



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

División de Posgrado de la Facultad de Ingeniería
Mecánica

“Dimensionamiento de un intercambiador de calor geotérmico vertical para aplicaciones en bombas de calor”

Tesis que para obtener el grado de:
Maestro en ciencias en Ingeniería Mecánica

Presenta

Ing. Daniel Alcantar Martínez

Asesor

Dr. Crisanto Mendoza Covarrubias

Coasesor

Dr. J. Jesús Pacheco Ibarra

Morelia Michoacán, Agosto de 2016

Dedicatoria.

A la persona que no conforme con darme la vida, me ha entregado la suya. Mi madre.

A la persona que siempre me motivo en la vida, a no ir para atrás bajo ninguna adversidad. Mi padre.

Daniel.

Agradecimientos.

A mi familia amigos, Margarita, Jorge, Patricia, Martin, y Oskar, por estar siempre a mi lado.

A mi compañero de tesis Luis, Fer, por confiar en mí en todo momento. Gracias amigos.

Al Dr. Crisanto Mendoza Covarrubias y al Dr. J. Jesús Pacheco Ibarra por su asesoría. Al Dr. Gilberto Solorio Díaz, Dr. Carlos Rubio Maya y al Dr. Sergio Ricardo Galván González por el tiempo dedicado a la revisión de este trabajo. Al M.I Oskar Javier González Pedraza por su apoyo y participación en la realización del presente trabajo.

Al Centro Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico brindado durante este posgrado.

Al Posgrado de la facultad de Ingeniería Mecánica por darme la oportunidad de continuar mi superación como persona y profesional.

Al Grupo de Eficiencia y Energía Renovable (GREEN-ER), por la oportunidad de colaborar y ser parte de distinguido grupo.

Y sobre todo a Dios, por darme la oportunidad.

Resumen

A lo largo de este trabajo se abordará el estudio del comportamiento del calor geotérmico del subsuelo para aplicaciones en sistema de clima controlado para el uso en dispositivos de bombas de calor, en este sentido se realizó la evaluación térmica de un intercambiador de calor vertical, del cual se conocen las principales variables que intervienen en el fenómeno de transferencia de calor. Analizando para estos la forma en la cual se presenta la transferencia de calor a lo largo de los dispositivos de los intercambiadores de calor insertados en el subsuelo. Se verificaron los diferentes arreglos de los intercambiadores de calor geotérmico para identificar sus ventajas y desventajas, para después lograr el dimensionamiento de los intercambiadores de calor y evaluar la manera de llevar a cabo la instalación de este tipo de sistemas, así como el cálculo de las cargas térmicas de refrigeración y de calefacción en un modelo de una casa-habitación, esto con la construcción de un modelo virtual elaborado en el software Autodesk Revit 2015 empleando el método BIM, para el dimensionamiento del intercambiador se determinó la longitud requerida para el sistema mediante el uso de un código programado y basado en la IGSHA y con la ayuda del software comercial GLHPro. El valor de la longitud resultante del intercambiador de calor vertical, arrojó una longitud de 240ft, valor que brinda la demanda de energía en modo calefacción y refrigeración. Debido a la investigación, además se obtuvo información valiosa del efecto provocado por el flujo de trabajo en el dimensionamiento del intercambiador, parámetro importante el cual se puede trabajar de forma más precisa evaluando concentraciones de diversos fluidos y trabajando con otras velocidades de flujo para obtener información adicional.

Palabras Clave- Intercambiador de Calor Geotérmico, Bomba de Calor Geotérmica, Vivienda de Interés Social, Método de Información de la Construcción, Cargas Térmicas.

Abstract

Throughout this work, we made the study of the behavior of geothermal heat from underground for applications in system controlled climate for use in devices heat pumps systems. First did the evaluation of the performance of a vertical heat exchanger, the which the main variables involved in the phenomenon of heat transfer are known. Analyzing how the heat is transferred along the heat exchangers which is inserted in the subsoil. Analyze different arrangements exchangers geothermal heat to identify their advantages and disadvantages, then achieve the design of heat exchangers and assess how to carry out the installation of such systems and thermal loads of cooling and heating at model of a house-room, that with the construction of the virtual model was developed in the AutodeskRevit 2015 software using the BIM method. For sizing geothermal exchanger length required for the system was determined by the IGSHPA rules and with the help of commercial software GLHPro. The value of the resulting length for the vertical heat geothermal exchanger, threw a length of 240ft, a value that provides the energy demand for heating and cooling mode. Because research also we find valuable information on the effect caused by the workflow in the geothermal exchanger length, an important parameter which can work more accurately assessing concentrations of various fluids and working with other flow rates to support the dimensioning the geothermal heat exchangers

Keywords; Geothermal Heat Exchanger, Geothermal Source Heat Pumps, Social Interest Housing, Building Information Method, Thermal Loads.

Nomenclatura

GSHP Geothermal Source Heat Pumps

GSHE Geothermal Source Heat Exchanger

VGHEX Vertically Geothermal Heat Exchanger

HGHEX Horizontally Geothermal Heat Exchanger

IGSHPA International Ground Source Heat Pumps Association

LTGE Low Temperature Geothermal Energy

LGCC Ley General de Cambio Climático

RHP Reversible Heat Pump

EHP Electrical Heat Pump

SMMLV Salario Mínimo Mensual Legal Vigente.

VIS Vivienda de Interés Social. (Casa de Interés Social)

BIM (Building Information Modeling)

GHEX Intercambiador de Calor Geotérmico.

