede comprobar que ambos sistemas cumplen con esta finalidad disminuyendo en gran porcentaje las emisiones de CO₂.

A continuación se puede apreciar las de emisiones de CO₂.

- Sistema solar térmico = 0 Kg de emisiones de CO₂ al año.
- Sistema geotérmico= 417 Kg de emisiones de CO₂ al año.
- Sistema caldera a gas= 1411 Kg de emisiones de CO₂ al año.

Por ende disminuye en un 100 % las emisiones de CO₂ utilizando el sistema solar térmico y un 70 % utilizando el sistema geotérmico respecto al uso de caldera a gas para la climatización de una vivienda al año.

Finalmente en esta tesis se ha logrado establecer una comparación técnica y económica entre dos sistemas de climatización no convencionales (solar térmico y geotérmico), logrando identificar ventajas y desventajas entre ambos. En consecuencia de lo realizado en esta tesis el consumidor será quien decida qué sistema es mejor dependiendo del punto de vista que se analice.

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

- BRIAN EDWARDS, 2009. Guía básica de la sostenibilidad.
- ASIT, 2010. Guía de energía solar térmica.
- GUILLERMO LLOPIS TRILLO, 2010. Guía de la energía geotérmica.
- BOREAL GEOTHERMAL, 2006. Manual de instalación.
- NICOLAS CAMESELLE, 2013. Análisis del comportamiento de una instalación con bomba de calor geotérmica para climatización.
- CARRIER INTERNATIONAL LIMITED, 2009. Manual de aire acondicionado.
- REGLAMENTO DE INSTALACIONES TÉRMICAS EN LOS EDIFICIOS DE CHILE (RITCH), 2007.
- NCH3096/1, 2007. Sistemas solares térmicos y componentes. Colectores solares.
- NCH3120/1, 2007. Sistemas solares prefabricados.
- NCH2904.OF2004. Energía solar térmica. Vocabulario. (Basada en ISO 9488)
- CORPORACIÓN DE DESARROLLO TECNOLÓGICO, CÁMARA CHILENA DE LA CONSTRUCCIÓN, 2007. Sistema solar térmico, manual de diseño.
- GUÍA PRÁCTICA PARA CONOCER Y UTILIZAR LA ENERGÍA SOLAR, 2014. (disponible en www.chilerenovables.cl)
- GEOKISS. GSHP DESIGN RECOMMENDATIONS- RESIDENTIAL & LIGHT COMMERCIAL. (disponible en: <http://www.geokiss.com/res-design/gshpdesignrec2.pdf>)
- EROSKI CONSUMER, (2104). CALEFACCIÓN RADIAL. (disponible en: <http://revista.consumer.es/>)
- PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL MEDIO AMBIENTE, 2011. Recursos energéticos. (disponible en www.pnuma.org)
- INSTITUTO NACIONAL ESTADISTICO (INE), 2008. Distribución y consumo energético en Chile.
- GHEL Y HOOK, 2010. Arquitectura y urbanismo.
- PIZARRO Y SILVA, 1997.(docentes de la Pontificia Universidad Católica de Chile) Fuente de energía.
- ASHRAE HANDBOOK, 2001. HVAC fundamentals.
- INTERNATIONAL GROUND SOURCES HEAT PUMP ASSOCIATION (IGSHPA), 1988.
- ANWO, 2014. Comercialización y venta de sistema de climatización.
- CENSOLAR, 2014. Centro de estudios de la energía solar.
- ISOINGENIERÍA, 2013.

NCH 853 Of.91. Acondicionamiento térmico - Envolvente térmica de edificios- Cálculo de resistencias y transmitancias térmicas.

VINILIT S.A, 2014. Comercialización y venta de tuberías.

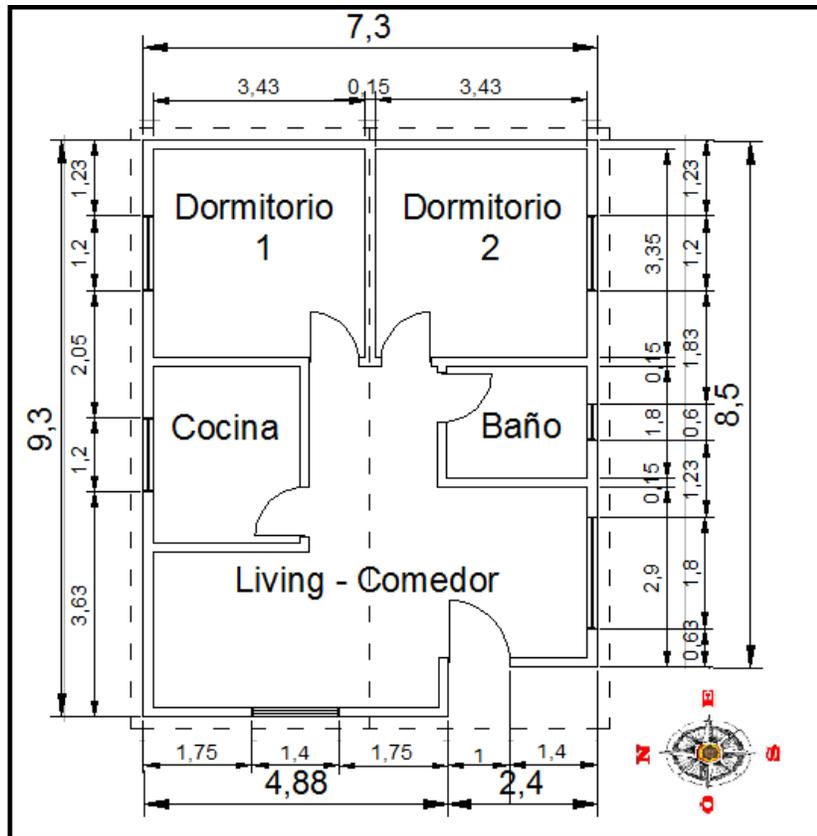
AISLAPOL, 2014. Innovación y tecnología.

WUNDERGROUND, 2014. Previsiones del clima (www.wunderground.com)

ANEXOS

ANEXO A: Planos de arquitectura.

Fig. 1 Plano de Planta



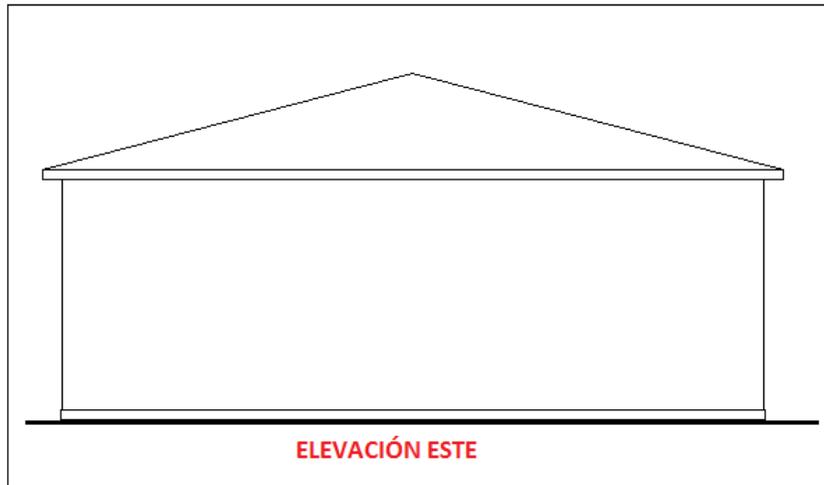
FUENTE: Elaboración Propia

Fig. 2 Elevación oeste



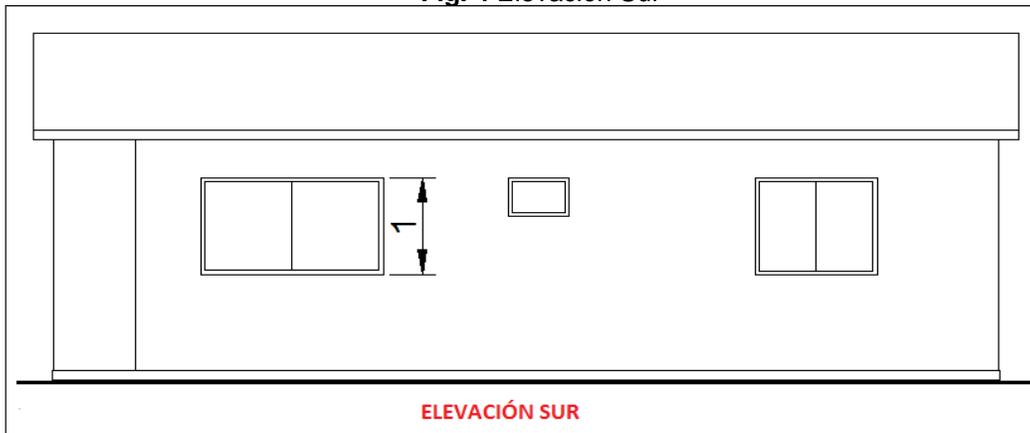
FUENTE: Elaboración Propia

Fig. 3 Elevación Este



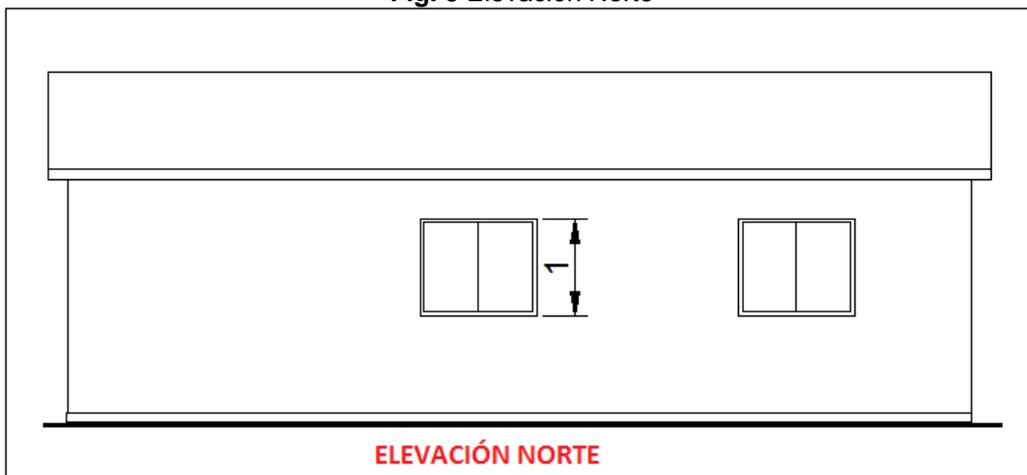
FUENTE: Elaboración Propia

Fig. 4 Elevación Sur



FUENTE: Elaboración Propia

Fig. 5 Elevación Norte



FUENTE: Elaboración Propia

ANEXO B: Registro de Temperaturas, Antofagasta 2013

Registro de Temperaturas, Antofagasta 2013			
Fecha	Máxima	Media	Mínima
01.01.2013	22	18	14
02.01.2013	21	18	15
03.01.2013	22	19	16
04.01.2013	21	19	17
05.01.2013	21	19	16
06.01.2013	21	19	16
07.01.2013	21	18	14
08.01.2013	22	18	15
09.01.2013	21	18	16
10.01.2013	22	19	17
11.01.2013	22	19	16
12.01.2013	23	21	18
13.01.2013	23	21	19
14.01.2013	23	20	16
15.01.2013	23	19	15
16.01.2013	23	20	17
17.01.2013	24	21	17
18.01.2013	23	20	17
19.01.2013	23	20	17
20.01.2013	23	21	18
21.01.2013	24	21	17
22.01.2013	24	21	17
23.01.2013	23	20	18
24.01.2013	24	20	17
25.01.2013	23	20	17
26.01.2013	23	20	17
07.01.2013	23	20	17
28.01.2013	23	20	17
29.01.2013	22	20	18
30.01.2013	22	19	16
31.01.2013	23	20	17
01.02.2013	24	21	17
02.02.2013	23	20	17
03.02.2013	23	20	17
04.02.2013	23	20	17
05.02.2013	26	21	16
06.02.2013	26	22	19
07.02.2013	25	22	19

08.02.2013	26	22	18
09.02.2013	26	22	19
10.02.2013	24	22	19
11.02.2013	24	21	19
12.02.2013	25	22	18
13.02.2013	24	21	18
14.02.2013	24	21	18
15.02.2013	24	21	17
16.02.2013	24	21	17
17.02.2013	23	21	18
18.02.2013	22	20	18
19.02.2013	21	18	16
20.02.2013	20	18	15
21.02.2013	20	17	14
22.02.2013	23	19	15
23.02.2013	21	18	16
24.02.2013	22	19	16
25.02.2013	24	20	17
26.02.2013	22	20	17
27.02.2013	22	20	17
28.02.2013	22	19	17
01.03.2013	22	19	16
02.03.2013	21	19	16
03.03.2013	22	19	16
04.03.2013	21	19	17
05.03.2013	21	18	16
06.03.2013	21	18	16
07.03.2013	21	18	14
08.03.2013	21	19	17
09.03.2013	21	19	17
10.03.2013	21	19	16
11.03.2013	21	19	18
12.03.2013	22	20	17
13.03.2013	21	19	17
14.03.2013	21	18	14
15.03.2013	20	17	13
16.03.2013	21	18	14
17.03.2013	20	17	14
18.03.2013	21	19	16
19.03.2013	20	17	13
20.03.2013	20	17	14

21.03.2013	21	17	14
22.03.2013	21	17	13
23.03.2013	21	17	14
24.03.2013	20	17	14
25.03.2013	19	17	14
26.03.2013	21	18	14
27.03.2013	20	18	15
28.03.2013	21	18	14
29.03.2013	21	17	14
30.03.2013	21	17	13
31.03.2013	21	17	14
01.04.2013	20	17	13
02.04.2013	19	17	14
03.04.2013	18	16	12
04.04.2013	19	16	12
05.04.2013	19	16	12
06.04.2013	19	16	12
07.04.2013	19	16	12
08.04.2013	21	17	12
09.04.2013	20	17	13
10.04.2013	22	18	13
11.04.2013	20	16	12
12.04.2013	18	16	13
13.04.2013	17	15	13
14.04.2013	19	17	13
15.04.2013	18	14	11
16.04.2013	18	14	11
17.04.2013	18	14	11
18.04.2013	17	14	12
19.04.2013	20	17	14
20.04.2013	19	16	12
21.04.2013	18	16	13
22.04.2013	18	16	14
23.04.2013	19	16	12
24.04.2013	18	14	11
25.04.2013	18	14	11
26.04.2013	17	16	13
27.04.2013	17	14	11
28.04.2013	18	15	12
29.04.2013	18	15	12
30.04.2013	17	14	13

01.05.2013	17	14	13
02.05.2013	16	13	12
03.05.2013	17	14	12
04.05.2013	19	16	12
05.05.2013	21	18	14
06.05.2013	19	16	13
07.05.2013	19	16	12
08.05.2013	18	14	11
09.05.2013	17	14	11
10.05.2013	19	15	11
11.05.2013	18	14	11
12.05.2013	18	16	12
13.05.2013	18	15	12
14.05.2013	18	14	11
15.05.2013	18	14	11
16.05.2013	19	16	12
17.05.2013	19	16	12
18.05.2013	20	17	14
19.05.2013	17	16	14
20.05.2013	16	14	13
21.05.2013	17	14	11
22.05.2013	17	15	13
23.05.2013	16	15	14
24.05.2013	17	15	13
25.05.2013	17	14	12
26.05.2013	17	13	9
27.05.2013	17	13	10
28.05.2013	16	12	9
29.05.2013	17	13	9
30.05.2013	16	13	11
31.05.2013	18	14	12
01.06.2013	16	12	9
02.06.2013	18	14	10
03.06.2013	17	13	10
04.06.2013	16	14	12
05.06.2013	17	14	12
06.06.2013	15	12	10
07.06.2013	16	13	10
08.06.2013	16	13	11
09.06.2013	17	14	12
10.06.2013	17	14	12

11.06.2013	17	14	12
12.06.2013	18	14	12
13.06.2013	17	14	12
14.06.2013	18	16	13
15.06.2013	17	13	10
16.06.2013	16	14	12
17.06.2013	17	16	14
18.06.2013	17	14	12
19.06.2013	16	13	11
20.06.2013	16	12	8
21.06.2013	14	11	8
22.06.2013	14	12	9
23.06.2013	16	12	9
24.06.2013	14	11	8
25.06.2013	14	12	9
26.06.2013	14	11	8
27.06.2013	14	12	9
28.06.2013	15	13	11
29.06.2013	13	12	12
30.06.2013	16	13	10
01.07.2013	15	12	10
02.07.2013	15	13	12
03.07.2013	14	13	11
04.07.2013	15	12	8
05.07.2013	15	12	10
06.07.2013	15	11	7
07.07.2013	14	12	9
08.07.2013	16	13	11
09.07.2013	15	12	10
10.07.2013	15	13	11
11.07.2013	15	13	12
12.07.2013	17	14	12
13.07.2013	16	14	13
14.07.2013	17	13	11
15.07.2013	15	13	11
16.07.2013	16	13	10
17.07.2013	16	12	9
18.07.2013	16	13	12
19.07.2013	15	12	10
20.07.2013	16	13	11
21.07.2013	15	12	10

22.07.2013	14	12	9
23.07.2013	14	10	7
24.07.2013	14	12	9
25.07.2013	14	12	10
26.07.2013	15	13	11
27.07.2013	16	13	10
28.07.2013	16	14	13
29.07.2013	14	13	12
30.07.2013	15	13	11
31.07.2013	15	13	12
01.08.2013	15	13	12
02.08.2013	14	11	8
03.08.2013	15	13	12
04.08.2013	16	13	11
05.08.2013	17	14	13
06.08.2013	19	17	13
07.08.2013	16	13	12
08.08.2013	16	14	12
09.08.2013	15	13	12
10.08.2013	16	13	12
11.08.2013	15	13	12
12.08.2013	15	13	12
13.08.2013	15	13	11
14.08.2013	18	16	13
15.08.2013	15	13	11
16.08.2013	15	13	12
17.08.2013	17	14	11
18.08.2013	17	14	13
19.08.2013	16	14	13
20.08.2013	16	14	12
21.08.2013	15	14	13
22.08.2013	16	14	13
23.08.2013	18	16	13
24.08.2013	17	14	13
25.08.2013	17	14	11
26.08.2013	16	13	11
27.08.2013	19	14	9
28.08.2013	21	17	13
29.08.2013	18	16	14
30.08.2013	16	13	11
31.08.2013	16	14	13

01.09.2013	17	15	13
02.09.2013	17	14	13
03.09.2013	19	16	13
04.09.2013	19	16	13
05.09.2013	17	14	11
06.09.2013	18	16	13
07.09.2013	19	16	13
08.09.2013	21	18	15
09.09.2013	24	20	16
10.09.2013	19	16	12
11.09.2013	16	14	14
12.09.2013	16	14	14
13.09.2013	17	15	13
14.09.2013	17	15	13
15.09.2013	16	14	12
16.09.2013	15	13	11
17.09.2013	14	12	10
18.09.2013	17	14	11
19.09.2013	16	14	12
20.09.2013	16	12	9
21.09.2013	16	13	12
22.09.2013	14	13	12
23.09.2013	15	13	12
24.09.2013	15	13	12
25.09.2013	16	14	12
26.09.2013	17	14	13
27.09.2013	16	14	12
28.09.2013	16	13	12
29.09.2013	17	14	12
30.09.2013	16	14	12
01.10.2013	16	14	13
02.10.2013	16	14	12
03.10.2013	16	14	13
04.10.2013	17	14	12
05.10.2013	17	16	14
06.10.2013	17	16	13
07.10.2013	16	14	12
08.10.2013	17	15	13
09.10.2013	17	16	13
10.10.2013	17	15	13
11.10.2013	17	15	13

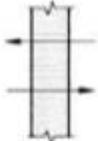
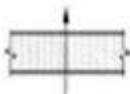
12.10.2013	17	16	13
13.10.2013	18	16	14
14.10.2013	17	14	13
15.10.2013	17	14	12
16.10.2013	18	16	13
17.10.2013	17	16	13
18.10.2013	17	14	12
19.10.2013	18	16	14
20.10.2013	17	16	14
21.10.2013	17	14	12
22.10.2013	18	16	14
23.10.2013	17	16	14
24.10.2013	18	16	13
25.10.2013	18	16	13
26.10.2013	18	16	13
27.10.2013	17	16	14
28.10.2013	17	16	15
29.10.2013	18	16	14
30.10.2013	18	16	14
31.10.2013	18	17	14
01.11.2013	19	17	14
02.11.2013	18	16	13
03.11.2013	18	16	14
04.11.2013	19	17	14
05.11.2013	18	14	12
06.11.2013	18	17	14
07.11.2013	18	17	15
08.11.2013	18	17	14
09.11.2013	19	17	14
10.11.2013	19	17	15
11.11.2013	19	16	13
12.11.2013	19	17	13
13.11.2013	19	17	15
14.11.2013	19	16	12
15.11.2013	19	17	15
16.11.2013	20	18	16
17.11.2013	21	19	16
18.11.2013	19	18	16
19.11.2013	20	17	14
20.11.2013	19	17	13
21.11.2013	19	17	15

22.11.2013	19	17	15
23.11.2013	20	17	14
24.11.2013	21	18	15
25.11.2013	21	18	15
26.11.2013	21	18	15
27.11.2013	20	18	16
28.11.2013	21	18	16
29.11.2013	20	17	14
30.11.2013	20	18	16
01.12.2012	20	18	15
02.12.2013	20	18	16
03.12.2013	20	17	13
04.12.2013	24	20	16
05.12.2013	23	20	16
06.12.2013	23	19	16
07.12.2013	22	19	17
08.12.2013	23	20	17
09.12.2013	21	18	16
10.12.2013	21	18	14
11.12.2013	21	18	14
12.12.2013	21	19	16
13.12.2013	22	20	17
14.12.2013	22	19	16
15.12.2013	22	19	16
16.12.2013	22	18	14
17.12.2013	22	20	18
18.12.2013	22	20	17
19.12.2013	22	19	16
20.12.2013	22	20	18
21.12.2013	22	19	16
22.12.2013	22	19	17
23.12.2013	22	19	16
24.12.2013	23	20	18
25.12.2013	24	22	19
26.12.2013	23	20	18
27.12.2013	23	19	16
28.12.2013	23	20	17
29.12.2013	23	20	17
30.12.2013	24	21	18
31.12.2013	24	22	19

FUENTE: Elaboración Propia a partir de www.wunderground.com

ANEXO C: Cálculo de Carga Térmica

Fig. Resistencia Térmica correspondiente al aire exterior e interior.

Resistencias térmicas de superficie [(m ² *K)/W]						
Posición del elemento y sentido del flujo de calor	Situación del elemento					
	De separación con espacio exterior o local abierto			De separación con otro local, desván o cámara de aire		
	R _{si}	R _{se}	R _{si + R_{se}}	R _{si}	R _{se}	R _{si + R_{se}}
Flujo horizontal en elementos verticales o con pendiente mayor de 60° respecto a la horizontal 	0,12	0,05	0,17	0,12	0,12	0,24
Flujo ascendente en elementos horizontales o con pendiente menor o igual a 60° respecto a la horizontal 	0,09	0,05	0,14	0,10	0,10	0,20
Flujo descendente en elementos horizontales o con pendiente menor o igual a 60° respecto a la horizontal 	0,17	0,05	0,22	0,17	0,17	0,34

1. Estos valores se obtuvieron experimentalmente por el método de la norma NCh851.
2. Los valores de esta tabla son válidos para velocidades de viento en el exterior inferior a 10km/h (2,8 m/s). Para velocidades mayores se considera R_{se} = 0
3. Para condiciones de pérdidas térmicas en invierno, en general, el flujo de calor es ascendente en los techos y descendente en los pisos.
4. Para condiciones de ganancias térmicas en verano, en general, el flujo de calor es descendente en los techos y ascendente en los pisos.

FUENTE: Nch 853 Of.91.

Tabla. Cálculo de transmitancia térmica de los cerramientos.

Resistencia y Transmitancia Térmica de los componentes de la vivienda						
Muros	Espesor (m)	Conductividad [(W/(m x K))]	Resistencia [(m²*K)/W]	Rsi +Rse	Resistencia Total	U [W/(m²*K)]
Osb	0,012	0,14	0,086			
Fibrocemento	0,006	0,18	0,033			
Lana de vidrio	0,05	0,037	1,351	0,12	1,623	0,62
Yeso cartón	0,01	0,31	0,032			
Puertas	espesor (m)	Conductividad [(W/(m x K))]	Resistencia [(m²*K)/W]	Rsi +Rse	Resistencia Total	U [W/(m²*K)]
Plancha ext. MDF	0,004	0,13	0,031			
Plancha int. MDF	0,004	0,13	0,031	0,12	0,347	2,89
Cámara de aire	-	-	0,165			
Cielo	espesor (m)	Conductividad [(W/(m x K))]	Resistencia [(m²*K)/W]	Rsi +Rse	Resistencia Total	U [W/(m²*K)]
Yeso cartón	0,01	0,31	0,032			
Cámara de aire	-	-	0,165			
Fibrocemento	0,04	0,18	0,002	0,1	1,650	0,61
Lana de vidrio	0,05	0,037	1,351			
Piso	espesor (m)	Conductividad [(W/(m x K))]	Resistencia [(m²*K)/W]	Rsi +Rse	Resistencia Total	U [W/(m²*K)]
Piso flotante	0,01	0,12	0,083			
Mortero	0,05	1,4	0,036			
Polietileno	0,03	0,04	0,750	0,12	1,032	0,97
Hormigón	0,07	1,63	0,043			
Ventana						6,2

FUENTE: Elaboración Propia

Tabla. Cálculo Carga térmica por transmisión (invierno).

PÉRDIDAS DE CALOR POR TRANSMISIÓN (Qt).					
Dormitorio 1					
Superficie	Coef. Orientación	Área (m2)	Coef. Transmisión calor	ΔT (°K)	Pérdidas de calor
Muro	1,05	29,5	0,62	-11	-211,25
Ventana	1	1,2	6,2	-11	-81,84
Puerta	1	1,7	2,89	-11	-54,04
Piso	1	11,5	0,97	-4	-44,62
Cielo	1	11,5	0,8	-11	-101,20
Total (W)					-492,95
Dormitorio 2					
Superficie	Coef. Orientación	Área (m2)	Coef. Transmisión calor	ΔT (°K)	Pérdidas de calor
Muro	1,1	29,5	0,62	-11	-221,309
Ventana	1	1,2	6,2	-11	-81,84
Puerta	1	1,7	2,89	-11	-54,043
Piso	1	11,5	0,97	-4	-44,62
Cielo	1	11,5	0,8	-11	-101,2
Total (W)					-503,012
Cocina					
Superficie	Coef. Orientación	Área (m2)	Coef. Transmisión calor	ΔT (°K)	Pérdidas de calor
Muro	1,05	25,4	0,62	-11	-181,8894
Ventana	1	1,2	6,2	-11	-81,84
Puerta	1	1,7	2,89	-11	-54,043
Piso	1	7	0,97	-4	-27,16
Cielo	1	7	0,8	-11	-61,6
Total (W)					-406,5324
Baño					
Superficie	Coef. Orientación	Área (m2)	Coef. Transmisión calor	ΔT (°K)	Pérdidas de calor
Muro	1,1	17,53	0,62	-11	-131,51006
Ventana	1	0,25	6,2	-11	-17,05
Puerta	1	1,7	2,89	-11	-54,043
Piso	1	4,3	0,97	-4	-16,684
Cielo	1	4,3	0,8	-11	-37,84
Total (W)					-257,12706
Living - Comedor					
Superficie	Coef. Orientación	Área (m2)	Coef. Transmisión calor	ΔT (°K)	Pérdidas de calor
Muro	1,05	47,3	0,62	-11	-338,7153
Ventana	1	4,2	6,2	-11	-286,44
Puerta	1	1,7	2,89	-11	-54,043
Piso	1	24,4	0,97	-4	-94,672
Cielo	1	24,4	0,8	-11	-214,72
Total (W)					-988,5903

FUENTE: Elaboración Propia

Tabla. Cálculo Carga térmica por transmisión (verano).

PÉRDIDAS DE CALOR POR TRANSMISIÓN (Qt).					
Dormitorio 1					
Superficie	Coef. Orientación	Área (m2)	Coef. Transmisión calor	ΔT (°K)	Pérdidas de calor
Muro	1,05	29,5	0,62	1	19,2045
Ventana	1	1,2	5,9	1	7,08
Puerta	1	1,7	2,89	1	4,913
Piso	1	11,5	0,97	-6	-66,93
Cielo	1	11,5	0,8	1	9,2
Total (W)					-26,5325
Dormitorio 2					
Superficie	Coef. Orientación	Área (m2)	Coef. Transmisión calor	ΔT (°K)	Pérdidas de calor
Muro	1,1	29,5	0,62	1	20,119
Ventana	1	1,2	5,9	1	7,08
Puerta	1	1,7	2,89	1	4,913
Piso	1	11,5	0,97	-6	-66,93
Cielo	1	11,5	0,8	1	9,2
Total (W)					-25,618
Cocina					
Superficie	Coef. Orientación	Área (m2)	Coef. Transmisión calor	ΔT (°K)	Pérdidas de calor
Muro	1,05	25,4	0,62	1	16,5354
Ventana	1	1,2	5,9	1	7,08
Puerta	1	1,7	2,89	1	4,913
Piso	1	7	0,97	-6	-40,74
Cielo	1	7	0,8	1	5,6
Total (W)					-6,6116
Baño					
Superficie	Coef. Orientación	Área (m2)	Coef. Transmisión calor	ΔT (°K)	Pérdidas de calor
Muro	1,1	17,53	0,62	1	11,95546
Ventana	1	0,25	5,9	1	1,475
Puerta	1	1,7	2,89	1	4,913
Piso	1	4,3	0,97	-6	-25,026
Cielo	1	4,3	0,8	1	3,44
Total (W)					-3,24254
Living - Comedor					
Superficie	Coef. Orientación	Área (m2)	Coef. Transmisión calor	ΔT (°K)	Pérdidas de calor
Muro	1,05	47,3	0,62	1	30,7923
Ventana	1	4,2	5,9	1	24,78
Puerta	1	1,7	2,89	1	4,913
Piso	1	24,4	0,97	-6	-142,008
Cielo	1	24,4	0,8	1	19,52
Total (W)					-62,0027

FUENTE: Elaboración Propia

Tabla. Cálculo Carga térmica por ventilación.

Perdidas de calor por ventilación (Qv)						
Sector vivienda	Volumen (m3)	Renovación aire	ΔT °C	calor específico A.	Densidad del aire	Qv
Dormitorio 1	27,6	0,5	-11	1,005	1,205	-183,83
Dormitorio 2	27,6	0,5	-11	1,005	1,205	-183,83
Cocina	16,8	0,5	-11	1,005	1,205	-111,90
Baño	10,32	1	-11	1,005	1,205	-137,48
Living - comedor	58,56	0,5	-11	1,005	1,205	-390,05
Total perdidas (W)						-1007,09

FUENTE: Elaboración Propia

Tabla. Radiación solar que atraviesa la superficie traslúcida.

APORTACION SOLAR A TRAVÉS DEL VIDRIO (W/M²)				
Antofagasta		Horas Solar		
Mes	Orientación	8	12	16
Febrero	S	34	44	34
	SE	371	44	34
	E	519	44	34
	NE	355	63	34
	N	34	81	34
	NO	34	63	355
	O	34	44	519
	SO	34	44	371
<i>Nota: Factor de corrección por marco metálico 1,17</i>				

FUENTE: Elaboración Propia a partir de Carrier Air Conditioning Company, 2009

Tabla. Coeficientes de insolación

Coeficientes globales de insolación con o sin dispositivo de sombra				
Tipo de Vidrio	Sin persiana	Persiana veneciana interior o cortina de tela		
		Clara	Media	Oscura
Vidrio sencillo 6mm	1	0,56	0,65	0,75
Vidrio absorbente				
Coef. Absorción (0,4-0,48)	0,8	0,56	0,62	0,72
Coef. Absorción (0,48-0,56)	0,73	0,53	0,59	0,62
Coef. Absorción (0,56-0,7)	0,62	0,51	0,54	0,56

FUENTE: Elaboración Propia a partir de Carrier.

Tabla. Cálculo de aporte solar por radiación

Dormitorio 1						
Hora	Orientación	S (m ²)	R (W/m ²)	Coef. Sombra	Coef. Corrección	Carga (W)
8:00	Norte	1,2	34	0,65	1,17	31,03
12:00			81			73,92
16:00			34			31,03
Dormitorio 2						
8:00	Sur	1,2	34	0,65	1,17	31,03
12:00			44			40,15
16:00			34			31,03
Baño						
8:00	Sur	0,6	34	0,65	1,17	15,51
12:00			44			20,08
16:00			34			15,51
Cocina						
8:00	Norte	1,2	34	0,65	1,17	31,03
12:00			81			73,92
16:00			34			31,03
Living - Comedor (2 ventanas)						
8:00	Oeste	1,2	34	0,65	1,17	31,03
12:00			44			40,15
16:00			519			473,64
8:00	Sur	3,2	34	0,65	1,17	82,74
12:00			44			107,08
16:00			34			82,74

FUENTE: Elaboración Propia

ANEXO D: Temperaturas horarios

Tablas. Temperaturas horarias de los meses de invierno.

Junio

Hora	Temperaturas horarias en la ciudad de Antofagasta, Junio 2013																														
	Días del mes																														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
6:00 AM			13	14	14	12	14			15	15	13	12	13		14	14	14	11	12			9	12	10	12	13				
7:00 AM			13	14	14	11	13			15	15	13	11	13		14	14	14	11	12			9	11	9	12	12				
8:00 AM			13	14	14	11	14			15	14	13	12	13		14	14	14	11	11			10	10	9	12	12				
9:00 AM	13	10	13	14	14	13	14	13	14	15	15	14	15	15	14	13	17	15	14	12	11	11	12	12	12	12	11	12	13		
10:00 AM	14	14	15	15	15	14	15	14	15	15	15	16	16	15	14	17	16	15	13	13	12	13	12	13	13	12	13	12	14		
11:00 AM	15	15	16	15	16	15	15	15	16	16	16	17	16	17	16	17	16	14	17	16	15	14	14	13	14	13	14	13	14		
12:00 PM	16	17	17	16	17	15	16	16	16	17	16	17	17	18	16	16	16	17	15	15	14	14	14	14	14	14	13	14	15		
1:00 PM	16	16	16	16	16	15	16	16	16	16	16	17	18	17	18	16	16	16	17	15	15	14	15	14	14	14	14	14	13	16	
2:00 PM	15	17	15	16	16	15	16	16	16	16	16	17	16	17	16	18	17	15	16	17	15	15	14	14	15	14	15	14	15	15	
3:00 PM	16	15	15	16	16	14	16	16	16	17	17	16	16	18	16	15	15	16	15	15	14	14	15	14	15	14	14	15	13	15	
4:00 PM	15	15	15	16	15	14	16	16	16	16	16	16	16	17	16	15	15	16	15	15	14	14	14	14	14	14	13	15	13	14	
5:00 PM	15	14	14	15	15	14	16	15	16	16	16	16	16	16	15	15	15	16	15	14	13	13	14	14	14	13	13	14	13	14	
6:00 PM	15	14	15	15	14	13	14	15	15	14	15	15	16	15	15	14	15	14	14	13	13	13	13	13	13	13	13	13	14	13	13
7:00 PM	14	13	14	14	14	13	14	14	14	14	14	15	15	15	14	14	15	14	14	13	13	12	13	13	12	13	13	14	12	13	
8:00 PM	14	13	14	14	13	13	14	14	14	13	14	14	15	14	14	14	15	14	14	12	13	11	13	13	12	13	13	14	13	12	
9:00 PM	14	12	14	13	13	14	13	14	13	12	14	14	14	14	13	14	15	13	14	12	13	11	12	13	13	13	13	13	12	11	
10:00 PM	14	12	14	13	12	14	13	14	13	12	14	14	14	13	13	14	15	12	14	12	12	10	12	13	12	12	12	13	12	11	
11:00 PM	14	12	14	12	12	14	13	14	13	12	13	15	14	13	13	14	15	12	13	12	11	11	12	13	13	10	12	13	12	10	
12:00 AM	13	13	11	14	14	11	14	13	14	14	12	13	14	14	13	13	14	15	12	12	11	11	12	12	13	12	10	12	13	12	