BCG Bomba de Calor Geotérmica.

COP Coeficiente de Operación.

RITE Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios.

T_G Temperatura Promedio del Terreno a lo Largo del Pozo (F).

$L_{H,T}$ Longitud Total de Diseño del Pozo en Modo Calefacción (ft).

$L_{C,T}$ Longitud Total de Diseño del Pozo en Modo Refrigeración (ft).

$L_{H,B}$ Longitud Individual de Diseño del Pozo en Modo Calefacción (ft).

$L_{C,B}$ Longitud Individual de Diseño del Pozo en Modo Refrigeración (ft).

HC_D Capacidad Calorífica de la Bomba a Condiciones de Diseño en Modo Calefacción (Btu/hr).

COP_D Coeficiente de Operación en Modo Calefacción.

- R_B Resistencia Térmica del Pozo (hr ft F/Btu).
- R_G Resistencia Térmica de los Alrededores del Pozo en Estado Estacionario (hr ft F/Btu).
- F_H Fracción del Periodo de Ejecución en Modo Calefacción (Adimensional).
- TC_D Capacidad Calorífica de la Bomba a Condiciones de Diseño en Modo Refrigeración (Btu/hr).
- EER_D Coeficiente de Operación en Modo Refrigeración.
- F_C Fracción del Periodo Ejecución en Modo Refrigeración (Adimensional).
- k_G Conductividad Térmica del Suelo al Rededor del Pozo (Btu/hr ft F).
- $D_{G,O}$ Diámetro del Terreno Afectado por la Trasferencia de Calor en (ft).
- D_B Diámetro del Pozo en (ft), (in).
- k_{Grout} Conductividad Térmica del Gruteo (Btu/hr ft F).
- S_G Factor de Forma del Pozo Adimensional.
- $D_{P,O}$ Diámetro Exterior de la Tubería (in).
- R_{Grout} Resistencia Térmica Debido al Gruteo y la Posición de la Tubería en el Pozo (hr ft F/Btu).

Índice

Resumen	IV
Abstract.....	V
Nomenclatura.....	VI
Lista de figuras y tablas	XII
1 Capítulo I. Introducción.....	16
1.1 Motivación del trabajo.....	16
1.2 Objetivo de la investigación	17
1.2.1 Objetivos específicos.....	17
1.3 Hipótesis	17
2 Capítulo II. Antecedentes	18
2.1 Recursos energéticos de la tierra.	18
2.2 Transformación de la energía solar sobre la tierra.....	20
2.3 Clasificación de las fuentes energéticas de la tierra.	20
2.3.1 Energía solar.	22
2.3.2 Energía eólica.	23
2.3.3 Energía del oleaje.	24
2.3.4 Energía hidráulica.....	24
2.3.5 Energía de la biomasa.....	26
2.3.6 Energía geotérmica.	27
2.3.7 Energía geotérmica panorama nacional.....	34
3 Capítulo III. Bombas de calor geotérmicas	38
3.1 Bomba de calor.	38
3.1.1 Principio de funcionamiento.....	38
3.2 Bomba de calor geotérmica.	39
3.3 Bombas de calor geotérmicas panorama mundial.	40
3.4 Clasificación de bombas de calor.	43

3.4.1 Bomba de calor de agua-agua.....	43
3.4.2 Bomba de calor agua aire.	43
3.4.3 Bomba de calor aire-aire.....	43
3.4.4 Otras variantes de bombas.	43
3.5 Intercambiadores de calor geotérmicos.	44
3.5.1 Intercambiador de calor tipo vertical.	44
3.5.2 Intercambiador de calor tipo horizontal.....	46
3.5.3 Intercambiador de calor Slinky.....	47
4 Capitulo IV. Modelado Mediante técnica BIM.	51
4.1 Software que pueden emplearse para el uso del método BIM.....	52
5 Capítulo V. Dimensionamiento de intercambiador de calor mediante metodología IGHSPA.	55
5.1 Caso de estudio.	55
5.1.1 Casa de interés social.....	55
5.2 Construcción del modelo en AutodeskRevit 2015.	59
5.3 Cargas de enfriamiento.	62
5.3.1 Ganancia de Calor del Espacio.....	62
5.3.2 Formas de ganancia de calor al espacio.....	62
5.4 Estimación de la carga de acondicionamiento del recinto.....	64
5.4.1 Cargas exteriores.	64
5.5 Cargas internas.....	65
5.5.1 Personas.	65
5.5.2 Iluminación.....	65
5.5.3 Utensilios y herramientas.	65
5.5.4 Aparatos electrónicos y equipos informáticos.....	66
5.5.5 Motores eléctricos.....	66