Julio

Hora	Temperaturas horarias en la ciudad de Antofagasta, Julio 2013																															
	Días del mes																															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
6:00 AM	12	13	12	10	11			12	13	13	13	13			13	12	12	13	12			11	8	12	11	12			12	13	13	
7:00 AM	11	13	12	9	11			12	12	13	13	13			12	12	12	13	12			10	7	11	12	12			13	13	13	
8:00 AM	12	13	12	11	10			12	12	13	13	13			12	12	12	13	11			10	8	11	12	12			13	13	13	
9:00 AM	12	13	12	12	12	10	12	12	13	13	13	13	14	13	13	12	12	12	14	12	13	13	12	11	11	12	12	13	14	13	13	
10:00 AM	13	14	14	12	13	13	13	13	13	13	13	14	14	14	13	13	12	15	13	15	14	12	12	12	13	14	15	14	13	14	14	
11:00 AM	15	14	14	14	15	14	14	14	14	14	14	16	15	14	14	14	14	15	13	15	15	13	13	13	13	14	16	15	14	14	14	
12:00 PM	15	15	14	14	15	14	14	15	14	14	14	16	15	16	14	15	16	15	14	15	15	14	13	15	14	15	15	14	15	14	15	14
1:00 PM	14	15	14	14	15	15	14	15	14	14	14	15	16	16	14	15	15	15	14	15	15	14	13	15	14	14	15	14	15	14	15	14
2:00 PM	14	14	14	15	15	14	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	14	15	15	14	14	14	14	15	15	14	15	14	15	15
3:00 PM	14	14	14	15	15	14	14	15	15	14	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	14	13	14	14	14	15	15	15	14	15	15	
4:00 PM	14	13	14	14	15	15	14	14	15	15	14	15	15	15	15	14	14	15	14	15	14	14	13	14	13	15	15	15	14	14	15	
5:00 PM	13	13	13	13	14	14	13	14	15	15	14	15	14	14	14	14	14	14	14	14	13	13	13	13	13	14	14	14	14	13	14	
6:00 PM	13	13	13	13	14	13	13	13	15	15	13	14	13	14	14	13	14	14	14	13	12	13	13	13	14	14	14	13	13	14	14	
7:00 PM	13	13	13	13	13	12	13	15	14	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	11	12	12	13	14	14	14	13	13	13		
8:00 PM	13	13	13	13	12	13	13	13	13	14	13	14	13	12	12	12	13	13	13	13	11	12	12	13	13	13	13	13	13	13		
9:00 PM	12	13	13	13	12	13	13	13	13	14	13	14	13	12	12	13	13	13	13	13	11	12	12	13	13	13	13	13	13	13		
10:00 PM	13	13	13	13	11	13	12	13	13	14	13	14	13	11	12	12	12	12	12	12	11	12	12	13	13	13	13	13	13	13		
11:00 PM	13	13	13	13	11	13	12	13	12	13	13	13	13	11	12	11	13	12	12	12	13	11	12	12	13	13	13	13	12	13	13	
12:00 AM	12	13	13	12	13	11	13	12	12	12	13	13	14	13	13	10	11	13	12	12	12	12	10	12	14	13	13	14	13	12	13	

Agosto

Hora	Temperaturas horarias en la ciudad de Antofagasta, Agosto 2013																														
	Días del mes																														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
6:00 AM	12	9			13	13	12	12	12			13	12	13	12	12			14	12	13	13	13			12	13	12	15	14	
7:00 AM	12	9			13	13	11	12	12			13	12	13	12	12			14	12	13	13	14			12	13	13	15	14	
8:00 AM	12	9			13	13	11	12	13			13	12	13	11	12			13	12	14	14	14			12	13	13	15	13	
9:00 AM	12	10	13	12	14	14	13	13	13	12	13	13	14	14	12	12	12	13	13	13	13	14	14	14	13	12	13	15	15	12	14
10:00 AM	13	12	13	12	15	15	14	14	13	12	13	13	14	15	13	12	13	14	13	14	13	14	14	14	14	14	15	15	15	14	14
11:00 AM	14	13	14	12	15	15	15	14	14	13	14	13	15	15	14	13	13	15	14	14	13	14	15	14	15	14	18	16	16	15	14
12:00 PM	14	13	14	13	17	17	15	15	14	15	15	14	15	18	15	13	13	17	15	15	14	16	17	15	15	16	16	18	15	16	15
1:00 PM	15	14	15	14	17	18	15	15	14	16	15	14	15	16	15	14	15	15	15	15	15	15	17	15	16	16	16	19	16	16	16
2:00 PM	15	14	15	15	17	19	16	15	15	14	14	15	15	16	15	14	16	16	15	15	15	15	17	15	16	15	16	19	17	16	16
3:00 PM	15	14	15	16	15	17	15	15	14	15	15	15	15	14	15	15	17	15	15	15	15	14	15	16	16	16	16	18	18	16	15
4:00 PM	15	15	15	16	14	18	15	14	14	14	15	15	14	14	14	15	15	14	15	15	15	15	15	16	16	16	15	19	17	16	16
5:00 PM	14	14	15	15	14	16	15	14	14	14	15	14	14	14	14	14	14	15	15	15	15	14	14	15	15	16	15	17	17	16	14
6:00 PM	13	14	14	15	14	15	14	14	14	14	14	14	14	13	13	13	13	14	14	15	15	14	14	14	14	15	15	14	17	16	15
7:00 PM	13	13	13	14	14	15	14	13	13	13	14	13	13	13	13	13	13	14	14	14	14	14	14	14	14	14	15	14	16	15	14
8:00 PM	13	13	12	13	14	14	14	14	12	13	13	13	13	13	13	13	13	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	15	14	15	14
9:00 PM	12	13	12	13	14	14	14	13	12	13	12	13	13	13	13	13	14	14	14	14	14	14	14	14	13	13	14	15	16	14	14
10:00 PM	12	13	12	14	13	14	14	13	13	13	13	12	13	13	13	13	14	14	14	13	14	14	14	13	13	14	15	16	14	14	14
11:00 PM	12	13	12	14	13	14	14	13	13	13	13	12	13	13	12	13	13	14	13	14	14	14	13	13	13	13	15	15	14	14	14
12:00 AM	13	12	13	12	14	14	15	14	13	13	14	13	13	13	12	12	13	13	14	13	14	14	14	14	13	13	13	15	15	14	14

Septiembre

Hora	Temperaturas horarias en la ciudad de Antofagasta, Septiembre 2013																														
	Días del mes																														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
6:00 AM		13	14	15	11	14			16	13	14	14	13			12	11	12	13	12			12	13	13	13	14			13	
7:00 AM		14	14	15	13	14			16	13	14	14	13			12	11	12	13	12			12	13	13	13	14			13	
8:00 AM		14	14	15	13	15			16	14	15	15	13			11	10	12	13	12			12	13	13	13	14			13	
9:00 AM	15	16	16	16	15	14	14	18	16	14	15	14	14	14	13	12	10	12	13	12	13	12	12	12	13	13	13	13	14	13	
10:00 AM	15	16	17	17	17	16	19	20	17	17	15	15	16	15	14	13	11	13	14	13	14	13	12	13	14	14	13	13	15	14	
11:00 AM	16	16	19	17	17	16	19	18	18	18	15	15	16	15	15	14	11	15	14	14	14	14	13	14	15	15	13	14	16	14	
12:00 PM	16	17	17	19	17	16	17	18	20	18	15	16	16	16	15	14	12	17	15	14	14	14	14	14	15	16	15	14	15	16	14
1:00 PM	16	16	17	18	17	16	17	17	21	18	16	16	15	16	16	15	13	15	16	15	15	15	15	15	15	15	16	14	15	16	15
2:00 PM	16	16	17	18	17	16	17	16	21	18	16	15	15	16	16	14	13	15	16	15	14	15	15	14	15	15	16	15	16	16	15
3:00 PM	16	16	16	18	17	16	17	16	21	18	16	16	15	15	16	15	14	15	16	15	14	12	15	15	16	16	16	16	16	15	
4:00 PM	15	15	15	17	16	16	16	16	20	17	16	16	15	16	15	15	14	14	15	15	14	14	15	15	15	16	16	15	16	15	
5:00 PM	15	15	14	17	16	16	16	16	18	17	15	15	15	16	14	14	14	14	14	15	15	14	14	14	14	15	16	16	15	15	
6:00 PM	14	15	14	16	16	16	16	16	17	17	15	15	15	15	14	14	14	14	14	14	15	15	14	14	14	14	15	15	15	14	
7:00 PM	14	14	14	14	15	15	14	15	17	16	15	15	14	14	13	14	14	14	14	14	14	13	13	13	13	13	14	15	14	14	14
8:00 PM	14	14	15	14	15	14	15	15	16	15	15	14	15	14	13	13	14	13	13	13	13	13	13	13	13	13	14	15	14	14	13
9:00 PM	14	14	15	14	14	14	15	15	16	15	15	14	14	14	13	12	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	14	14	13	14	13
10:00 PM	14	14	15	13	14	14	15	15	16	15	15	14	14	14	13	12	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	14	13	13	14	13
11:00 PM	14	14	15	13	14	14	15	15	16	15	15	14	14	14	14	13	13	12	13	13	13	13	13	13	12	13	13	13	12	14	14
12:00 AM	14	14	14	15	13	15	14	15	16	16	14	14	14	14	14	13	11	12	13	13	12	13	13	12	13	13	13	12	13	14	14

FUENTE: Elaboración Propia

Tabla. Cálculos de la demanda energética.

Los cálculos para determinar la demanda energética se basan en lo siguiente.

$$\text{Energía} = \text{Potencia} * \text{Tiempo}$$

Por ende la potencia que requieren al mes multiplicado por la cantidad de horas necesarias nos dará la demanda total de cada mes a climatizar. A continuación se aprecian los cálculos realizados para cada mes.

Junio

Mes de diseño	=	jun-13	
Temperatura interior de diseño	=	21°C	
Pérdidas de calor por cada °C	=	0,364 KW/°C	
Temperaturas exteriores (°C)	Cantidad de horas al mes	Diferencia de temperatura int-ext (°C)	Demanda Energética (Kwh)
9	4	12,0	17,5
10	8	11,0	32,0
11	21	10,0	76,4
12	62	9,0	203,1
13	106	8,0	308,7
14	148	7,0	377,1
15	93	6,0	203,1
16	71	5,0	129,2
17	22	4,0	32,0
18	5	3,0	5,5
TOTAL	540		1384,7

Julio

Mes de diseño	=	jul-13	
Temperatura interior de diseño	=	21°C	
Pérdidas de calor por cada °C	=	0,364 KW/°C	
Temperaturas exteriores (°C)	Cantidad de horas al mes	Diferencia de temperatura int-ext (°C)	Demanda Energética (Kwh)
7	1	14,0	5,1
8	2	13,0	9,5
9	1	12,0	4,4
10	7	11,0	28,0
11	23	10,0	83,7
12	89	9,0	291,6
13	203	8,0	591,1
14	134	7,0	341,4
15	98	6,0	214,0
16	7	5,0	12,7
TOTAL	565		1581,6

Agosto

Mes de diseño	=	ago-13	
Temperatura interior de diseño	=	21°C	
Pérdidas de calor por cada °C	=	0,364 KW/°C	
Temperaturas exteriores (°C)	Cantidad de horas al mes	Diferencia de temperatura int-ext (°C)	Demanda Energética. (Kwh)
9	3	12,0	13,1
10	1	11,0	4,0
11	3	10,0	10,9
12	54	9,0	176,9
13	137	8,0	398,9
14	174	7,0	443,4
15	122	6,0	266,4
16	42	5,0	76,4
17	15	4,0	21,8
18	7	3,0	7,6
19	4	2,0	2,9
TOTAL	562		1422,5

Septiembre

Mes de diseño	=	sep-13	
Temperatura interior de diseño	=	21°C	
Pérdidas de calor por cada °C	=	0,364 KW/°C	
Temperaturas exteriores (°C)	Cantidad de horas al mes	Diferencia de temperatura int-ext (°C)	Demanda Energética. (Kwh)
11	3	10,0	10,9
12	30	9,0	98,3
13	45	8,0	131,0
14	120	7,0	305,8
15	133	6,0	290,5
16	103	5,0	187,5
17	62	4,0	90,3
18	50	3,0	54,6
19	18	2,0	13,1
20	1	1,0	0,4
TOTAL	565		1182,3

FUENTE: Elaboración Propia

ANEXO E: Factor de inclinación y Límites según su orientación

En las siguientes tablas se observan los factores de corrección por inclinación para distintas latitudes, que representa el cociente entre la energía total incidente en un día sobre una superficie orientada hacia el ecuador e inclinada un determinado ángulo, y otra horizontal.

Lat = 18° S		Mes											
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Inclinación	0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	5	0,98	1,00	1,02	1,04	1,06	1,07	1,07	1,05	1,02	1,00	0,99	0,98
	10	0,96	0,99	1,03	1,07	1,12	1,14	1,13	1,09	1,04	1,00	0,97	0,95
	15	0,93	0,98	1,03	1,10	1,17	1,20	1,18	1,12	1,05	0,99	0,94	0,92
	20	0,90	0,96	1,03	1,13	1,21	1,25	1,23	1,15	1,06	0,97	0,91	0,89
	25	0,86	0,93	1,03	1,14	1,24	1,30	1,27	1,18	1,06	0,95	0,88	0,84
	30	0,82	0,90	1,02	1,15	1,27	1,33	1,30	1,19	1,05	0,93	0,84	0,80
	35	0,78	0,87	1,00	1,15	1,29	1,37	1,33	1,20	1,04	0,90	0,79	0,75
	40	0,73	0,83	0,97	1,15	1,31	1,39	1,35	1,20	1,02	0,86	0,74	0,70
	45	0,67	0,78	0,94	1,14	1,31	1,40	1,36	1,20	1,00	0,82	0,69	0,64
	50	0,61	0,73	0,91	1,12	1,31	1,41	1,36	1,19	0,97	0,77	0,63	0,58
	55	0,55	0,68	0,87	1,10	1,30	1,41	1,35	1,17	0,93	0,72	0,57	0,52
	60	0,49	0,62	0,82	1,06	1,29	1,40	1,34	1,14	0,89	0,66	0,51	0,45
	65	0,42	0,56	0,77	1,03	1,26	1,38	1,32	1,11	0,84	0,60	0,45	0,39
	70	0,36	0,49	0,71	0,98	1,23	1,35	1,28	1,06	0,78	0,54	0,38	0,33
	75	0,30	0,42	0,65	0,93	1,18	1,31	1,24	1,01	0,72	0,47	0,32	0,27
	80	0,24	0,36	0,58	0,87	1,13	1,27	1,20	0,96	0,66	0,41	0,26	0,21
85	0,19	0,29	0,51	0,80	1,07	1,21	1,14	0,90	0,59	0,34	0,21	0,18	
90	0,18	0,23	0,44	0,73	1,01	1,15	1,07	0,83	0,52	0,27	0,18	0,18	

Lat = 20° S		Mes												
Inclinación		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
	0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	5	0,99	1,00	1,02	1,04	1,07	1,08	1,07	1,05	1,03	1,00	0,99	0,98	
	10	0,97	0,99	1,03	1,08	1,12	1,15	1,13	1,10	1,05	1,00	0,97	0,96	
	15	0,94	0,98	1,04	1,11	1,18	1,21	1,19	1,14	1,06	1,00	0,95	0,93	
	20	0,91	0,97	1,04	1,14	1,22	1,27	1,24	1,17	1,07	0,98	0,92	0,89	
	25	0,88	0,94	1,04	1,16	1,26	1,32	1,29	1,19	1,07	0,97	0,89	0,86	
	30	0,84	0,92	1,03	1,17	1,30	1,36	1,33	1,21	1,07	0,94	0,85	0,81	
	35	0,79	0,88	1,02	1,18	1,32	1,40	1,36	1,23	1,06	0,91	0,81	0,76	
	40	0,74	0,84	0,99	1,17	1,34	1,42	1,38	1,23	1,04	0,88	0,76	0,71	
	45	0,69	0,80	0,97	1,17	1,35	1,44	1,39	1,23	1,02	0,84	0,71	0,66	
	50	0,64	0,75	0,93	1,15	1,35	1,45	1,40	1,22	0,99	0,79	0,65	0,60	
	55	0,58	0,70	0,89	1,13	1,34	1,46	1,40	1,20	0,96	0,74	0,60	0,54	
	60	0,51	0,64	0,85	1,10	1,33	1,45	1,39	1,18	0,92	0,69	0,54	0,48	
	65	0,45	0,58	0,80	1,06	1,31	1,43	1,37	1,15	0,87	0,63	0,47	0,41	
	70	0,39	0,52	0,74	1,02	1,27	1,41	1,34	1,11	0,82	0,57	0,41	0,35	
	75	0,32	0,45	0,68	0,97	1,23	1,37	1,30	1,06	0,76	0,50	0,34	0,29	
80	0,26	0,39	0,62	0,91	1,18	1,33	1,25	1,00	0,70	0,44	0,28	0,23		
85	0,21	0,32	0,55	0,85	1,13	1,27	1,20	0,94	0,63	0,37	0,22	0,19		
90	0,18	0,25	0,47	0,78	1,06	1,21	1,13	0,87	0,55	0,30	0,19	0,18		

Lat = 22° S		Mes												
Inclinación		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
	0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	5	0,99	1,00	1,02	1,05	1,07	1,08	1,07	1,05	1,03	1,01	0,99	0,98	
	10	0,97	1,00	1,04	1,09	1,13	1,16	1,14	1,10	1,05	1,01	0,98	0,96	
	15	0,95	0,99	1,05	1,12	1,19	1,22	1,21	1,15	1,07	1,00	0,96	0,94	
	20	0,92	0,98	1,06	1,15	1,24	1,29	1,26	1,18	1,08	0,99	0,93	0,90	
	25	0,89	0,96	1,05	1,17	1,29	1,34	1,31	1,21	1,09	0,98	0,90	0,87	
	30	0,85	0,93	1,05	1,19	1,32	1,39	1,35	1,23	1,09	0,96	0,86	0,83	
	35	0,81	0,90	1,03	1,20	1,35	1,43	1,39	1,25	1,08	0,93	0,82	0,78	
	40	0,76	0,86	1,02	1,20	1,37	1,46	1,41	1,26	1,07	0,90	0,78	0,73	
	45	0,71	0,82	0,99	1,20	1,39	1,48	1,43	1,26	1,05	0,86	0,73	0,68	
	50	0,66	0,77	0,96	1,18	1,39	1,50	1,44	1,25	1,02	0,82	0,68	0,62	
	55	0,60	0,72	0,92	1,16	1,39	1,50	1,44	1,24	0,99	0,77	0,62	0,56	
	60	0,54	0,67	0,88	1,14	1,38	1,50	1,43	1,22	0,95	0,72	0,56	0,50	
	65	0,48	0,61	0,83	1,10	1,36	1,49	1,42	1,19	0,90	0,66	0,50	0,44	
	70	0,41	0,55	0,77	1,06	1,33	1,46	1,39	1,15	0,85	0,60	0,43	0,37	
	75	0,35	0,48	0,71	1,01	1,29	1,43	1,36	1,10	0,80	0,53	0,37	0,31	
80	0,29	0,41	0,65	0,95	1,24	1,39	1,31	1,05	0,73	0,47	0,31	0,25		
85	0,23	0,35	0,58	0,89	1,18	1,34	1,26	0,99	0,67	0,40	0,25	0,21		
90	0,19	0,28	0,51	0,82	1,12	1,27	1,19	0,92	0,59	0,33	0,20	0,18		

Lat = 24° S		Mes												
Inclinación		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
	0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	5	0,99	1,00	1,03	1,05	1,07	1,09	1,08	1,06	1,03	1,01	0,99	0,99	0,99
	10	0,98	1,00	1,05	1,10	1,14	1,16	1,15	1,11	1,06	1,01	0,98	0,97	0,97
	15	0,96	1,00	1,06	1,13	1,20	1,24	1,22	1,16	1,08	1,01	0,96	0,94	0,94
	20	0,93	0,99	1,07	1,17	1,26	1,31	1,28	1,20	1,09	1,00	0,94	0,91	0,91
	25	0,90	0,97	1,07	1,19	1,31	1,37	1,33	1,23	1,10	0,99	0,91	0,88	0,88
	30	0,87	0,94	1,06	1,21	1,35	1,42	1,38	1,26	1,11	0,97	0,88	0,84	0,84
	35	0,83	0,92	1,05	1,22	1,38	1,46	1,42	1,28	1,10	0,95	0,84	0,80	0,80
	40	0,78	0,88	1,04	1,23	1,41	1,50	1,45	1,29	1,09	0,92	0,80	0,75	0,75
	45	0,73	0,84	1,01	1,23	1,43	1,53	1,47	1,29	1,07	0,88	0,75	0,70	0,70
	50	0,68	0,80	0,98	1,22	1,43	1,55	1,49	1,29	1,05	0,84	0,70	0,64	0,64
	55	0,62	0,75	0,95	1,20	1,43	1,55	1,49	1,28	1,02	0,79	0,64	0,58	0,58
	60	0,56	0,70	0,91	1,17	1,43	1,55	1,49	1,26	0,98	0,74	0,58	0,52	0,52
	65	0,50	0,64	0,86	1,14	1,41	1,55	1,47	1,23	0,94	0,69	0,52	0,46	0,46
	70	0,44	0,58	0,81	1,10	1,38	1,53	1,45	1,20	0,89	0,63	0,46	0,40	0,40
	75	0,37	0,51	0,75	1,05	1,34	1,50	1,42	1,15	0,83	0,56	0,40	0,34	0,34
80	0,31	0,44	0,69	1,00	1,30	1,46	1,37	1,10	0,77	0,50	0,33	0,28	0,28	
85	0,25	0,38	0,62	0,94	1,24	1,40	1,32	1,04	0,70	0,43	0,27	0,22	0,22	
90	0,20	0,31	0,54	0,87	1,18	1,34	1,26	0,97	0,63	0,36	0,22	0,19	0,19	

Lat = 26° S		Mes												
Inclinación		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
	0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	5	0,99	1,01	1,03	1,05	1,08	1,09	1,08	1,06	1,04	1,01	1,00	0,99	0,99
	10	0,98	1,01	1,05	1,10	1,15	1,18	1,16	1,12	1,07	1,02	0,99	0,97	0,97
	15	0,96	1,01	1,07	1,14	1,22	1,25	1,23	1,17	1,09	1,02	0,97	0,95	0,95
	20	0,94	1,00	1,08	1,18	1,28	1,33	1,30	1,21	1,11	1,01	0,95	0,92	0,92
	25	0,91	0,98	1,08	1,21	1,33	1,39	1,36	1,25	1,12	1,00	0,92	0,89	0,89
	30	0,88	0,96	1,08	1,23	1,38	1,45	1,41	1,28	1,12	0,99	0,89	0,85	0,85
	35	0,84	0,93	1,07	1,25	1,41	1,50	1,45	1,30	1,12	0,97	0,86	0,81	0,81
	40	0,80	0,90	1,06	1,26	1,44	1,54	1,49	1,32	1,11	0,94	0,82	0,77	0,77
	45	0,75	0,86	1,04	1,26	1,47	1,57	1,52	1,33	1,10	0,90	0,77	0,72	0,72
	50	0,70	0,82	1,01	1,25	1,48	1,60	1,53	1,33	1,08	0,86	0,72	0,66	0,66
	55	0,65	0,77	0,98	1,24	1,48	1,61	1,54	1,32	1,05	0,82	0,67	0,61	0,61
	60	0,59	0,72	0,94	1,21	1,48	1,61	1,54	1,30	1,01	0,77	0,61	0,55	0,55
	65	0,53	0,67	0,89	1,18	1,46	1,61	1,53	1,28	0,97	0,72	0,55	0,49	0,49
	70	0,46	0,60	0,84	1,15	1,44	1,59	1,51	1,24	0,92	0,66	0,49	0,42	0,42
	75	0,40	0,54	0,78	1,10	1,40	1,56	1,48	1,20	0,87	0,60	0,42	0,36	0,36
80	0,34	0,47	0,72	1,05	1,36	1,53	1,44	1,15	0,81	0,53	0,36	0,30	0,30	
85	0,28	0,41	0,65	0,99	1,31	1,48	1,39	1,09	0,74	0,46	0,30	0,24	0,24	
90	0,22	0,34	0,58	0,92	1,25	1,42	1,33	1,03	0,67	0,39	0,24	0,20	0,20	

Lat = 28° S		Mes												
Inclinación		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
	0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	5	1,00	1,01	1,03	1,06	1,08	1,10	1,09	1,07	1,04	1,01	1,00	1,00	0,99
	10	0,99	1,01	1,06	1,11	1,16	1,19	1,17	1,13	1,07	1,02	0,99	0,98	0,98
	15	0,97	1,01	1,08	1,16	1,23	1,27	1,25	1,18	1,10	1,03	0,98	0,96	0,96
	20	0,95	1,01	1,09	1,20	1,30	1,35	1,32	1,23	1,12	1,03	0,96	0,93	0,93
	25	0,92	0,99	1,10	1,23	1,35	1,42	1,38	1,27	1,13	1,02	0,94	0,90	0,90
	30	0,89	0,97	1,10	1,26	1,40	1,48	1,44	1,31	1,14	1,00	0,91	0,87	0,87
	35	0,86	0,95	1,09	1,27	1,45	1,54	1,49	1,33	1,14	0,98	0,87	0,83	0,83
	40	0,82	0,92	1,08	1,29	1,48	1,58	1,53	1,35	1,14	0,96	0,83	0,78	0,78
	45	0,77	0,88	1,06	1,29	1,51	1,62	1,56	1,36	1,13	0,93	0,79	0,74	0,74
	50	0,72	0,84	1,04	1,29	1,52	1,65	1,58	1,37	1,11	0,89	0,74	0,68	0,68
	55	0,67	0,80	1,01	1,27	1,53	1,67	1,60	1,36	1,08	0,85	0,69	0,63	0,63
	60	0,61	0,75	0,97	1,26	1,53	1,68	1,60	1,35	1,05	0,80	0,63	0,57	0,57
	65	0,55	0,69	0,93	1,23	1,52	1,67	1,59	1,33	1,01	0,75	0,57	0,51	0,51
	70	0,49	0,63	0,88	1,19	1,50	1,66	1,57	1,30	0,96	0,69	0,51	0,45	0,45
	75	0,43	0,57	0,82	1,15	1,47	1,64	1,55	1,26	0,91	0,63	0,45	0,39	0,39
80	0,36	0,50	0,76	1,10	1,43	1,60	1,51	1,21	0,85	0,56	0,39	0,33	0,33	
85	0,30	0,44	0,69	1,04	1,38	1,56	1,46	1,15	0,79	0,49	0,32	0,27	0,27	
90	0,24	0,37	0,62	0,97	1,32	1,50	1,40	1,09	0,71	0,42	0,26	0,22	0,22	

Lat = 30° S		Mes												
Inclinación		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
	0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	5	1,00	1,01	1,03	1,06	1,09	1,10	1,09	1,07	1,04	1,02	1,00	1,00	0,99
	10	0,99	1,02	1,06	1,12	1,17	1,20	1,18	1,14	1,08	1,03	1,00	0,98	0,98
	15	0,98	1,02	1,09	1,17	1,25	1,29	1,27	1,20	1,11	1,04	0,99	0,96	0,96
	20	0,96	1,02	1,10	1,21	1,32	1,37	1,34	1,25	1,13	1,04	0,97	0,94	0,94
	25	0,94	1,01	1,11	1,25	1,38	1,45	1,41	1,29	1,15	1,03	0,95	0,91	0,91
	30	0,91	0,99	1,12	1,28	1,44	1,52	1,47	1,33	1,16	1,02	0,92	0,88	0,88
	35	0,87	0,97	1,11	1,30	1,48	1,58	1,53	1,36	1,17	1,00	0,89	0,84	0,84
	40	0,83	0,94	1,11	1,32	1,52	1,63	1,57	1,39	1,16	0,98	0,85	0,80	0,80
	45	0,79	0,91	1,09	1,32	1,55	1,67	1,61	1,40	1,15	0,95	0,81	0,76	0,76
	50	0,74	0,87	1,07	1,32	1,57	1,71	1,64	1,41	1,14	0,91	0,76	0,71	0,71
	55	0,69	0,82	1,04	1,32	1,59	1,73	1,65	1,41	1,11	0,87	0,71	0,65	0,65
	60	0,64	0,77	1,00	1,30	1,59	1,74	1,66	1,40	1,08	0,83	0,66	0,59	0,59
	65	0,58	0,72	0,96	1,27	1,58	1,75	1,66	1,38	1,05	0,77	0,60	0,54	0,54
	70	0,52	0,66	0,91	1,24	1,56	1,74	1,64	1,35	1,00	0,72	0,54	0,47	0,47
	75	0,45	0,60	0,86	1,20	1,54	1,72	1,62	1,31	0,95	0,66	0,48	0,41	0,41
80	0,39	0,54	0,80	1,15	1,50	1,69	1,59	1,27	0,89	0,59	0,41	0,35	0,35	
85	0,33	0,47	0,73	1,09	1,45	1,64	1,54	1,21	0,83	0,52	0,35	0,29	0,29	
90	0,27	0,40	0,66	1,02	1,39	1,59	1,48	1,15	0,76	0,45	0,29	0,24	0,24	

Lat = 34° S		Mes												
Inclinación		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
	0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	5	1,00	1,02	1,04	1,07	1,10	1,12	1,11	1,08	1,05	1,02	1,01	1,00	1,00
	10	1,00	1,03	1,08	1,14	1,19	1,23	1,21	1,16	1,09	1,04	1,00	0,99	0,99
	15	0,99	1,04	1,11	1,19	1,28	1,33	1,30	1,22	1,13	1,05	1,00	0,98	0,98
	20	0,98	1,04	1,13	1,25	1,36	1,43	1,39	1,29	1,16	1,06	0,99	0,96	0,96
	25	0,96	1,03	1,14	1,29	1,44	1,52	1,48	1,34	1,18	1,06	0,97	0,94	0,94
	30	0,93	1,02	1,15	1,33	1,50	1,60	1,55	1,39	1,20	1,05	0,95	0,91	0,91
	35	0,90	1,00	1,16	1,36	1,56	1,67	1,62	1,43	1,21	1,04	0,92	0,87	0,87
	40	0,87	0,98	1,15	1,38	1,61	1,74	1,67	1,46	1,22	1,02	0,89	0,84	0,84
	45	0,83	0,95	1,14	1,40	1,65	1,79	1,72	1,49	1,21	0,99	0,85	0,79	0,79
	50	0,79	0,92	1,13	1,41	1,69	1,84	1,76	1,50	1,20	0,96	0,81	0,75	0,75
	55	0,74	0,88	1,10	1,40	1,71	1,87	1,79	1,51	1,18	0,93	0,76	0,70	0,70
	60	0,68	0,83	1,07	1,39	1,72	1,90	1,80	1,50	1,16	0,88	0,71	0,64	0,64
	65	0,63	0,78	1,03	1,37	1,72	1,91	1,81	1,49	1,13	0,84	0,65	0,59	0,59
	70	0,57	0,72	0,99	1,35	1,71	1,91	1,81	1,47	1,08	0,78	0,59	0,53	0,53
	75	0,51	0,66	0,94	1,31	1,69	1,90	1,79	1,44	1,04	0,72	0,53	0,46	0,46
	80	0,44	0,60	0,88	1,26	1,66	1,88	1,76	1,39	0,98	0,66	0,47	0,40	0,40
	85	0,38	0,53	0,82	1,21	1,61	1,84	1,72	1,34	0,92	0,59	0,40	0,34	0,34
90	0,32	0,46	0,75	1,14	1,56	1,79	1,66	1,28	0,85	0,52	0,34	0,28	0,28	

Lat = 38° S		Mes												
Inclinación		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
	0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	5	1,01	1,02	1,05	1,08	1,11	1,13	1,12	1,09	1,06	1,03	1,01	1,00	1,00
	10	1,01	1,04	1,09	1,15	1,22	1,25	1,24	1,18	1,11	1,05	1,01	1,00	1,00
	15	1,01	1,05	1,13	1,22	1,32	1,37	1,35	1,26	1,15	1,07	1,01	0,99	0,99
	20	1,00	1,06	1,16	1,29	1,42	1,48	1,45	1,33	1,19	1,08	1,01	0,98	0,98
	25	0,98	1,06	1,18	1,34	1,50	1,59	1,54	1,39	1,22	1,08	0,99	0,96	0,96
	30	0,96	1,05	1,20	1,39	1,58	1,69	1,63	1,45	1,25	1,08	0,98	0,93	0,93
	35	0,94	1,04	1,20	1,43	1,66	1,78	1,71	1,50	1,26	1,08	0,95	0,90	0,90
	40	0,90	1,02	1,21	1,46	1,72	1,86	1,78	1,54	1,27	1,06	0,92	0,87	0,87
	45	0,87	1,00	1,20	1,48	1,77	1,93	1,84	1,58	1,28	1,04	0,89	0,83	0,83
	50	0,83	0,97	1,19	1,50	1,82	1,99	1,90	1,60	1,27	1,02	0,85	0,79	0,79
	55	0,78	0,93	1,17	1,51	1,85	2,04	1,94	1,62	1,26	0,98	0,81	0,74	0,74
	60	0,73	0,89	1,15	1,50	1,87	2,07	1,97	1,62	1,24	0,94	0,76	0,69	0,69
	65	0,68	0,84	1,11	1,49	1,88	2,10	1,98	1,62	1,21	0,90	0,71	0,64	0,64
	70	0,62	0,79	1,07	1,47	1,88	2,11	1,99	1,60	1,18	0,85	0,65	0,58	0,58
	75	0,56	0,73	1,02	1,43	1,87	2,11	1,98	1,58	1,13	0,79	0,59	0,52	0,52
	80	0,50	0,67	0,97	1,39	1,84	2,10	1,96	1,54	1,08	0,73	0,53	0,46	0,46
	85	0,44	0,60	0,91	1,34	1,81	2,07	1,93	1,49	1,02	0,67	0,46	0,39	0,39
90	0,37	0,53	0,84	1,28	1,76	2,02	1,88	1,43	0,95	0,60	0,40	0,33	0,33	

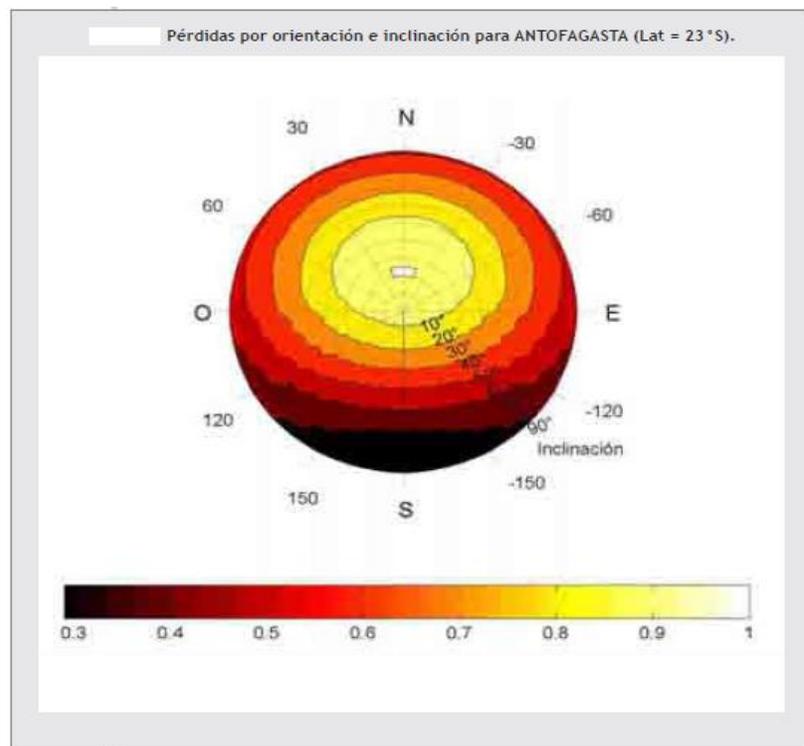
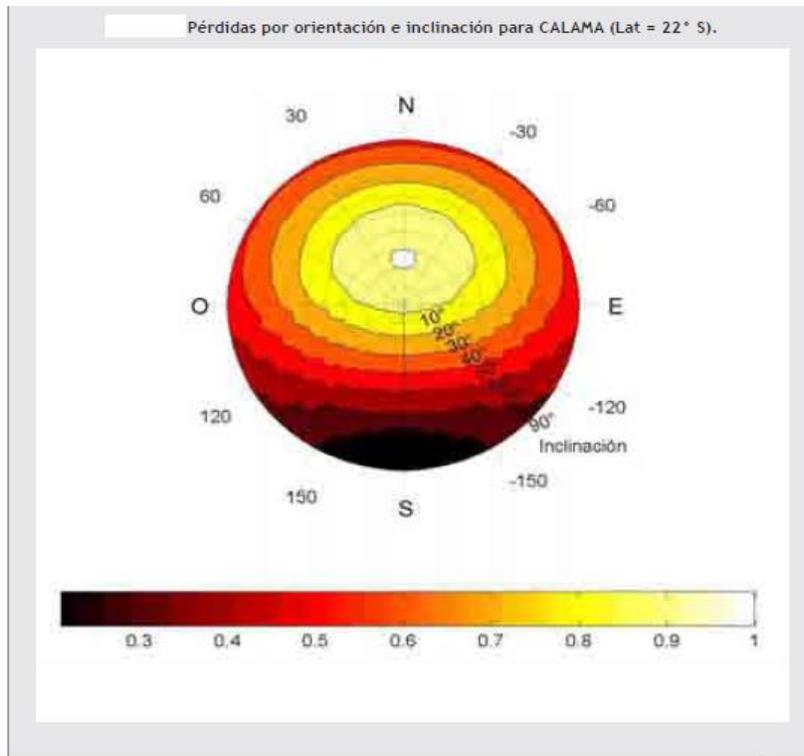
Lat = 40° S		Mes												
Inclinación		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
	0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	5	1,01	1,03	1,05	1,09	1,12	1,14	1,13	1,10	1,06	1,03	1,01	1,01	1,00
	10	1,01	1,05	1,10	1,17	1,23	1,27	1,25	1,19	1,11	1,06	1,02	1,02	1,00
	15	1,01	1,06	1,14	1,24	1,34	1,40	1,37	1,27	1,16	1,08	1,02	1,02	1,00
	20	1,00	1,07	1,17	1,31	1,44	1,52	1,48	1,35	1,21	1,09	1,02	1,02	0,99
	25	0,99	1,07	1,20	1,37	1,54	1,63	1,58	1,42	1,24	1,10	1,01	1,01	0,97
	30	0,97	1,07	1,22	1,42	1,63	1,74	1,68	1,49	1,27	1,10	0,99	0,99	0,95
	35	0,95	1,06	1,23	1,46	1,71	1,84	1,77	1,54	1,29	1,10	0,97	0,97	0,92
	40	0,92	1,04	1,24	1,50	1,78	1,92	1,84	1,59	1,31	1,08	0,94	0,94	0,89
	45	0,89	1,02	1,23	1,53	1,84	2,00	1,91	1,63	1,31	1,07	0,91	0,91	0,85
	50	0,85	0,99	1,23	1,55	1,89	2,07	1,97	1,66	1,31	1,04	0,87	0,87	0,81
	55	0,81	0,96	1,21	1,56	1,93	2,13	2,02	1,68	1,30	1,01	0,83	0,83	0,76
	60	0,76	0,92	1,19	1,56	1,96	2,17	2,06	1,69	1,28	0,98	0,78	0,78	0,71
	65	0,71	0,87	1,15	1,55	1,97	2,21	2,08	1,69	1,26	0,93	0,73	0,73	0,66
	70	0,65	0,82	1,12	1,53	1,98	2,23	2,09	1,68	1,22	0,88	0,68	0,68	0,60
	75	0,59	0,76	1,07	1,50	1,97	2,23	2,09	1,65	1,18	0,83	0,62	0,62	0,54
80	0,53	0,70	1,02	1,46	1,95	2,23	2,08	1,62	1,13	0,77	0,56	0,56	0,48	
85	0,47	0,64	0,95	1,41	1,92	2,20	2,05	1,58	1,07	0,70	0,49	0,49	0,42	
90	0,40	0,57	0,89	1,35	1,87	2,16	2,00	1,52	1,01	0,63	0,43	0,43	0,36	