5.5.6	Tuberías de conducción de fluidos.	66
5.5.7	Diversas fuentes de calor.	66
5.6	Diferencia entre el cálculo de las cargas de refrigeración y la de calefacción.	66
5.6.1	Cargas interiores.	66
5.6.2	Carga sensible.	67
5.6.3	Potencia del generador de calor.	67
5.6.4	Inercia térmica de cerramientos y forjados.	67
5.7	Modelos de cargas térmicas y la selección del equipo de acondicionamiento de aire (equipo de bomba de calor geotérmicas).	68
5.7.1	Simplificaciones previas.	68
5.7.2	Ganancias por insolación a través de las ventanas de la fachada.	69
5.7.3	Transmisión de potencia térmica a través de la fachada.	70
5.7.4	Transmisión de potencia térmica a través de paredes interiores, techo y suelo. ...	71
5.7.5	Ganancias térmicas generadas en el interior.	72
5.7.6	Ganancias totales por transmisión y cargas internas.	74
5.7.7	Cálculo del aire de renovación y de impulsión.	75
5.8	Calculo de las cargas de los valores de las cargas térmicas en modo calefacción y enfriamiento.	77
6	Capítulo VI. Análisis Matemático Building Information Method (BIM).	85
6.1	Determinación de la longitud el intercambiador de calor geotérmico, tipo vertical.	95
6.2	Dimensionamiento del intercambiador de calor geotérmico vertical.	98
7	Capitulo VII. Análisis de resultados.	102
8	Conclusiones.	106
9	Trabajos a futuro.	108
10	REFERENCIAS.	109
11	ANEXOS.	112
11.1	Anexo A.	112

11.2 Anexo B	115
11.3 Tablas del modelado en Autodesk Revit 2015. Cálculo de las cargas térmicas.....	117

Lista de figuras y tablas

Figura 1 Esquema de la división de los estratos de la tierra.....	18
Figura 2 Fuentes energéticas de la tierra.	19
Figura 3 Almacenamiento de energía solar mediante el proceso de fotosíntesis.	19
Figura 4 Distribución de energía solar incidente en la tierra.....	20
Figura 5 Clasificación de las fuentes energéticas.....	21
Figura 6 Evolución de la capacidad instalada de energía geotérmica en el mundo 1950-2015 (Izquierda, MW) y producción de electricidad (derecha, GW/Hr).....	30
Figura 7 Evolución y participación de las energías renovables en la generación de electricidad, en México 2003–2013.	35
Figura 8 Distribución de la cantidad de unidades instaladas de bombas de calor geotérmicas en países de Europa.	41
Figura 9 Esquema del sistema instalado en Los Azufres México.	42
Figura 10 Esquema de un intercambiador de calor tipo vertical.	45
Figura 11 Esquema de funcionamiento de un intercambiador de calor geotérmico tipo vertical.	46
Figura 12 Esquema de un intercambiador de calor geotérmico tipo horizontal.	46
Figura 13 Esquema de la configuración de un intercambiador de calor geotérmico tipo Slinky.	48
Figura 14 Flujo en serie/paralelo en configuración horizontal.....	49
Figura 15 Flujo en serie/paralelo en configuración vertical.....	49
Figura 16 Vista de la interface de trabajo de Autodesk Revit 2015.....	54
Figura 17 Modelo de una casa de interés social [45].	57
Figura 18 Vista isométrica de modelo virtual de la casa de interés social.	58
Figura 19 Vista en planta de la casa de interés social, donde se identifican los espacios correspondientes de la edificación.....	58

Figura 20 Levantamiento de los muros perimetrales de la casa de interés social.	59
Figura 21 Representación de la ventana de la Casa de Interés social.....	61
Figura 22 Esquema del proceso de cálculo de las cargas térmicas de un recinto determinado.	68
Figura 23 Diagrama implementado para el cálculo de las cargas térmicas del mobiliario en AutodeskRevit15.	77
Figura 24 Construcción del modelo en Rvit2105.....	78
Figura 25 Asignación de las propiedades del espacio de la sala.	78
Figura 26 Propiedades de análisis de los componentes que integran el modelo de análisis. ...	79
Figura 27 Asignación de las propiedades del comedor familiar.	79
Figura 28 Asignación de las propiedades del dormitorio.....	80
Figura 29 Asignación de las propiedades del dormitorio principal.....	80
Figura 30 Asignación de propiedades de la zona continua de comedor.....	81
Figura 31 Asignación de propiedades de pasillo de vivienda.	81
Figura 32 Asignación de la zona donde se realiza el estudio.	82
Figura 33 Distribución del área correspondiente en porcentaje a cada espacio de la casa habitación.	83
Figura 34 Distribución de las cargas térmicas en la casa habitación de las cargas de refrigeración.	84
Figura 35 Distribución de las cargas térmicas en la casa habitación de las cargas de calefacción.	84
Figura 36. Producción anual de CO ₂ de la vivienda.....	86
Figura 37. Costos anualizados de uso de energía eléctrica.....	86
Figura 38. Uso de combustibles para agua caliente.....	87
Figura 39. Uso de energía eléctrica del complejo.	87
Figura 40. Promedio mensual de las cargas térmicas en modo calor.	88

Figura 41. Promedio mensual de las cargas térmicas en modo frío.	89
Figura 42. Consumo mensual de combustible.....	89
Figura 43. Consumo mensual de energía eléctrica del complejo.	90
Figura 44. Consumo pico de energía eléctrica.	90
Figura 45. Distribución anual de velocidades del aire incidente en el complejo.	91
Figura 46. Distribución anual de incidencia del aire incidente en el complejo.....	92
Figura 47. Distribución mensual de incidencia del aire sobre la edificación.	92
Figura 48. Datos para el diseño mensual.....	93
Figura 49. Temperatura anual.....	93
Figura 50. Promedio diario del clima y cantidad de carga térmica.	94
Figura 51. Humedad anual del ambiente.	94
Figura 52 Esquema de sistema de climatización usando bomba de calor geotérmica.	101

Lista de tablas

Tabla 1 Potencial energético de la biomasa.....	27
Tabla 2 Capacidad total instalada de energía geotérmica en el mundo 1950-2010.	29
Tabla 3 Capacidad total instalada de energía geotérmica en el mundo 2010-2015.	30
Tabla 4 Top 5 de los principales países productores de energía geotérmica nivel mundial.....	31
Tabla 5 Clasificación de los yacimientos geotérmicos y su principal aplicación.	32
Tabla 6 Requerimientos de una casa de interés social [44].....	56
Tabla 7 Propiedades físicas del material de construcción de los muros.....	59
Tabla 8 Propiedades térmicas del material de construcción de los muros.	60
Tabla 9 Propiedades térmicas de las ventanas de la casa habitación.....	60
Tabla 10 Aporte de calor por componentes misceláneos e iluminación.	61
Tabla 11. Propiedades y localización geográfica del caso de estudio.	69

Tabla 12 resultado del cálculo de las cargas de la casa de interés social.	82
Tabla 13 Tabla de datos de cargas térmicas de la casa interés social.....	83
Tabla 14 parámetros y resultados de las condiciones de operación de la bomba de calor con EWTmin 30 °F en modo calefacción.	102
Tabla 15 Parámetros y resultados de las condiciones de operación de la bomba de calor con EWTmin 40 °F en modo calefacción.	103
Tabla 16 Parámetros y resultados de las condiciones de operación de la bomba de calor con EWTmin 50 °F modo calefacción	103
Tabla 17 Parámetros y resultados de las condiciones de operación de la bomba de calor con EWTmax DE 70 °F en modo refrigeración.....	104
Tabla 18 Parámetros y resultados de las condiciones de operación de la bomba de calor con EWTmax 90 °F EN modo refrigeración.....	104
Tabla 19 Parámetros y resultados de las condiciones de operación de la bomba de calor con EWTmax 110 °F EN modo refrigeración.....	105

1 Capítulo I. Introducción

1.1 Motivación del trabajo.

El cambio climático es a juicio de los expertos, uno de los mayores retos que viene afrontando la humanidad. Esto significa, que todos los actores públicos y privados de la sociedad global debemos trabajar juntos para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y adaptarnos territorial y sectorialmente a los potenciales efectos, de modo que construyamos un futuro próspero y sostenible [1].

Hoy en día, la crisis energética se ha convertido en un problema mundial. Para resolver el problema causado por la escasez de energía, se ha prestado más atención a la energía proveniente de fuentes renovable, capaces de suplir esa demanda en los últimos años. Recientemente, el interés de la investigación en sistemas de bomba de calor geotérmica (GSHP) ha crecido rápidamente en muchos países, esto debido a las características amigables con el ambiente y el entorno. El intercambiador de calor geotérmica de tubo en U (GSHE) es un componente clave en los sistemas geotérmicos GSHPs. Generalmente, existen dos arreglos para la disposición de un intercambiador de calor de tubo en U, arreglos horizontales y verticales. Los intercambiadores de calor vertical de tubo en U, son los que ofrecen un mayor rendimiento energético que los de tipo horizontal, se utilizan ampliamente en las instalaciones, debido a un campo de temperatura constante en las profundidades en las que suele instalarse [2]. Trabajar con sistemas cuya fuente de energía sea renovable ayuda al medio ambiente en la minimización del llamado efecto invernadero y la emisiones de CO_2 y demás gases que dañan la atmosfera [3], siendo estos sistemas amigables con el ambiente, queda por aclarar que estos sistemas son relativamente de bajo costo, y que el periodo de recuperación de la inversión es aceptable para poder llegar a ser una alternativa en el mercado de los sistemas de clima controlado. Como esta parte de la energía geotérmica, no ha sido tan explotada, siendo una alternativa más de aplicación. Los sistemas de bomba de calor geotérmico usan únicamente la inercia térmica del subsuelo y no es necesario la extracción de fluido de la corteza, es un área a la cual se le debería dar más importancia para su exploración, diseñando e investigando el potencial del territorio nacional para la generación

de conocimiento en el área, así como para determinar el uso en aplicaciones directas, como calefacción y acondicionamiento de espacio públicos, residenciales e industriales.

1.2 Objetivo de la investigación

Analizar el comportamiento térmico del subsuelo y utilizarlo como sumidero- reservorio de energía para el dimensionamiento de un intercambiador de calor tipo vertical, para el uso en bombas de calor en un espacio de casa-habitación para implementación en sistemas de climatización.

1.2.1 Objetivos específicos

- Analizar el comportamiento térmico de un intercambiador de calor vertical con el subsuelo.
- Realizar el dimensionamiento de un intercambiador de calor tipo vertical para una casa residencial mediante la metodología IGSHPA.
- Desarrollar un modelo conceptual de un sistema de bombas de calor, con un intercambiador de calor geotérmico.

1.3 Hipótesis

Es posible utilizar el subsuelo como un sumidero-reservorio de energía que pueda satisfacer las necesidades de carga térmica, para el uso en sistemas de clima controlado mediante bombas de calor, realizando la transferencia de calor desde o hacia el subsuelo por medio de un intercambiador de calor geotérmico vertical.

2 Capítulo II. Antecedentes

2.1 Recursos energéticos de la tierra.

La energía de la Tierra es un concepto relativo, puesto que ésta fluye continuamente hacia dentro y hacia fuera del planeta. En la Tierra, la principal fuente de energía es la nuclear (la contenida en los núcleos de la materia que la conforma, **Figura 1**), seguida de la electromagnética (la que llega desde el Sol) y finalmente la gravitacional (debida a la interacción Tierra-Luna-Sol).