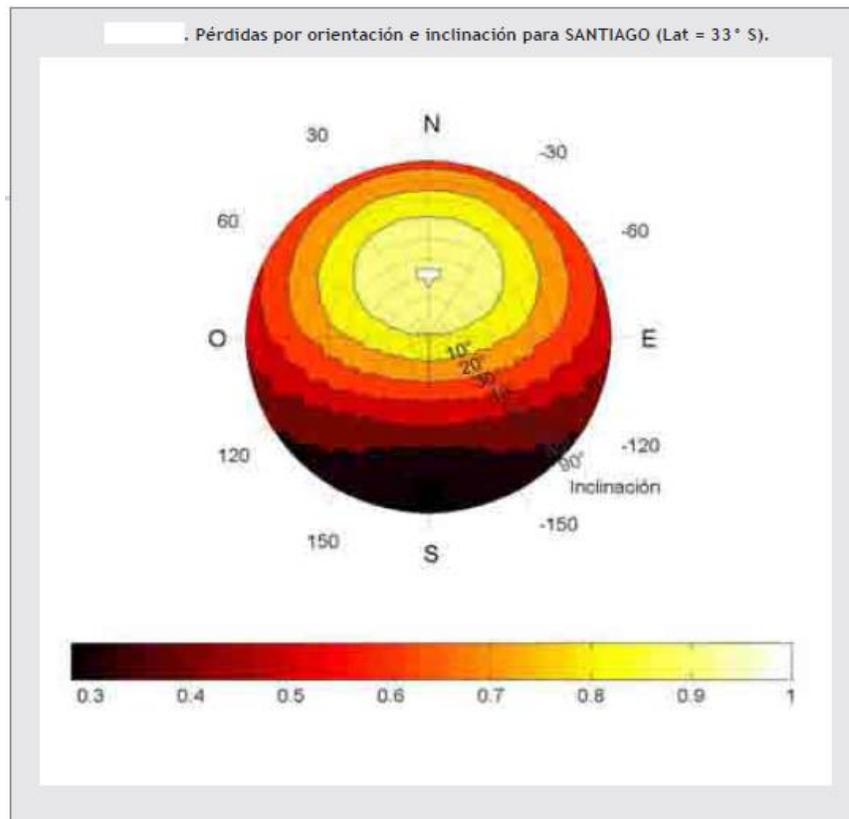
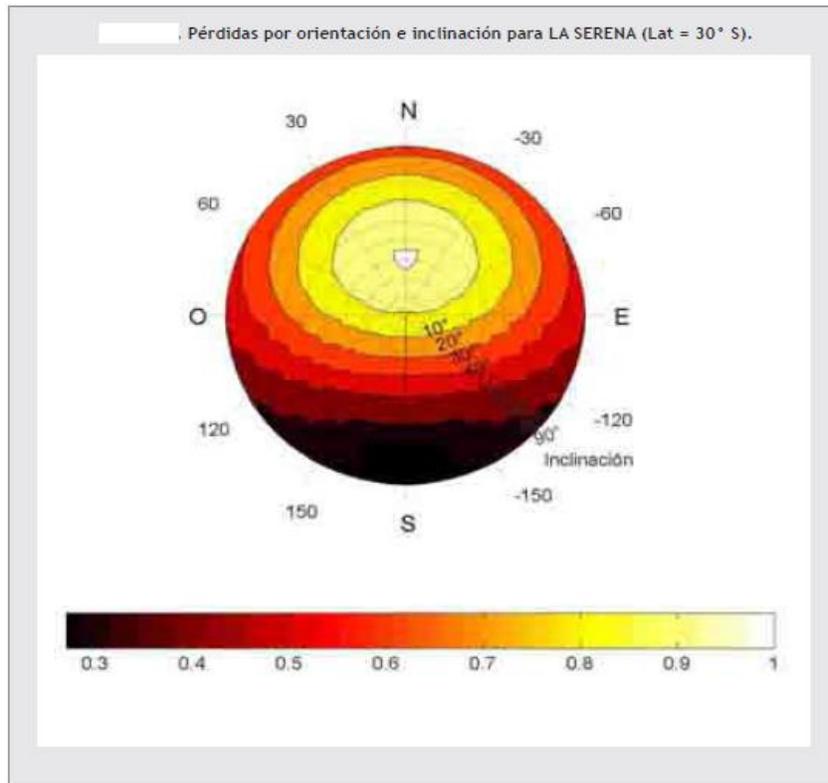
Lat = 44° S		Mes												
Inclinación		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
	0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	5	1,01	1,03	1,06	1,10	1,14	1,16	1,15	1,11	1,07	1,04	1,02	1,02	1,01
	10	1,02	1,06	1,11	1,19	1,27	1,31	1,29	1,21	1,13	1,07	1,03	1,03	1,01
	15	1,03	1,08	1,16	1,27	1,39	1,46	1,42	1,31	1,19	1,10	1,03	1,03	1,01
	20	1,02	1,09	1,20	1,35	1,51	1,60	1,55	1,40	1,24	1,12	1,03	1,03	1,00
	25	1,02	1,10	1,23	1,42	1,62	1,73	1,67	1,49	1,28	1,13	1,03	1,03	0,99
	30	1,00	1,10	1,26	1,49	1,72	1,86	1,78	1,56	1,32	1,14	1,02	1,02	0,97
	35	0,98	1,10	1,28	1,54	1,82	1,97	1,89	1,63	1,35	1,14	1,00	1,00	0,95
	40	0,96	1,08	1,30	1,59	1,90	2,08	1,98	1,69	1,37	1,13	0,98	0,98	0,92
	45	0,93	1,07	1,30	1,63	1,98	2,18	2,07	1,74	1,39	1,12	0,95	0,95	0,89
	50	0,89	1,04	1,30	1,66	2,05	2,27	2,15	1,78	1,39	1,10	0,92	0,92	0,85
	55	0,85	1,01	1,29	1,68	2,10	2,35	2,21	1,82	1,39	1,07	0,88	0,88	0,81
	60	0,81	0,98	1,27	1,69	2,15	2,41	2,27	1,84	1,38	1,04	0,84	0,84	0,76
	65	0,76	0,94	1,24	1,69	2,18	2,46	2,31	1,85	1,36	1,00	0,79	0,79	0,71
	70	0,71	0,89	1,21	1,68	2,19	2,50	2,33	1,84	1,33	0,96	0,74	0,74	0,66
	75	0,65	0,83	1,17	1,66	2,20	2,52	2,35	1,83	1,29	0,90	0,68	0,68	0,60
80	0,59	0,77	1,12	1,62	2,19	2,53	2,34	1,80	1,25	0,85	0,62	0,62	0,54	
85	0,53	0,71	1,06	1,58	2,17	2,52	2,33	1,76	1,19	0,78	0,55	0,55	0,48	
90	0,46	0,64	0,99	1,52	2,13	2,49	2,29	1,71	1,13	0,71	0,49	0,49	0,41	

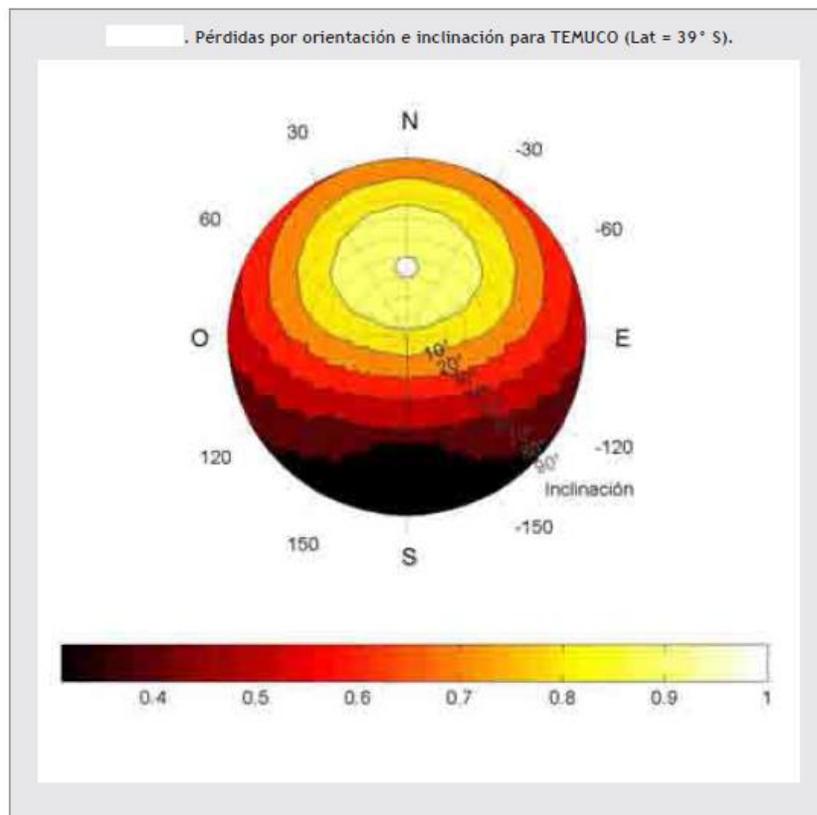
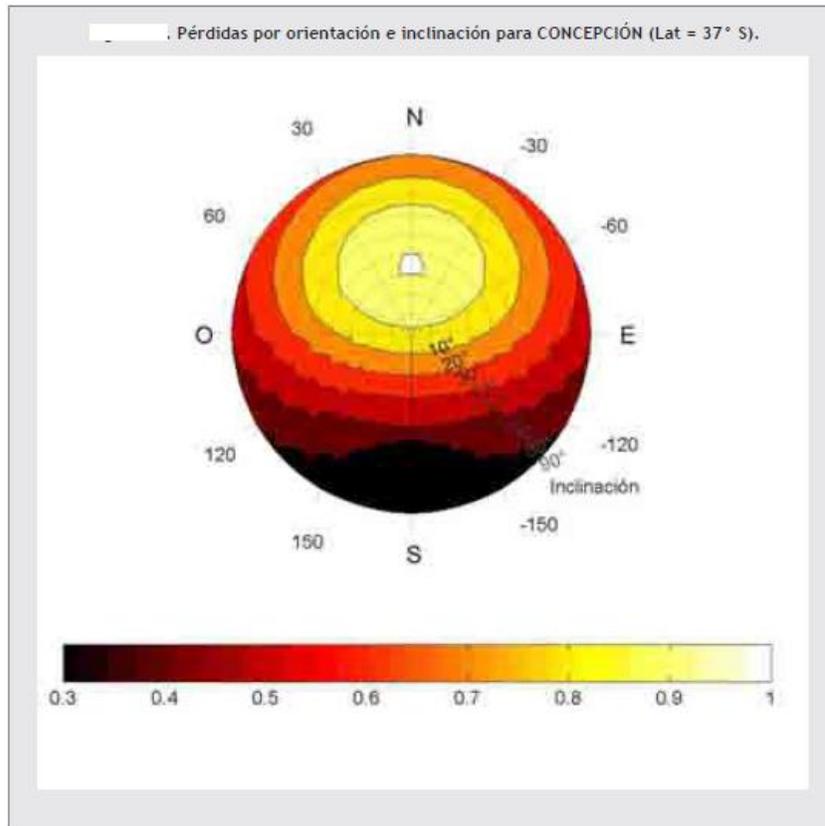
Lat = 48° S		Mes												
Inclinación		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
	0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	5	1,02	1,04	1,07	1,11	1,15	1,18	1,16	1,12	1,08	1,04	1,02	1,01	1,01
	10	1,03	1,07	1,13	1,21	1,30	1,35	1,32	1,24	1,15	1,08	1,04	1,02	1,02
	15	1,04	1,09	1,18	1,31	1,45	1,51	1,48	1,36	1,22	1,11	1,05	1,02	1,02
	20	1,04	1,11	1,23	1,40	1,59	1,68	1,63	1,46	1,28	1,14	1,05	1,02	1,02
	25	1,04	1,13	1,28	1,49	1,72	1,83	1,77	1,56	1,33	1,16	1,05	1,01	1,01
	30	1,03	1,13	1,31	1,56	1,84	1,98	1,91	1,66	1,38	1,17	1,05	1,00	1,00
	35	1,02	1,14	1,34	1,63	1,96	2,12	2,03	1,74	1,42	1,18	1,03	0,98	0,98
	40	1,00	1,13	1,36	1,69	2,06	2,25	2,15	1,82	1,45	1,18	1,02	0,96	0,96
	45	0,97	1,12	1,37	1,75	2,16	2,37	2,26	1,88	1,47	1,17	0,99	0,93	0,93
	50	0,94	1,10	1,38	1,79	2,25	2,49	2,36	1,94	1,48	1,16	0,96	0,89	0,89
	55	0,90	1,07	1,38	1,82	2,32	2,59	2,44	1,98	1,49	1,14	0,93	0,85	0,85
	60	0,86	1,04	1,36	1,84	2,38	2,68	2,52	2,02	1,49	1,11	0,89	0,81	0,81
	65	0,81	1,00	1,34	1,85	2,43	2,75	2,58	2,04	1,47	1,08	0,84	0,76	0,76
	70	0,76	0,96	1,31	1,85	2,47	2,81	2,63	2,05	1,45	1,03	0,79	0,71	0,71
	75	0,71	0,91	1,28	1,83	2,49	2,86	2,66	2,04	1,42	0,98	0,74	0,65	0,65
	80	0,65	0,85	1,23	1,81	2,49	2,89	2,67	2,03	1,38	0,93	0,68	0,60	0,60
	85	0,59	0,79	1,17	1,77	2,48	2,90	2,67	2,00	1,32	0,87	0,62	0,53	0,53
90	0,52	0,72	1,11	1,72	2,45	2,89	2,65	1,95	1,26	0,80	0,55	0,47	0,47	

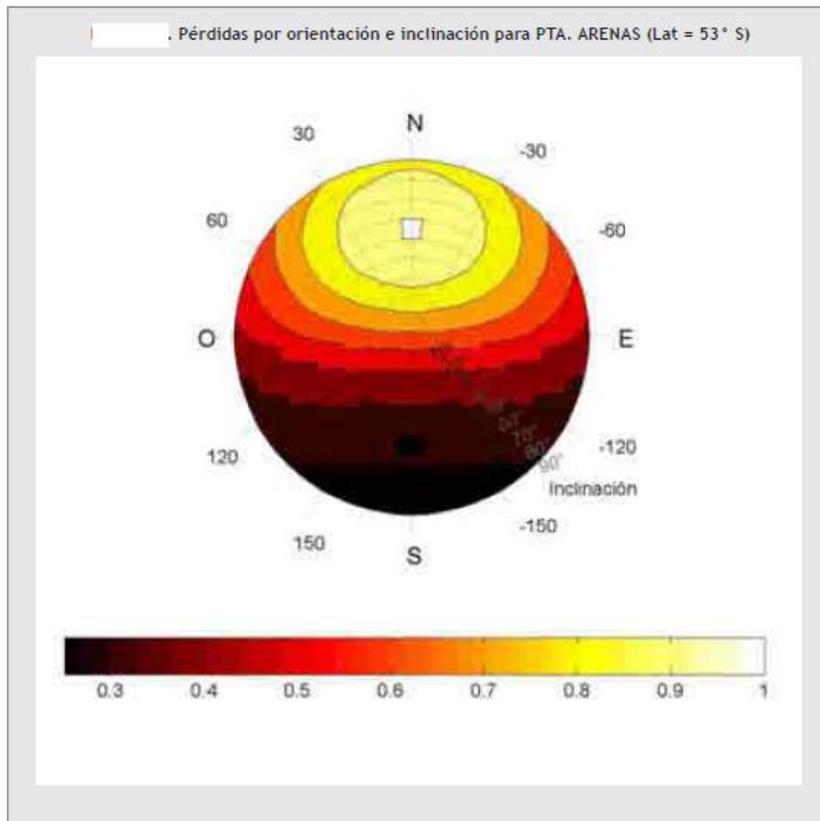
FUENTE: CDT Sistemas solares térmicos, Cámara de construcción 2007

También podemos apreciar los límites de inclinación permitidos por la orientación de los paneles con respecto al norte, la cual se ve reflejada en las siguientes figuras para distintas ciudades Chile

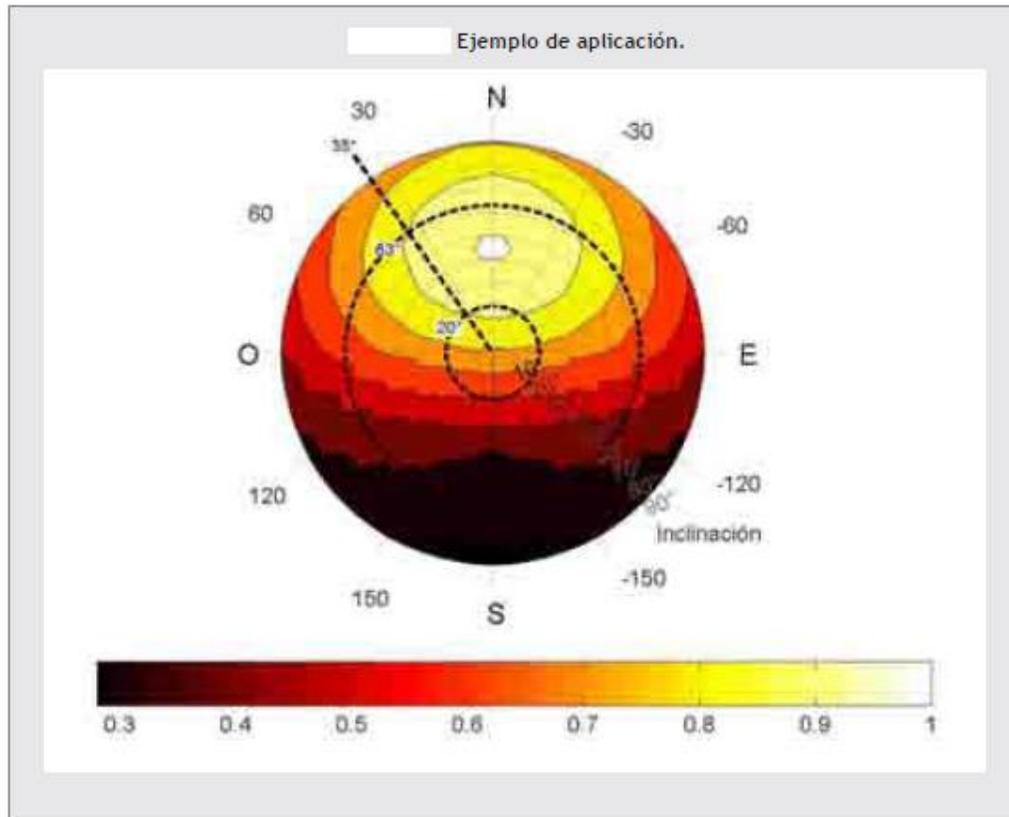








Ejemplo de cálculo para límites de inclinación según su orientación.