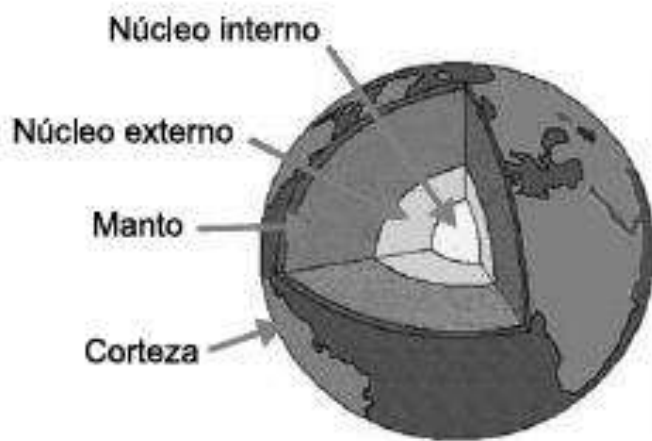


Figura 1 Esquema de la división de los estratos de la tierra

De todas estas capacidades energéticas de la Tierra, sólo unas pocas están disponibles con los conocimientos tecnológicos actuales para sus habitantes y en este sentido la más importante son (**Figura 2**) la energía electromagnética procedente del Sol (energía solar) la energía nuclear de algunos (pocos) elementos radioactivos (uranio) presentes en la Tierra y la energía gravitatoria de la interacción Tierra-Sol-Luna (aprovechada indirectamente a partir del movimiento que produce sobre las masas de agua (mareas) [4].

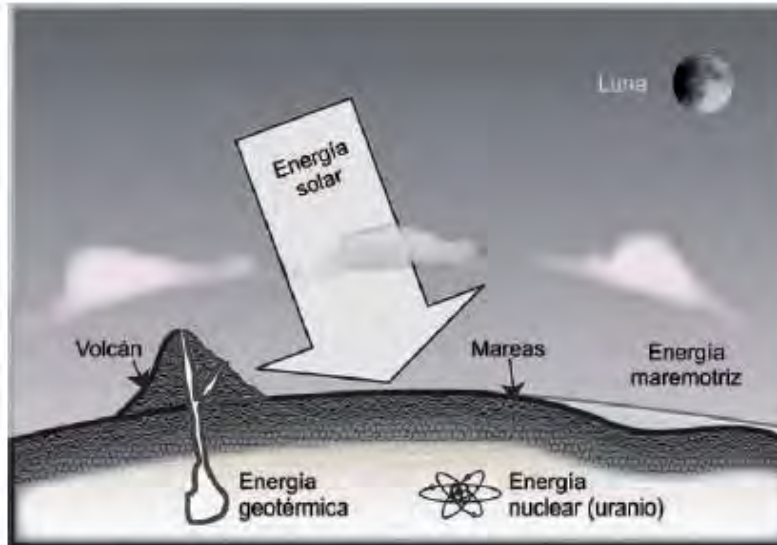


Figura 2 Fuentes energéticas de la tierra.

Existen diversos tipos de plantas, de las cuales las hojas verdes captan una pequeña cantidad de radiación solar y la almacenan químicamente por el mecanismo de fotosíntesis (**Figura 3**).

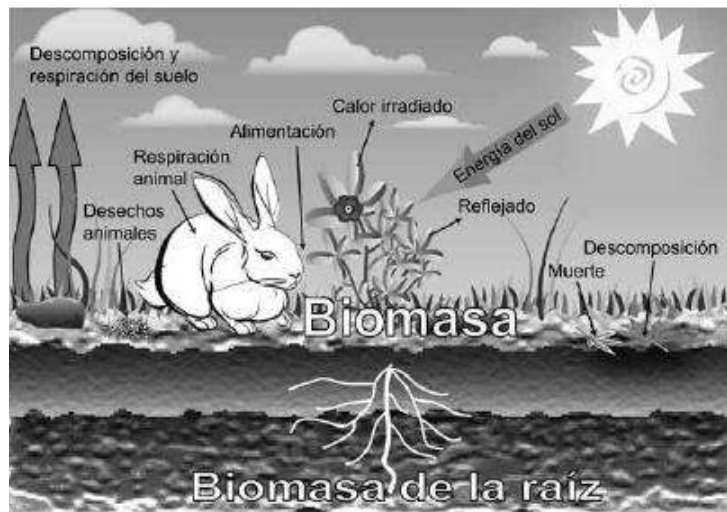


Figura 3 Almacenamiento de energía solar mediante el proceso de fotosíntesis.

Esta energía almacenada puede liberarse por oxidación (combustión) a un ritmo aproximadamente igual al de su almacenamiento. Sin embargo, una fracción diminuta ha sido almacenada a lo largo de millones de años, al quedar enterrada en condiciones de oxidación

y desintegración incompletas, formando los combustibles fósiles: carbón, petróleo, gas, pizarras bituminosas, arenas asfálticas [4].

2.2 Transformación de la energía solar sobre la tierra.

La energía que llega del Sol a la Tierra (una ínfima parte de la que éste irradia al espacio) da lugar a una serie de fenómenos sobre la atmósfera, el agua y la propia tierra, que finalmente conforman los diversos tipos de energías que los humanos podemos usar. Sobre la Tierra incide una energía solar de 1, 559,280 TWh en un año, lo cual es aproximadamente 15,000 veces más que la consumida (en la actualidad) en todo el planeta en ese mismo período de tiempo.