Se trata de evaluar si las pérdidas por orientación e inclinación del captador están dentro de los límites permitidos para una instalación en un tejado orientado 35° hacia el Oeste (azimut = $+35^\circ$) y con una inclinación de 40° respecto a la horizontal, para una localidad situada cerca de la ciudad de Coyhaique cuya latitud es de 46° S.

Conocido el azimut, cuyo valor es $+35^\circ$, determinamos en la Figura los límites de la inclinación. Los puntos de intersección del límite de pérdidas del 10 % (borde exterior de la región 0,9-1), máximo para el caso general, con la recta de azimut nos proporcionan los valores.

Inclinación máxima= 63° .

Inclinación mínima= 20° .

Dado que la inclinación de 40° está dentro de los límites permitidos, la instalación cumple los requisitos de pérdidas por inclinación.

ANEXO F: Especificación técnica del colector solar

Para calcular el verdadero rendimiento de un colector solar hay que ver la ficha técnica del fabricante, para ver los rendimientos y factores de pérdida que presente en colector.

A continuación se aprecia la ficha técnica del colector elegido para este estudio.

Paneles Solares			
			
<h3>Panel Solar K420LC / K420MS / K423MS</h3>			
Componentes			
<ul style="list-style-type: none"> • Nueva generación de paneles solares optimizados y funcionales. • LC diseño de absorbedor de cobre seriado de 18 mm. Ø, ideal para instalaciones residenciales. • MS diseño de absorbedor de cobre seriado de 22 mm. Ø, ideal para instalaciones medianas y grandes. • Perfil de aluminio curvo con tratamiento anticorrosivo y esquineros de PVC. • Tratamiento selectivo TiNOX High Performance. • Vidrio templado de 3,2 mm., aislación de lana mineral y sellos en EPDM. • Kits de montaje opcionales para una instalación rápida y segura. 			
			
Modelos	K420 LC Residencial	K420 MS Comercial	K423 MS Industrial
Diseño Constructivo	Colector plano para montaje sobre techo inclinado y plano, fachada y cubierta plana ideal para aplicaciones residenciales básicas.		
Dimensiones	1.908 x 1.058 mm	1.870 x 1.150 mm	2.160 x 1.150 mm
Superficie Bruta	2,01 m ²	2,15 m ²	2,51 m ²
Altura Perfil	75 mm.	95 mm.	95 mm.
Superficie Absorbedor	1,85m ² (= superficie de apertura)	2,0m ² (= superficie de apertura)	2,3m ² (= superficie de apertura)
Peso Total (con carga)	29 Kg.	35 Kg.	39 Kg.
Contenido Líquido	1,40 lts.	1,70 lts.	1,81 lts.
Flujo Nominal	120lt./h. (flujo parcial: 50lt./h.)	120 lt./h. (flujo parcial: 60lt./h.)	120 lt/h. (bajo caudal: 50lt/h.)
Pérdida Nominal de Presión	240 mbar (bajo caudal: 70 mbar mezcla agua/propilenglicol)	280 mbar (bajo caudal: 90 mbar, mezcla de agua/propilenglicol)	310mbar (bajo caudal: 100 mbar, mezcla de agua/propilenglicol)
Conexión Hidráulica	Conexión en paralelo de colectores situados uno al lado de otro		
Conexión Mecánica	3 conexiones laterales (2 x lado) con adaptadores de doble junta (incluidos en uniones del kit de montaje)	4 conexiones laterales (2 x lado) con adaptadores de doble junta (incluidos en uniones del kit de montaje)	4 conexiones laterales (2 x lado) con adaptadores de doble junta (incluidos en uniones del kit de montaje)
Tipo de Absorbedor	Absorbedor de cobre soldado con láser a chapa de aluminio. Diseño seriado continuo de 0.9 mm. y 2 tubos colectores de Ø 18mm.	Absorbedor de cobre soldado con láser a chapa de aluminio. Diseño seriado continuo de 0.9 mm. y 2 tubos colectores de Ø 22mm.	Absorbedor de cobre soldado con láser a chapa de aluminio. Diseño seriado continuo de 0.9 mm. y 2 tubos colectores de Ø 22mm.
Recubrimiento Absorbedor	Recubrimiento selectivo TiNOX		
Absorción / Emisión	95% / 5%		
Material Cubierta	Vidrio solar estructurado monocapa (ESG) de 3,2 mm. de bajo contenido en hierro		
Transmisividad de la Cubierta	85% (EN 12975-2)	91% (EN 12975-2)	91% (EN 12975-2)
Resistencia al Impacto de la cubierta	Según EN 12975-2		
Aislamiento Térmico	Lana mineral de 30 mm	Lana mineral de 50 mm	Lana mineral de 50 mm
Carcasa del Colector	Perfil extruido de aluminio monocapa con recubrimiento electrostático y esquineros plásticos antigolpe		
Coefficiente de Rendimiento	74,8% por superficie de apertura	77,5% por superficie de apertura	78,1% por superficie de apertura
Coefficientes de Pérdidas de Calor	a1 (k1) 3,93 W / (m ² K)	a1(k1) 3,73 W / (m ² K)	a1 (k1) 3,83 W / (m ² K)
	a2 (k2) 0,0148 W / (m ² K ²)	a2 (k2) 0,0152 W / (m ² K ²)	a2 (k2) 0,0159 W / (m ² K ²)
T° Máxima en Reposo (T° de Estancamiento)	191°C	205°C	202°C
Angulo de inclinación	20° - 90°		
Carga de viento admisible	3 kN/m ² succión		
Carga de nieve admisible	5 kN/m ² presión		
Presión de Servicio Máxima	10 bar		
Medio caloportador recomendado	Mezcla anticongelante a base de propilenglicol		
Garantía Comercial	6 años sobre el funcionamiento y la resistencia a la intemperie		

FUENTE: www.anwo.cl

ANEXO G: Especificaciones técnicas, bomba de calor geotérmica

A continuación se presentan las especificaciones técnicas de las bombas de calor Water Furnace, modelo NSW.

NSW SPECIFICATION CATALOG

AHRI/ISO 13256-2 Performance Ratings

English (IP) Units

Model	Capacity Modulation	Flow Rate		Water Loop Heat Pump				Ground Water Heat Pump				Energy Star Compliant
				Cooling 86°F Source 53.6°F Load		Heating 68°F Source 104°F Load		Cooling 59°F Source 53.6°F Load		Heating 50°F Source 104°F Load		
		Load Gpm	Source Gpm	Capacity Btuh	EER Btuh/W	Capacity Btuh	COP	Capacity Btuh	EER Btuh/W	Capacity Btuh	COP	
018	Single	5	5	16,400	14.0	22,200	4.5	18,800	22.9	18,500	3.7	Yes
025	Single	7	7	23,700	13.6	32,800	4.6	26,700	21.2	27,100	3.8	Yes
040	Single	10	10	35,900	15.5	47,900	4.8	40,900	23.4	39,100	3.9	Yes
050	Single	15	15	49,800	13.9	65,000	4.4	55,600	21.6	54,200	3.7	Yes
060	Single	18	18	55,400	13.6	78,000	4.7	62,500	20.6	63,200	3.8	Yes
075	Single	19	19	66,000	12.3	93,100	4.2	74,100	18.0	77,100	3.5	No

Model	Capacity Modulation	Flow Rate		Ground Loop Heat Pump				Energy Star Compliant
				Cooling 77°F Source 53.6°F Load		Heating 32°F Source 104°F Load		
		Load Gpm	Source Gpm	Capacity Btuh	EER Btuh/W	Capacity Btuh	COP	
018	Single	5	5	17,300	16.6	14,700	3.1	Yes
025	Single	7	7	24,700	16.1	22,000	3.1	Yes
040	Single	10	10	37,700	17.5	30,500	3.1	Yes
050	Single	15	15	51,500	16.4	44,200	3.1	Yes
060	Single	18	18	58,000	16.1	50,100	3.1	Yes
075	Single	19	19	68,400	14.0	61,500	2.9	No

NOTE: All ratings based upon 208V operation. 01/03/12



Pressure Drop

Model	GPM	Pressure Drop (psi)				
		30°F	60°F	80°F	100°F	120°F
018R*	3.0	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3
	4.0	1.1	0.9	0.9	0.8	0.8
	5.0	1.6	1.4	1.4	1.3	1.3
	6.0	2.1	1.9	1.9	1.8	1.8
025R*	4.0	0.7	0.6	0.4	0.3	0.3
	5.5	1.3	1.1	0.9	0.7	0.6
	7.0	1.9	1.7	1.5	1.3	1.2
	8.5	2.6	2.4	2.2	2.0	1.9
040H/R	5.0	0.9	0.6	0.6	0.5	0.5
	7.5	2.3	2.1	2.0	1.9	1.8
	10.0	3.7	3.5	3.3	3.2	3.0
	12.5	5.0	4.7	4.4	4.2	4.0
050H/R	8.0	1.7	1.4	1.4	1.3	1.3
	11.5	3.6	3.4	3.2	3.0	2.8
	15.0	5.6	5.4	5.0	4.6	4.2
	18.5	8.3	8.1	7.6	7.2	6.8
060H/R	9.0	1.4	1.1	1.0	1.0	0.9
	13.5	4.2	3.9	3.5	3.1	2.7
	18.0	6.9	6.7	6.0	5.2	4.5
	22.5	10.7	10.5	10.0	9.4	8.7
075H/R	10.0	3.2	3.0	2.8	2.7	2.5
	14.5	5.5	5.3	5.1	4.9	4.7
	19.0	7.9	7.6	7.3	7.1	6.8
	23.5	11.5	11.3	11.0	10.8	10.5

Model	GPM	Pressure Drop (psi)			
		60°F	80°F	100°F	120°F
018H	3.0	0.5	0.4	0.4	0.3
	4.0	1.4	1.3	1.2	1.2
	5.0	2.2	2.1	2.1	2.0
	6.0	3.0	2.9	2.9	2.8
025H	4.0	1.3	1.3	1.2	1.2
	5.5	3.0	2.9	2.8	2.7
	7.0	4.6	4.4	4.3	4.1
	8.5	6.7	6.5	6.4	6.2

NOTE: Temperatures are Entering Water Temperatures. 7/13/09
 Double wall vented coax for heating potable water

NOTE: Temperatures are Entering Water Temperatures 8/9/10
 *Domestic water heating units source side pressure drop and reversible units load and source pressure drop.

NSW018 - Performance Data cont.

Heating Capacity

Source		Load Flow-3 GPM							Load Flow-4 GPM							Load Flow-5 GPM							
EST °F	Flow GPM	ELT °F	LLT °F	HC MBTUH	Power kW	HE MBTUH	COP	LST °F	LLT °F	HC MBTUH	Power kW	HE MBTUH	COP	LST °F	LLT °F	HC MBTUH	Power kW	HE MBTUH	COP	LST °F			
25	4	60	Operation not recommended																				
		80	Operation not recommended																				
		100	Operation not recommended																				
		120	Operation not recommended																				
	30	3	60	69.8	14.2	0.90	11.1	4.62	20.4	67.4	14.3	0.88	11.3	4.76	20.3	65.9	14.4	0.86	11.5	4.91	20.3		
			80	89.4	13.7	1.21	9.6	3.31	21.1	87.1	13.8	1.19	9.7	3.38	21.0	85.7	13.9	1.17	9.9	3.46	20.9		
			100	109.1	13.2	1.53	8.0	2.53	21.7	106.8	13.5	1.51	8.1	2.58	21.6	105.5	13.3	1.49	8.3	2.63	21.6		
			120	129.7	12.7	1.84	6.4	2.02	22.4	126.6	12.8	1.82	6.5	2.05	22.3	125.3	12.8	1.80	6.7	2.08	22.3		
		30	4	60	70.4	15.1	0.91	12.0	4.86	21.8	68.3	15.2	0.90	12.1	4.96	21.7	66.3	15.2	0.88	12.2	5.06	21.6	
				80	90.0	14.5	1.22	10.4	3.48	22.9	88.0	14.6	1.21	10.5	3.55	22.8	86.0	14.6	1.19	10.6	3.61	22.7	
				100	109.6	14.0	1.54	8.7	2.66	24.0	107.7	14.0	1.52	8.8	2.71	23.9	105.8	14.1	1.49	9.0	2.76	23.8	
				120	129.2	13.4	1.85	7.1	2.12	25.1	127.4	13.5	1.83	7.2	2.16	25.0	125.6	13.5	1.80	7.4	2.20	24.9	
30			5	60	70.7	15.5	0.91	12.4	5.02	23.2	68.6	15.6	0.89	12.6	5.14	23.2	66.5	15.7	0.88	12.7	5.26	23.1	
				80	90.2	14.9	1.22	10.7	3.58	24.2	88.2	15.0	1.20	10.9	3.66	24.1	86.2	15.0	1.18	11.0	3.75	24.0	
				100	109.8	14.3	1.53	9.0	2.73	25.1	107.9	14.3	1.50	9.2	2.79	25.0	105.9	14.4	1.48	9.3	2.85	24.9	
				120	129.4	13.7	1.85	7.4	2.17	26.0	127.5	13.7	1.81	7.5	2.21	25.9	125.6	13.7	1.78	7.6	2.26	25.8	
	50		3	60	70.9	15.9	0.90	12.8	5.18	24.7	68.8	16.1	0.89	13.0	5.32	24.6	66.7	16.2	0.87	13.2	5.46	24.5	
				80	90.5	15.2	1.21	11.1	3.68	25.4	88.4	15.3	1.19	11.3	3.78	25.3	86.4	15.4	1.16	11.5	3.89	25.3	
				100	110.0	14.6	1.53	9.4	2.80	26.1	108.0	14.6	1.49	9.5	2.87	26.1	106.0	14.7	1.46	9.7	2.95	26.0	
				120	129.6	13.9	1.84	7.6	2.21	26.9	127.6	13.9	1.80	7.8	2.27	26.8	125.7	13.9	1.75	7.9	2.33	26.7	
		50	4	60	73.5	19.7	0.90	16.6	6.46	38.6	70.9	19.8	2.74	10.4	4.71	42.8	68.2	20.0	4.59	4.3	2.97	47.1	
				80	93.0	18.9	1.21	14.7	4.58	39.9	90.4	19.0	2.43	10.7	3.48	42.7	87.9	19.1	3.65	6.6	2.37	45.4	
				100	112.4	18.1	1.52	12.9	3.48	41.2	110.0	18.1	2.12	10.9	2.85	42.5	107.5	18.2	2.71	9.0	2.21	43.8	
				120	131.9	17.3	1.84	11.0	2.76	42.4	129.5	17.3	1.80	11.1	2.82	42.3	127.2	17.4	1.77	11.3	2.88	42.2	
50			5	60	73.9	20.2	0.89	17.1	6.62	40.7	71.2	20.4	1.81	14.2	3.31	42.7	68.5	20.6	2.72	11.3	2.22	44.8	
				80	93.3	19.3	1.21	15.2	4.69	41.7	90.7	19.5	1.80	13.3	3.16	43.0	88.1	19.6	2.40	11.4	2.40	44.4	
				100	112.7	18.4	1.52	13.2	3.55	42.8	110.2	18.5	1.80	12.4	3.02	43.4	107.7	18.6	2.08	11.5	2.63	44.0	
				120	132.1	17.6	1.83	11.3	2.81	43.8	129.7	17.6	1.80	11.5	2.87	43.7	127.3	17.7	1.76	11.7	2.94	43.6	
	70		3	60	74.2	20.7	0.89	17.7	6.83	42.7	71.5	21.0	0.87	18.0	7.12	42.6	68.7	21.2	0.85	18.3	7.41	42.4	
				80	93.6	19.8	1.20	15.6	4.82	43.5	90.9	19.9	1.17	15.9	4.99	43.4	88.3	20.1	1.15	16.2	5.17	43.3	
				100	112.9	18.8	1.52	13.6	3.64	44.4	110.4	18.9	1.48	13.9	3.75	44.3	107.8	19.0	1.45	14.1	3.87	44.2	
				120	132.3	17.9	1.83	11.6	2.86	45.2	129.8	17.9	1.79	11.8	2.94	45.1	127.4	18.0	1.75	12.0	3.02	45.1	
		70	4	60	76.6	24.2	0.88	21.2	8.06	55.4	73.4	24.5	4.59	8.8	4.46	64.0	70.2	24.7	8.30	-3.6	0.87	72.5	
				80	95.9	23.2	1.19	19.1	5.69	56.9	92.8	23.4	3.65	10.9	3.41	62.5	89.7	23.5	6.31	2.7	1.13	68.2	
				100	115.2	22.1	1.51	17.0	4.30	58.3	112.2	22.3	2.72	13.0	2.99	61.1	109.2	22.4	3.93	9.0	1.67	63.8	
				120	134.5	21.1	1.82	14.9	3.40	59.8	131.6	21.2	1.78	15.1	3.48	59.6	128.7	21.2	1.74	15.3	3.57	59.5	
70			5	60	77.1	24.9	0.88	21.8	8.27	58.1	73.8	25.2	2.72	15.9	2.71	62.2	70.5	25.5	4.56	9.9	1.64	66.4	
				80	96.3	23.7	1.19	19.6	5.82	59.3	93.1	23.9	2.41	15.7	2.91	62.0	90.0	24.2	3.62	11.8	1.96	64.8	
				100	115.5	22.6	1.51	17.4	4.39	60.5	112.5	22.7	2.09	15.6	3.18	61.8	109.4	22.9	2.68	13.7	2.50	63.1	
				120	134.7	21.5	1.82	15.2	3.45	61.7	131.8	21.5	1.78	15.4	3.54	61.6	128.9	21.6	1.74	15.7	3.64	61.4	
	90		3	60	77.5	25.5	0.88	22.5	8.49	60.7	74.2	25.9	0.85	22.9	8.93	60.5	70.8	26.2	0.82	23.4	9.36	60.3	
				80	96.7	24.3	1.19	20.2	5.96	61.7	93.5	24.5	1.16	20.6	6.20	61.5	90.2	24.8	1.13	21.0	6.45	61.4	
				100	115.8	23.0	1.51	17.9	4.48	62.6	112.7	23.2	1.47	18.2	4.63	62.5	109.6	23.4	1.43	18.5	4.78	62.4	
				120	135.0	21.8	1.82	15.6	3.51	63.6	132.0	21.9	1.78	15.8	3.61	63.5	129.1	22.0	1.74	16.1	3.70	63.4	
		90	4	60	79.6	28.5	0.88	25.5	9.49	72.5	75.6	28.4	0.85	25.5	9.84	72.5	71.6	28.2	0.81	25.4	10.20	72.5	
				80	98.6	27.1	1.18	23.0	6.70	74.2	94.9	27.1	1.15	23.1	6.92	74.1	91.1	27.0	1.11	23.2	7.14	74.0	
				100	Operation not recommended																		
				120	Operation not recommended																		
90			5	60	80.1	29.2	0.88	26.2	9.72	75.7	76.0	29.0	0.85	26.1	10.05	75.7	71.9	28.8	0.81	26.0	10.40	75.8	
				80	99.0	27.7	1.19	23.6	6.84	77.1	95.2	27.6	1.15	23.7	7.05	77.0	91.4	27.6	1.11	23.8	7.28	77.0	
				100	Operation not recommended																		
				120	Operation not recommended																		
	90		5	60	80.5	29.9	0.88	26.9	9.96	78.9	76.3	29.6	0.85	26.7	10.28	79.0	72.1	29.3	0.81	26.5	10.60	79.1	
				80	99.4	28.2	1.19	24.2	6.97	80.0	95.5	28.2	1.15	24.2	7.19	80.0	91.6	28.1	1.11	24.3	7.42	80.0	
				100	Operation not recommended																		
				120	Operation not recommended																		

NSW025 - Performance Data cont.

Heating Capacity

Source		Load Flow-4 GPM								Load Flow-5.5 GPM					Load Flow-7 GPM								
EST °F	Flow GPM	ELT °F	LLT °F	HC MBTUH	Power kW	HE MBTUH	COP	LST °F	LLT °F	HC MBTUH	Power kW	HE MBTUH	COP	LST °F	LLT °F	HC MBTUH	Power kW	HE MBTUH	COP	LST °F			
25	5.5	60	Operation not recommended																				
		80	Operation not recommended																				
		100	Operation not recommended																				
		120	Operation not recommended																				
	30	7	60	71.0	21.4	1.28	17.0	4.90	20.0	68.1	21.5	1.26	17.2	5.02	19.9	66.4	21.6	1.23	17.4	5.15	19.9		
			80	90.6	20.5	1.70	14.7	3.54	20.7	87.7	20.7	1.67	14.9	3.62	20.6	86.1	20.8	1.65	15.1	3.70	20.5		
			100	110.1	19.7	2.12	12.4	2.72	21.3	107.4	19.8	2.09	12.7	2.77	21.3	105.9	19.9	2.06	12.9	2.83	21.2		
			120	129.7	18.8	2.54	10.1	2.17	22.0	127.1	19.0	2.51	10.4	2.21	21.9	125.6	19.1	2.48	10.6	2.26	21.9		
		30	4	60	71.4	22.2	1.29	17.8	5.04	20.8	69.1	22.4	1.26	18.1	5.21	20.7	66.7	22.6	1.23	18.4	5.38	20.5	
				80	91.0	21.4	1.71	15.6	3.67	22.0	88.7	21.6	1.68	15.9	3.78	21.8	86.4	21.8	1.64	16.2	3.88	21.7	
				100	110.6	20.6	2.12	13.4	2.84	23.1	108.4	20.8	2.09	13.6	2.91	23.0	106.2	20.9	2.06	13.9	2.98	22.8	
				120	130.2	19.8	2.54	11.1	2.28	24.3	128.1	20.0	2.51	11.4	2.33	24.1	125.9	20.1	2.47	11.7	2.38	24.0	
30			5.5	60	71.8	22.9	1.29	18.4	5.19	22.6	69.3	23.0	1.26	18.7	5.35	22.5	66.8	23.2	1.23	19.0	5.53	22.4	
				80	91.3	21.9	1.71	16.1	3.76	23.5	88.9	22.1	1.68	16.4	3.87	23.4	86.6	22.3	1.64	16.7	3.98	23.3	
				100	110.8	21.0	2.12	13.7	2.90	24.5	108.6	21.2	2.09	14.1	2.97	24.4	106.3	21.4	2.06	14.4	3.05	24.2	
				120	130.3	20.1	2.54	11.4	2.31	25.4	128.2	20.3	2.51	11.7	2.37	25.3	126.0	20.5	2.47	12.1	2.43	25.2	
	30		7	60	72.1	23.5	1.29	19.1	5.34	24.4	69.6	23.7	1.26	19.3	5.50	24.3	67.0	23.8	1.23	19.6	5.67	24.2	
				80	91.6	22.4	1.71	16.6	3.85	25.1	89.1	22.6	1.68	16.9	3.96	25.0	86.7	22.8	1.64	17.2	4.07	24.9	
				100	111.0	21.4	2.12	14.1	2.95	25.8	108.7	21.6	2.09	14.5	3.03	25.7	106.4	21.9	2.06	14.8	3.12	25.6	
				120	130.5	20.3	2.54	11.6	2.34	26.6	128.3	20.6	2.51	12.1	2.41	26.5	126.2	20.9	2.47	12.5	2.48	26.3	
		50	4	60	75.2	29.4	1.31	24.9	6.55	37.2	71.9	29.5	1.27	25.1	6.79	37.1	68.7	29.5	1.23	25.3	7.03	37.0	
				80	94.5	28.2	1.74	22.3	4.74	38.5	91.4	28.3	1.69	22.5	4.89	38.4	88.3	28.3	1.65	22.7	5.04	38.3	
				100	113.9	27.0	2.16	19.6	3.65	39.9	111.0	27.1	2.11	19.9	3.75	39.7	108.0	27.2	2.06	20.1	3.85	39.6	
				120	133.3	25.9	2.59	17.0	2.91	41.2	130.5	25.9	2.54	17.3	2.99	41.1	127.7	26.0	2.48	17.5	3.07	41.0	
50			5.5	60	75.7	30.4	1.31	25.9	6.79	39.6	72.3	30.4	1.27	26.1	7.02	39.5	69.0	30.5	1.23	26.3	7.25	39.5	
				80	95.0	29.1	1.74	23.2	4.90	40.7	91.8	29.1	1.69	23.4	5.04	40.6	88.6	29.2	1.65	23.6	5.19	40.6	
				100	114.3	27.7	2.16	20.4	3.76	41.8	111.3	27.8	2.11	20.6	3.86	41.7	108.2	27.9	2.06	20.9	3.96	41.6	
				120	133.6	26.4	2.59	17.6	2.99	42.9	130.7	26.5	2.54	17.9	3.06	42.8	127.8	26.6	2.48	18.2	3.15	42.7	
	50		7	60	76.2	31.5	1.32	27.0	6.98	42.1	72.7	31.4	1.27	27.1	7.23	42.0	69.2	31.4	1.23	27.2	7.48	42.0	
				80	95.4	30.0	1.74	24.0	5.02	42.9	92.1	30.0	1.69	24.2	5.18	42.9	88.8	30.0	1.65	24.4	5.34	42.8	
				100	114.7	28.5	2.17	21.1	3.83	43.8	111.5	28.5	2.11	21.3	3.95	43.7	108.4	28.6	2.06	21.6	4.06	43.6	
				120	133.9	27.0	2.59	18.1	3.04	44.7	131.0	27.1	2.54	18.4	3.13	44.6	128.0	27.3	2.48	18.8	3.22	44.5	
		70	4	60	78.9	36.6	1.33	32.1	8.06	53.5	74.8	36.5	1.28	32.1	8.37	53.4	70.7	36.4	1.23	32.2	8.67	53.4	
				80	98.1	35.0	1.77	29.0	5.81	55.0	94.2	35.0	1.71	29.1	6.00	55.0	90.3	34.9	1.65	29.3	6.20	54.9	
				100	117.3	33.5	2.20	25.9	4.45	56.6	113.5	33.4	2.14	26.1	4.59	56.5	109.8	33.4	2.07	26.3	4.73	56.4	
				120	136.4	31.9	2.64	22.9	3.54	58.2	132.9	31.9	2.57	23.1	3.65	58.1	129.4	31.9	2.49	23.4	3.75	57.9	
70			5.5	60	79.6	38.0	1.34	33.4	8.34	56.6	75.3	37.9	1.28	33.5	8.65	56.6	71.1	37.7	1.23	33.5	8.98	56.6	
				80	98.7	36.3	1.77	30.2	6.00	57.9	94.7	36.2	1.71	30.3	6.19	57.9	90.6	36.1	1.65	30.4	6.40	57.8	
				100	117.8	34.5	2.21	27.0	4.58	59.2	114.0	34.5	2.14	27.2	4.72	59.1	110.1	34.4	2.07	27.3	4.87	59.0	
				120	136.9	32.8	2.64	23.7	3.63	60.5	133.3	32.8	2.57	24.0	3.74	60.4	129.6	32.8	2.49	24.3	3.85	60.3	
	70		7	60	80.3	39.4	1.34	34.8	8.61	59.7	75.9	39.2	1.29	34.8	8.95	59.7	71.5	39.0	1.23	34.8	9.29	59.7	
				80	99.3	37.5	1.77	31.4	6.19	60.7	95.1	37.3	1.71	31.5	6.40	60.7	91.0	37.2	1.65	31.6	6.61	60.7	
				100	118.3	35.5	2.21	28.0	4.72	61.8	114.4	35.5	2.14	28.2	4.86	61.7	110.4	35.4	2.07	28.3	5.01	61.7	
				120	137.3	33.6	2.64	24.6	3.73	62.8	133.6	33.6	2.57	24.8	3.84	62.7	129.9	33.6	2.49	25.1	3.95	62.6	
		90	4	60	82.7	44.0	1.37	39.3	9.41	69.7	77.7	43.7	1.31	39.2	9.79	69.8	72.8	43.4	1.25	39.1	10.17	69.8	
				80	101.6	41.9	1.80	35.7	6.80	71.6	96.9	41.7	1.73	35.8	7.07	71.6	92.2	41.5	1.66	35.9	7.33	71.5	
				100	Operation not recommended																		
				120	Operation not recommended																		
90			5.5	60	83.5	45.5	1.38	40.8	9.66	73.6	78.2	44.8	1.32	40.3	9.96	73.8	75.0	44.1	1.26	39.8	10.30	73.9	
				80	102.3	43.2	1.81	37.0	6.99	75.2	97.4	42.8	1.74	36.8	7.22	75.2	92.5	42.4	1.66	36.7	7.46	75.2	
				100	Operation not recommended																		
				120	Operation not recommended																		
	90		7	60	84.2	47.0	1.39	42.3	9.91	77.6	78.7	45.9	1.33	41.4	10.16	77.8	75.2	44.8	1.26	40.5	10.42	78.1	
				80	102.9	44.5	1.82	38.3	7.18	78.7	97.8	43.8	1.74	37.9	7.58	78.8	92.7	43.2	1.67	37.5	7.59	79.0	
				100	Operation not recommended																		
				120	Operation not recommended																		

NSW040 - Performance Data cont.																						
Heating Capacity																						
Source		Load Flow-5 GPM						Load Flow-7.5 GPM						Load Flow-10 GPM								
EST °F	Flow GPM	ELT °F	LLT °F	HC MBTUH	Power kW	HE MBTUH	COP	LST °F	LLT °F	HC MBTUH	Power kW	HE MBTUH	COP	LST °F	LLT °F	HC MBTUH	Power kW	HE MBTUH	COP	LST °F		
25	7.5	60	Operation not recommended																			
		80	Operation not recommended																			
		100	Operation not recommended																			
		120	Operation not recommended																			
	30	5	60	72.2	29.7	1.83	23.5	4.76	20.2	68.2	29.7	1.78	23.6	4.89	20.1	66.1	29.6	1.72	23.7	5.04	20.1	
			80	91.9	28.8	2.42	20.6	3.50	20.8	87.9	28.8	2.36	20.7	3.58	20.7	85.9	28.7	2.29	20.9	3.67	20.7	
			100	111.5	28.0	3.00	17.7	2.73	21.3	107.7	27.9	2.94	17.9	2.78	21.3	105.7	27.8	2.87	18.0	2.84	21.3	
			120	131.2	27.1	3.59	14.8	2.21	21.9	127.4	27.0	3.52	15.0	2.25	21.9	125.5	26.9	3.44	15.2	2.29	21.9	
		30	7.5	60	72.7	30.9	1.84	24.6	4.92	19.8	69.5	30.8	1.79	24.7	5.06	19.8	66.3	30.7	1.73	24.8	5.20	19.8
				80	92.4	30.0	2.42	21.8	3.64	21.0	89.3	30.0	2.36	21.9	3.73	21.0	86.2	29.9	2.30	22.0	3.81	20.9
				100	112.0	29.2	2.99	19.0	2.85	22.2	109.0	29.1	2.93	19.1	2.91	22.1	106.0	29.0	2.86	19.3	2.97	22.1
				120	131.7	28.3	3.57	16.1	2.32	23.4	128.7	28.3	3.50	16.3	2.37	23.3	125.8	28.2	3.43	16.5	2.41	23.2
50			5	60	73.3	32.3	1.84	26.0	5.14	22.1	70.0	32.2	1.78	26.1	5.29	22.1	66.6	32.2	1.73	26.3	5.46	22.0
				80	92.8	31.0	2.43	22.7	3.74	23.1	89.6	31.0	2.36	23.0	3.85	23.0	86.4	31.1	2.29	23.2	3.97	22.9
				100	112.3	29.8	3.02	19.5	2.90	24.0	109.2	29.9	2.94	19.9	2.98	23.9	106.2	30.0	2.86	20.2	3.07	23.9
				120	131.8	28.6	3.61	16.3	2.32	25.0	128.9	28.7	3.52	16.7	2.39	24.9	125.9	28.9	3.43	17.1	2.46	24.8
	50		7.5	60	73.9	33.6	1.84	27.3	5.35	24.4	70.4	33.6	1.78	27.5	5.54	24.3	66.9	33.6	1.72	27.7	5.72	24.3
				80	93.2	32.0	2.44	23.7	3.85	25.1	89.9	32.1	2.37	24.1	3.99	25.0	86.6	32.2	2.29	24.4	4.12	25.0
				100	112.6	30.5	3.04	20.1	2.94	25.9	109.5	30.7	2.95	20.6	3.05	25.8	106.4	30.9	2.86	21.1	3.16	25.6
				120	131.9	28.9	3.64	16.5	2.33	26.6	129.0	29.2	3.54	17.1	2.42	26.5	126.1	29.5	3.43	17.8	2.52	26.3
		70	5	60	76.9	41.1	1.88	34.7	6.37	33.7	72.7	40.8	1.81	34.7	6.61	33.7	68.4	40.6	1.74	34.6	6.84	33.7
				80	96.3	39.5	2.47	31.1	4.67	37.2	92.2	39.3	2.39	31.1	4.82	37.2	88.1	39.1	2.30	31.2	4.97	37.1
				100	115.6	37.9	3.06	27.4	3.61	38.7	111.7	37.7	2.96	27.6	3.72	38.6	107.8	37.6	2.87	27.8	3.84	38.5
				120	134.9	36.3	3.65	23.8	2.90	40.2	131.2	36.2	3.54	24.1	2.99	40.1	127.5	36.2	3.44	24.4	3.08	39.9
70			7.5	60	77.7	43.0	1.86	36.6	6.77	38.9	73.2	42.7	1.80	36.5	6.95	38.9	68.7	42.3	1.74	36.4	7.15	38.9
				80	96.9	41.1	2.46	32.7	4.89	40.1	92.7	40.9	2.38	32.7	5.03	40.0	88.4	40.7	2.30	32.8	5.18	40.0
				100	116.1	39.1	3.06	28.7	3.75	43.3	112.1	39.1	2.97	29.0	3.86	41.2	108.0	39.0	2.87	29.2	3.98	41.1
				120	135.4	37.2	3.66	24.7	2.98	42.4	131.5	37.3	3.55	25.2	3.08	42.3	127.7	37.4	3.44	25.6	3.19	42.2
	90		5	60	78.5	44.9	1.84	38.6	7.14	42.0	73.8	44.5	1.79	38.4	7.29	42.1	69.1	44.1	1.74	38.2	7.43	42.1
				80	97.6	42.6	2.45	34.3	5.08	42.9	93.1	42.5	2.38	34.3	5.23	42.9	88.7	42.3	2.30	34.4	5.37	42.9
				100	116.7	40.4	3.07	30.0	3.85	43.8	112.5	40.4	2.97	30.3	3.99	43.8	108.3	40.4	2.87	30.6	4.13	43.7
				120	135.8	38.2	3.68	25.6	3.03	44.7	131.9	38.4	3.56	26.3	3.16	44.6	128.0	38.6	3.44	26.9	3.29	44.5
		90	7.5	60	81.2	51.3	1.92	44.7	7.83	51.5	75.8	50.9	1.83	44.6	8.16	51.6	70.4	50.4	1.74	44.5	8.49	51.7
				80	100.2	48.9	2.52	40.3	5.69	53.4	95.1	48.6	2.42	40.4	5.91	53.4	90.0	48.3	2.31	40.4	6.13	53.3
				100	119.2	46.6	3.12	35.9	4.37	55.2	114.4	46.4	3.00	36.1	4.54	55.1	109.5	46.2	2.88	36.4	4.70	55.0
				120	138.2	44.2	3.72	31.5	3.48	57.0	133.7	44.2	3.59	31.9	3.61	56.8	129.1	44.1	3.45	32.3	3.75	56.7
90			10	60	82.1	53.7	1.88	47.3	8.37	55.6	76.5	53.1	1.81	46.9	8.58	55.7	70.8	52.5	1.75	46.5	8.82	55.8
				80	101.1	51.1	2.49	42.6	6.00	57.1	95.7	50.7	2.40	42.5	6.38	57.1	90.4	50.3	2.31	42.4	6.38	57.1
				100	120.0	48.5	3.11	37.9	4.57	58.5	115.0	48.3	2.99	38.1	4.73	58.4	109.9	48.1	2.88	38.3	4.90	58.4
				120	138.9	45.9	3.72	33.2	3.61	59.9	134.2	45.9	3.58	33.6	3.75	59.8	129.5	45.9	3.45	34.1	3.90	59.6
	90		10	60	83.1	56.1	1.84	49.8	8.93	59.7	77.2	55.4	1.80	49.2	9.04	59.9	71.3	54.6	1.75	48.6	9.14	60.0
				80	102.0	53.2	2.47	44.8	6.32	60.8	96.4	52.8	2.39	44.6	6.47	60.8	90.8	52.3	2.31	44.4	6.62	60.8
				100	120.8	50.4	3.09	39.8	4.77	61.8	115.5	50.2	2.99	40.0	4.93	61.8	110.3	50.0	2.88	40.2	5.09	61.7
				120	139.6	47.5	3.72	34.8	3.74	62.8	134.7	47.6	3.58	35.4	3.90	62.7	129.8	47.7	3.44	36.0	4.06	62.6
		90	5	60	85.4	61.5	1.99	54.7	9.05	67.4	78.5	59.0	1.88	52.5	9.20	68.3	71.6	56.4	1.77	50.4	9.34	69.2
				80	104.5	59.4	2.56	50.7	6.79	69.1	97.8	56.7	2.44	48.3	6.80	70.1	91.1	53.9	2.32	46.0	6.80	71.0
				100	Operation not recommended																	
				120	Operation not recommended																	
90			7.5	60	86.2	63.7	2.01	56.8	9.30	72.6	79.0	60.4	1.89	53.9	9.37	73.5	71.8	57.1	1.77	51.0	9.44	74.3
				80	105.5	61.9	2.58	53.1	7.03	73.8	98.4	58.3	2.45	49.9	6.97	74.7	91.3	54.7	2.33	46.8	6.90	75.6
				100	124.8	60.1	3.15	49.3	5.59	75.0	117.8	56.2	3.01	45.9	5.47	76.0	110.8	52.4	2.88	42.6	5.33	76.9
				120	Operation not recommended																	
	90		10	60	87.1	65.8	2.02	58.9	9.54	77.9	79.5	61.8	1.90	55.3	9.55	78.6	71.9	57.7	1.77	51.7	9.55	79.3
				80	106.5	64.3	2.59	55.4	7.27	78.6	99.0	59.9	2.46	51.5	7.13	79.4	91.5	55.6	2.33	47.6	7.00	80.2
				100	125.9	62.7	3.16	51.9	5.82	79.3	118.4	58.1	3.02	47.8	5.62	80.2	111.0	53.4	2.88	43.6	5.43	81.0
				120	Operation not recommended																	