De ella, el 30% se refleja al espacio y no llega a la superficie terrestre (467.784 TWh); el 50% se absorbe, calentando la superficie terrestre, siendo irradiada de nuevo al espacio (799.640 TWh). El 20% restante (311.856 TWh) alimenta el ciclo hidrológico, evaporando el agua (19,76%, equivalente a 296.263 TWh), origina los vientos (0,18%, equivalente a 2.800 TWh), una parte de este viento se transfiere a la superficie de las aguas formando las olas, y el resto, (0,06% equivalente a 935,5 TWh) alimenta los mecanismos de fotosíntesis del que en último extremo dependen todos los combustibles fósiles, los cuales constituyen una pequeñísima porción de este 0,06% y es la única energía solar incidente que queda retenida en la tierra temporalmente (**Figura 4**).

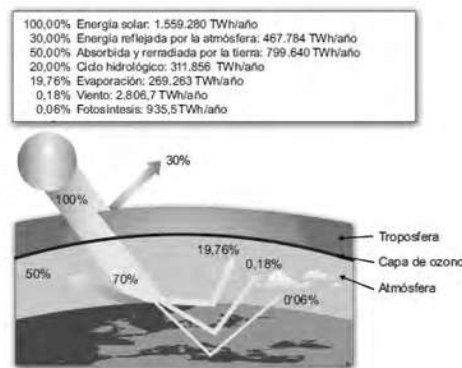


Figura 4 Distribución de energía solar incidente en la tierra.

2.3 Clasificación de las fuentes energéticas de la tierra.

Las fuentes de energías disponibles en la Tierra [4], clasificadas por tipos y por duración, son las que se muestran en la **Figura 5**.

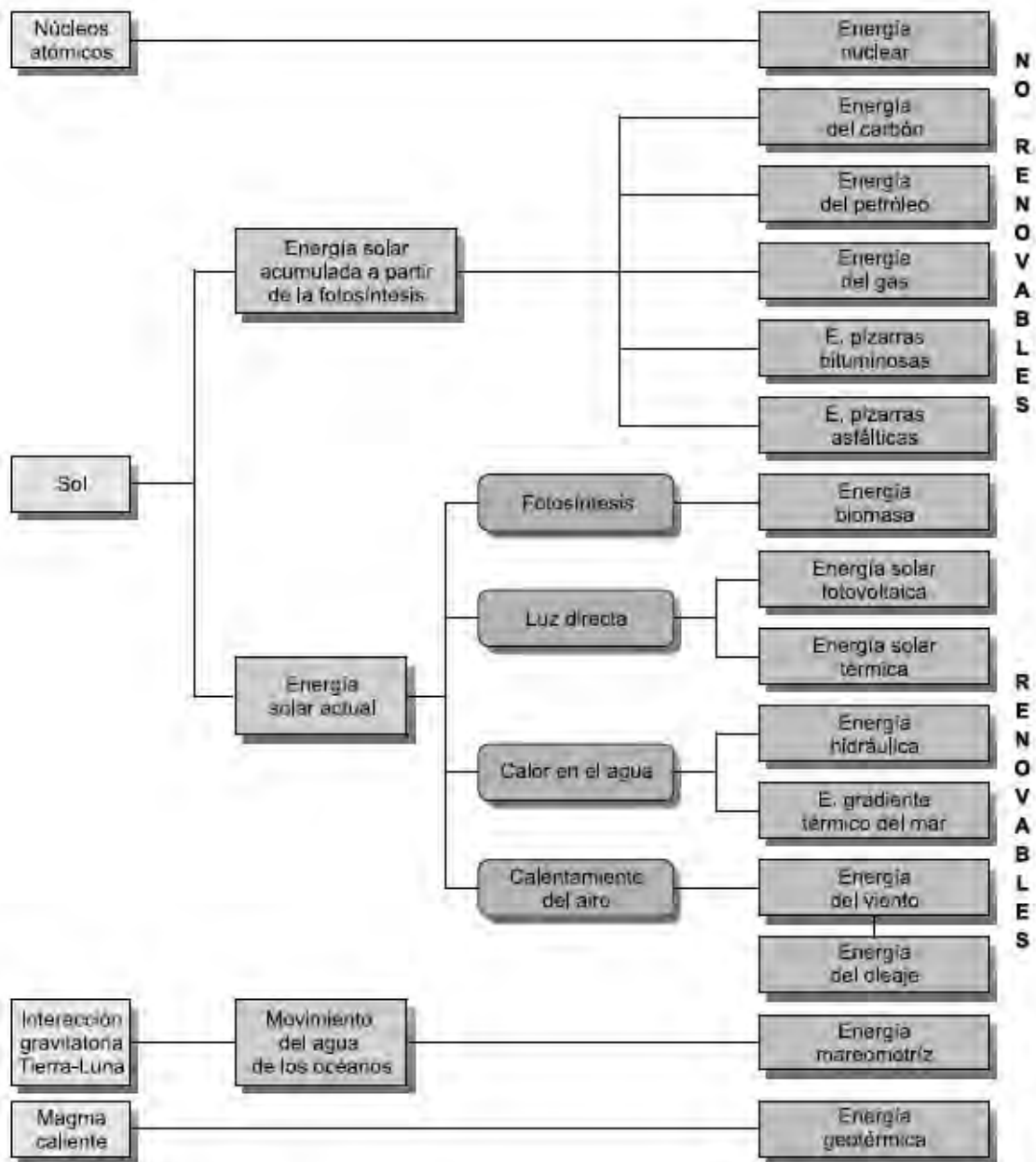


Figura 5 Clasificación de las fuentes energéticas.

2.3.1 Energía solar.

Es la energía radiante procedente del Sol y que llega a la superficie de la Tierra (infrarrojo, luz visible y ultravioleta).

2.3.1.1 Potencial energético.

Es variable, en función de la hora del día, época del año y situación atmosférica: día noche, estación del año (altura del sol sobre el horizonte), nubes, nieblas, smog, calimas, etc. En teoría, la radiación media incidente por m^2 fuera de la atmósfera es de $1.4 \text{ kW}/m^2$. En la práctica y en una zona como Canarias, la energía solar anual, por m^2 , es aproximadamente de $2,000 \text{ kWh}/m^2$ (con un promedio de 3,000 h. de insolación, equivalente a $4, 200,000 \text{ kJ}/m^2\text{año}$ o $1, 711,488 \text{ kcal}/m^2\text{año}$ o $478,5 \text{ kcal}/m^2\text{día}$).

2.3.1.2 Formas de aprovechamiento.

Los métodos de aprovechamiento pueden englobarse en dos grandes grupos: térmicos y fotovoltaicos. Los primeros transforman la energía solar en energía térmica (calentando aire, agua u otras sustancias). Los segundos transforman la energía solar en energía eléctrica, aprovechando el efecto fotovoltaico, en las denominadas «células solares» o «fotovoltaicas».

2.3.1.3 Reservas.

La energía total que llega a la Tierra procedente del Sol es de $1, 559,280 \text{ TWh}$ en un año, de los cuales alrededor de un 1% podrían ser utilizables. La potencia solar aprovechable en la Tierra supera los $1,000 \text{ TW}$. Aun cuando la energía solar se distribuye por todo el planeta, es superior en las zonas ecuatoriales y tropicales (banda +/- 35 o alrededor del ecuador) e inferior en las zonas polares. Además, depende mucho de las condiciones climatológicas (nubes). El suroeste de Estados Unidos, el Sahara y Arabia Saudita, Atacama en Chile y el centro de Australia son las zonas de mayor potencial.

2.3.1.4 Producción y consumo.

Por las características de esta energía, la producción y el consumo son idénticos, tanto en el tiempo como en el espacio (no se transporta de una zona a otra). En todo el mundo hay instalados más de 300 MWe (en centrales solares fotovoltaicas), destacando 110 MWe en Japón, $60,5 \text{ MWe}$ en Estados Unidos y $38,6 \text{ MWe}$ en la Unión Europea (de ellos, sólo 8 MWe en España, aun cuando la previsión para el año 2040 es de 135 MWe).

2.3.1.5 Duración.

Ilimitada

2.3.2 Energía eólica.

La energía eólica no es más que la energía cinética de una masa de aire en movimiento. Su origen se encuentra en la existencia sobre la Tierra de masas de aire a diferentes temperaturas, originadas por diferentes intensidades de radiación solar, a nivel global o local, las cuales producen corrientes ascendentes y descendentes, formando anillos de circulación del aire. La energía eólica es, por consiguiente, un pequeño porcentaje de la energía solar incidente sobre el planeta.

2.3.2.1 Potencial energético.

Es variable, en función de la hora del día, del día del año, de la situación geográfica general y de la topografía local. Por razones técnicas, es imposible extraer toda la energía cinética existente en una corriente de aire. A título de ejemplo, en un viento de 8 m/s de media anual, pueden extraerse alrededor de 2,800 kWh por m² y año. Un viento de 13 m/s, a través de una superficie de 150 m², tiene una potencia de 198 kW.

2.3.2.2 Formas de aprovechamiento.

El aprovechamiento de esta fuente energética es su conversión directa en energía mecánica a través del giro del eje de la turbina eólica con una cierta potencia. Esta energía mecánica puede transformarse posteriormente en energía potencial (bombeo) o energía eléctrica (por accionamiento de un generador eléctrico acoplado al eje de la turbina).

2.3.2.3 Reservas.

La energía eólica almacenada en los vientos en todo el mundo se estima entre 2,500 y 5,000 TWh año, de los cuales entre un 1% y un 2% serían recuperables. La energía eólica no se distribuye uniformemente sobre el planeta, ni tampoco se mantiene constante a lo largo de todo el año.

2.3.2.4 Producción y consumo.

Por las características de esta energía, la producción y el consumo son prácticamente idénticos. Toda la energía eléctrica producida en los aerogeneradores se inyecta en la red. En todo el mundo hay instalados más de 313 GW. El nuevo total mundial a finales de 2014 era

de 369,6 GW, lo que representa un crecimiento de mercado acumulada de más del 16%, a pesar de que es más baja que la tasa de crecimiento promedio de los últimos 10 años (2005-2014) de casi el 23% [5].

2.3.2.5 Duración.

Ilimitada

2.3.3 Energía del oleaje.

Su origen es la acción del viento sobre las superficies de las aguas. Es, por consiguiente, un pequeño porcentaje de la energía del viento. El viento sobre una zona del mar y las olas formadas, están directamente relacionadas, aun cuando las mismas pueden prolongarse a gran distancia del punto de generación.