NSW050 - Performance Data cont.

Heating Capacity

Source		Load Flow-8 GPM						Load Flow-11.5 GPM						Load Flow-15 GPM										
EST °F	Flow GPM	ELT °F	LLT °F	HC MBTUH	Power kW	HE MBTUH	COP	LST °F	LLT °F	HC MBTUH	Power kW	HE MBTUH	COP	LST °F	LLT °F	HC MBTUH	Power kW	HE MBTUH	COP	LST °F				
25	11.5	60																						
		80	Operation not recommended																					
		100	Operation not recommended																					
		120	Operation not recommended																					
	30	8	60	71.3	43.9	2.50	35.4	5.15	20.1	67.9	44.0	2.50	35.4	5.16	20.1	66.0	44.0	2.49	35.5	5.18	20.1			
			80	91.0	42.6	3.41	31.0	3.66	20.7	87.6	42.6	3.37	31.1	3.71	20.7	85.9	42.6	3.33	31.3	3.75	20.7			
			100	110.6	41.3	4.32	26.6	2.80	21.3	107.4	41.3	4.25	26.8	2.85	21.3	105.7	41.3	4.17	27.0	2.90	21.3			
			120	130.3	40.0	5.23	22.2	2.24	22.0	127.2	40.0	5.12	22.5	2.29	21.9	125.5	39.9	5.01	22.8	2.33	21.9			
		30	11.5	60	71.8	45.7	2.36	37.6	5.67	20.3	69.0	45.8	2.43	37.5	5.53	20.3	66.3	45.8	2.49	37.3	5.39	20.4		
				80	91.4	44.4	3.31	33.1	3.92	21.5	88.8	44.4	3.33	33.0	3.91	21.5	86.1	44.4	3.34	33.0	3.89	21.5		
				100	111.1	43.0	4.27	28.5	2.96	22.7	108.5	43.0	4.23	28.6	2.98	22.6	105.9	43.0	4.19	28.7	3.01	22.6		
				120	130.7	41.7	5.22	23.9	2.34	23.8	128.2	41.7	5.13	24.1	2.38	23.8	125.7	41.6	5.04	24.4	2.42	23.7		
50			8	60	72.2	47.2	2.50	38.6	5.53	22.4	69.3	47.2	2.49	38.7	5.56	22.4	66.5	47.3	2.48	38.8	5.59	22.4		
				80	91.7	45.5	3.41	33.9	3.92	23.4	89.0	45.6	3.37	34.1	3.96	23.3	86.3	45.6	3.33	34.2	4.01	23.3		
				100	111.3	43.9	4.31	29.2	2.98	24.3	108.7	43.9	4.25	29.4	3.03	24.2	106.0	43.9	4.18	29.6	3.08	24.2		
				120	130.9	42.3	5.22	24.5	2.37	25.2	128.4	42.3	5.13	24.8	2.42	25.1	125.8	42.2	5.03	25.0	2.46	25.1		
	50		11.5	60	72.5	48.6	2.64	39.6	5.39	24.6	69.6	48.7	2.56	40.0	5.59	24.5	66.7	48.8	2.47	40.4	5.79	24.5		
				80	92.0	46.7	3.50	34.8	3.91	25.2	89.2	46.8	3.41	35.1	4.02	25.2	86.4	46.8	3.32	35.5	4.13	25.1		
				100	111.5	44.8	4.36	29.9	3.01	25.9	108.9	44.8	4.27	30.2	3.08	25.8	106.2	44.8	4.17	30.6	3.25	25.8		
				120	131.1	42.9	5.22	25.1	2.41	26.6	128.5	42.9	5.12	25.4	2.45	26.5	125.9	42.8	5.02	25.7	2.50	26.5		
		70	8	60	75.1	58.8	2.56	50.0	6.65	37.1	71.6	58.6	2.54	50.0	6.72	37.1	68.0	58.5	2.52	49.9	6.80	37.1		
				80	94.5	56.3	3.47	44.4	4.71	38.5	91.1	56.2	3.42	44.6	4.80	38.5	87.7	56.2	3.36	44.7	4.88	38.5		
				100	113.9	53.9	4.39	38.9	3.58	40.0	110.6	53.8	4.30	39.2	3.66	39.9	107.4	53.8	4.21	39.4	3.74	39.8		
				120	133.2	51.4	5.30	33.3	2.83	41.4	130.2	51.4	5.18	33.7	2.91	41.3	127.1	51.5	5.06	34.2	2.98	41.2		
70			11.5	60	75.7	61.0	2.64	52.0	6.78	39.8	72.0	60.8	2.58	52.0	6.91	39.9	68.3	60.5	2.51	51.9	7.06	39.9		
				80	95.0	58.1	3.53	46.1	4.83	41.0	91.5	57.9	3.44	46.2	4.93	41.0	87.9	57.8	3.36	46.3	5.04	41.0		
				100	114.2	55.2	4.41	40.2	3.67	42.1	110.9	55.1	4.31	40.4	3.75	42.1	107.6	55.0	4.21	40.6	3.83	42.0		
				120	133.5	52.4	5.30	34.3	2.89	43.3	130.3	52.3	5.18	34.6	2.96	43.2	127.2	52.3	5.06	35.0	3.03	43.1		
	90		8	60	76.3	63.3	2.72	54.0	6.79	42.6	72.4	62.9	2.61	54.0	7.03	42.6	68.6	62.5	2.51	53.9	7.27	42.6		
				80	95.4	59.9	3.58	47.7	4.89	43.4	91.8	59.6	3.47	47.8	5.03	43.4	88.2	59.4	3.36	47.9	5.17	43.4		
				100	114.6	56.6	4.44	41.5	3.72	44.3	111.2	56.4	4.32	41.7	3.82	44.3	107.7	56.2	4.20	41.9	3.91	44.2		
				120	133.7	53.3	5.30	35.2	2.94	45.2	130.5	53.2	5.18	35.5	3.01	45.1	127.3	53.1	5.05	35.8	3.07	45.1		
		90	11.5	60	76.5	71.8	2.76	62.4	7.62	53.9	74.1	71.5	2.65	62.5	7.92	53.9	69.8	71.2	2.54	62.5	8.21	53.9		
				80	97.6	68.2	3.63	55.8	5.50	55.6	93.5	68.1	3.51	56.1	5.69	55.5	89.3	67.9	3.39	56.3	5.87	55.5		
				100	116.7	64.7	4.51	49.3	4.20	57.3	112.8	64.6	4.37	49.7	4.34	57.2	108.9	64.6	4.23	50.2	4.47	57.1		
				120	135.7	61.1	5.38	42.7	3.33	59.0	132.1	61.2	5.23	43.4	3.43	58.8	128.4	61.3	5.08	44.0	3.54	58.7		
90			15	60	79.3	74.9	2.78	65.4	7.90	57.3	74.7	74.3	2.66	65.2	8.18	57.3	70.1	73.7	2.55	65.0	8.48	57.3		
				80	98.2	70.7	3.64	58.3	5.69	58.6	93.9	70.3	3.52	58.3	5.86	58.6	89.6	69.9	3.39	58.3	6.04	58.6		
				100	117.2	66.6	4.51	51.2	4.32	60.0	113.1	66.3	4.37	51.4	4.44	59.9	109.1	66.1	4.24	51.6	4.57	59.9		
				120	136.1	62.4	5.38	44.0	3.40	61.4	132.3	62.4	5.23	44.5	3.49	61.3	128.6	62.3	5.08	45.0	3.59	61.2		
	90		8	60	80.1	77.9	2.79	68.4	8.18	60.6	75.3	77.1	2.67	67.9	8.47	60.7	70.5	76.2	2.55	67.5	8.76	60.7		
				80	98.9	73.2	3.65	60.7	5.87	61.7	94.4	72.5	3.52	60.5	6.04	61.7	89.9	71.9	3.39	60.3	6.21	61.7		
				100	117.6	68.4	4.52	53.0	4.44	62.7	113.5	68.0	4.38	53.1	4.56	62.7	109.3	67.6	4.24	53.1	4.68	62.7		
				120	136.4	63.7	5.38	45.3	3.47	63.8	132.6	63.5	5.23	45.7	3.56	63.7	128.7	63.3	5.08	46.0	3.65	63.7		
		90	11.5	60	81.9	84.9	2.85	75.2	8.73	70.6	76.5	82.8	3.51	70.8	7.21	71.7	71.1	80.7	4.36	66.5	5.68	72.9		
				80	100.6	80.1	3.71	67.4	6.32	72.6	95.6	78.7	4.09	64.8	5.70	73.3	90.6	77.4	4.47	62.2	5.08	74.0		
				100	119.4	75.2	4.58	59.6	4.82	74.6	114.8	74.7	4.68	58.7	4.68	74.9	110.2	74.1	4.77	57.8	4.55	75.1		
				120	Operation not recommended																			
90			15	60	82.3	86.6	2.86	76.9	8.89	74.9	76.8	84.1	3.32	73.5	7.91	75.6	71.2	81.6	3.38	70.1	7.08	76.4		
				80	101.1	81.8	3.72	69.0	6.43	76.5	95.9	80.2	3.84	67.1	6.32	76.9	90.8	78.6	3.95	65.1	5.83	77.3		
				100	119.8	76.9	4.59	61.2	4.91	78.0	115.1	76.2	4.56	60.7	4.90	78.1	110.4	75.5	4.52	60.1	4.90	78.3		
				120	Operation not recommended																			
	90		8	60	82.8	88.3	2.86	78.5	9.05	79.2	77.0	85.4	2.73	76.1	9.19	79.5	71.3	82.5	2.59	73.7	9.33	79.9		
				80	101.5	83.4	3.73	70.7	6.55	80.3	96.2	81.6	3.58	69.3	6.68	80.5	91.0	79.7	3.43	68.0	6.81	80.7		
				100	120.2	78.6	4.61	62.8	5.00	81.4	115.4	77.7	4.44	62.6	5.14	81.4	110.6	76.9	4.26	62.3	5.28	81.4		
				120	Operation not recommended																			

FUENTE: www.waterfurnace.com

ANEXO H: Resultados de velocidades y pérdidas de cargas en el fluido

Esta tabla presenta los valores de pérdida de carga de agua más 20% de metanol en 100 metros de tubería HDPE SDR 11 de 3/4", 1", 1 1/4", 1 1/2 "y 2" con diversos caudales.

Pérdidas de Carga en m.c.a. de Fluido: Agua + 20% Metanol, en tubos HDPE de 100 metros											
Caudal		Pérdida en:	Velocidad	Pérdida en:	Velocidad	Pérdida en:	Velocidad	Pérdida en:	Velocidad	Pérdida en:	Velocidad
(m³/hr.)	(L / s.)	3/4"	(m./s.)	1"	(m./s.)	1 1/4"	(m./s.)	1 1/2"	(m./s.)	2"	(m./s.)
0,540	0,15	2,383	0,459	↑ ↓ 0°C, Re= 2572							
0,576	0,16	2,846	0,490	↑ ↓ -2-1°C, Re= 2.522-2.628							
0,612	0,17	2,943	0,520	↑ ↓ -3°C, Re= 2.569							
0,648	0,18	3,252	0,551	↑ ↓ -4°C, Re= 2.607							
0,684	0,19	3,575	0,581	1,108	0,355	↑ ↓ 0°C, Re= 2.546					
0,720	0,20	3,911	0,612	1,213	0,374	↑ ↓ -1°C, Re= 2.568					
0,756	0,21	4,260	0,642	1,321	0,393	↑ ↓ -2°C, Re= 2.587					
0,792	0,22	4,622	0,673	1,433	0,411	↑ ↓ -3°C, Re= 2.599					
0,828	0,23	4,996	0,704	1,549	0,430	↑ ↓ -4°C, Re= 2.603					
0,864	0,24	5,382	0,734	1,669	0,449	0,580	0,288	↑ ↓ 0°C, Re= 2.575			
0,900	0,25	5,781	0,765	1,792	0,467	0,623	0,300	↑ ↓ -1°C, Re= 2.570			
0,936	0,26	6,192	0,795	1,920	0,486	0,667	0,311	↑ ↓ -2°C, Re= 2.564			
0,972	0,27	6,615	0,826	2,051	0,505	0,713	0,323	↑ ↓ -3°C, Re= 2.553			
1,008	0,28	7,050	0,857	2,186	0,523	0,760	0,335	↑ ↓ -4°C, Re= 2.537			
1,044	0,29	7,497	0,887	2,324	0,542	0,808	0,347				
1,080	0,30	7,955	0,918	2,466	0,561	0,857	0,359	0,295	0,229	↑ ↓ 0°C, Re= 2.572	
1,116	0,31	8,425	0,948	2,612	0,579	0,908	0,371	0,312	0,237	↑ ↓ -1°C, Re= 2.546	
1,152	0,32	8,907	0,979	2,761	0,598	0,960	0,383	0,330	0,245	↑ ↓ -2°C, Re= 2.522	
1,188	0,33	9,400	1,010	2,914	0,617	1,013	0,395	0,349	0,252	↑ ↓ -2°C, Re= 2.601	
1,224	0,34			3,070	0,635	1,067	0,407	0,367	0,260	↑ ↓ -3°C, Re= 2.569	

FUENTE: Carlos Muñoz Vergara, Cálculo pérdidas de carga, 2009

Las pérdidas ideales según ASHRAE, en 100 metros de tubería HDPE se presentan de color celeste.

ANEXO I: Presupuesto de los sistemas de climatización.**Sistema solar térmico**

Costo inicial							
Item	Detalle	Unidad	Costo unitario	Cant.	Costo Total	Fuente consulta	Fecha
Artefactos para sistema solar							
Panel solar plano	KBB K420LC	Un.	408000	6	\$ 2.448.000	ANWO	nov-14
Kit montaje	K420LC inclinado	Un.	68068	6	\$ 408.408	ESOL	nov-14
Acumulador	100 litros	Un.	178500	1	\$ 178.500	ESOL	nov-14
Grupo hidráulico	Anwo	Un.	109480	1	\$ 109.480	ESOL	nov-14
Mano de obra							
Instalación del sistema	conexión de sistema	Gl	80000	1	\$ 80.000	Gudinal toledo	nov-14
Instalación eléctrica	controladores automatizados	Gl	50000	1	\$ 50.000	Sebastián Godoy	nov-14
Adicional							
Sistema de apoyo	Caldera a gas	Gl	500000	1	\$ 500.000	isoingeniería	nov-14
Total					\$ 3.774.388		

Fuente: Elaboración propia.

Sistema de climatización geotérmico

Costo inicial							
Item	Detalle	Unidad	Costo unitario	Cant	Costo Total	Fuente consulta	Fecha
Artefactos para sistema geotérmico							
Bomba de calor Geotérmico	Water furnace NSW018	Un.	1950500	1	\$ 1.950.500	Denis Schiavi, Uniclíma internacional, Miami Florida	nov-14
Bomba de circulación	R2C 40-120	Un.	350000	1	\$ 350.000	ANWO	nov-14
fitting		Gl	3% Total	1	\$ 83.682		
Dispositivo de regulación		Gl	2% Total	1	\$ 55.788		
Tuberías HDPE	1 pulgada	m	2000	112	\$ 224.000		
Movimiento de tierra							
Excavación trincheras	Retroexcavadora	Hr	17850	8	\$ 142.800	Jorge Soto (Contratista)	nov-14
Mano de obra							
Instalación de tuberías	colocación en trincheras	Gl	40000	1	\$ 100.000	Gudinal Toledo	nov-14
Instalación de bomba de calor	unión a dispositivos	Gl	60000	1	\$ 80.000	Gudinal Toledo	nov-14
Instalación eléctrica	Para bomba de calor	Gl	200000	1	\$ 200.000	Sebastián Godoy	nov-14
Total					\$ 3.186.770		

Fuente: Elaboración propia.