2.3.3.1 Potencial energético.

Varía mucho de un punto a otro de los mares y de una estación del año a otra. Como promedio y en zonas libres del Atlántico, Pacífico e Índico, pueden alcanzarse los 40-70 kW por metro de frente de ola. En teoría, el potencial energético de las olas en el mundo se estima en 0.5 TW.

2.3.3.2 Formas de aprovechamiento.

La forma de aprovechamiento es transformarla en energía mecánica (de movimiento o de presión). Esta energía mecánica puede posteriormente transformarse en energía eléctrica (por medio de un generador) o en energía potencial (por medio de un sistema de bombeo).

2.3.4 Energía hidráulica.

En teoría, la energía hidráulica es la contenida en una masa de agua elevada respecto de un nivel de referencia (de utilización). En la práctica, la energía hidráulica se obtiene a partir de cualquier masa de agua en movimiento. Tal puede ser el caso de la corriente de un río, como la corriente que discurre por un tubo originada por una diferencia de altura entre dos pantanos. En ambos casos, la energía potencial del agua se transforma en energía cinética, y ésta es la aprovechable. Su origen es la evaporación del agua (en el mar, tierra, pantanos, etc.) por la acción de la energía solar y que cae en forma de lluvia o nieve en cotas altas de la superficie terrestre. Es, por tanto, un pequeño porcentaje de la energía solar que llega a la Tierra.

2.3.4.1 Potencial energético.

La energía hidráulica constituye una de las energías renovables más importantes del planeta. 1 Tn de agua, a 10 m de altura, tiene una energía de 278 kWh. En teoría, el potencial de energía hidráulica aprovechable en toda la Tierra se estima entre 2 y 3 TW.

2.3.4.2 Formas de aprovechamiento.

La energía potencial del agua se transforma en energía cinética y ésta a su vez en energía mecánica, por medio de las turbinas hidráulicas, colocadas en la base de los correspondientes embalses reguladores. El empleo de la energía captada es, casi exclusivamente, para la producción de electricidad, acoplando a la turbina hidráulica un generador eléctrico

2.3.4.3 Reservas.

La energía hidráulica es una energía renovable. Por consiguiente, el concepto de reserva no es el mismo que en los casos de la energía del carbón, petróleo, gas, o uranio. Debe entenderse, más bien, como la energía existente, por tiempo indefinido, que puede explotarse en condiciones económicas, de un total mucho mayor que constituyen los recursos globales del planeta. Teniendo en cuenta las precipitaciones anuales sobre todo el planeta, y la altura media a la que pueden caer, podrían calcularse unos recursos de alrededor de 50,000 TWh . año, cuatro veces la energía obtenible en todas las centrales térmicas actuales. Si de estos se consideran solo los técnicamente explotables (por ejemplo, porque donde se extraiga esta energía haya una demanda real de electricidad), entonces la energía extraíble se reduciría a una banda de 10.000 a 20,000 TWh . año. La mayoría de estas reservas se encuentran en Asia, con 6 GW, seguida de América del Sur, con 4 GW, África con 3.5 GW, América del Norte, con 3.2 GW, Rusia con 2.5 GW y Europa con 1.8 GW.

2.3.4.4 Producción y consumo.

Por las características de la energía hidráulica (generación de electricidad y control de la potencia simple y total), la producción es exactamente igual al consumo, y obviamente, la duración del recurso es ilimitada. En todo el mundo hay instalada una potencia hidroeléctrica de 650 GW, con una producción de 709.2×10^6 Tep en 2007. La mayor producción se encuentra en China con 109.3×10^6 Tep, seguida de Brasil, con 84.1×10^6 Tep, Canadá con 83.3×10^6 Tep, Estados Unidos con 56.8×10^6 Tep, Noruega, con 30.6×10^6 Tep,

etc. Europa prácticamente ha llegado al límite de la explotación hidroeléctrica, mientras que Asia y, sobre todo, África apenas alcanza el 10% de su potencial

2.3.5 Energía de la biomasa.

Es la energía solar almacenada en los seres vivos, vegetales o animales por medio del proceso de fotosíntesis (vegetales) y la digestión (comida) de estos vegetales por los animales. Se trata, por tanto, de un pequeño porcentaje de la energía solar que llega a la Tierra. En la práctica pueden suponerse tres fuentes de energía de la biomasa:

1. De origen vegetal: biomasa natural, cultivos energéticos.
2. De origen animal: excrementos y purines.
3. De origen humano: los Residuos Sólidos Urbanos (RSU), procedentes de viviendas, comercios, fábricas, etc.

2.3.5.1 Potencial energético.

La producción energética a partir de la biomasa puede variar según el tipo de cultivo, el método de aprovechamiento empleado y las necesidades de transporte de la misma hasta el punto de aprovechamiento. Como valores de referencia pueden tomarse los indicados en la **Tabla 1**.

2.3.5.2 Formas de aprovechamiento.

La energía de la biomasa se emplea directamente para producir calor por combustión de la misma (calefacción, cocción), o indirectamente para producir electricidad (evaporando agua y transformándola en energía mecánica con una turbina).

También se puede transformar la biomasa en combustibles líquidos (bioalcoholes) o gaseosos (biogás) para ser posteriormente quemados y convertidos en energía calorífica y posteriormente, en mecánica (automoción o generación eléctrica).

Tabla 1 Potencial energético de la biomasa.

Materia	Producción por tonelada	Producción por m ³
Madera (seca)	15 GJ/Tn	(10 GJ/m ³)
Papel (periódicos compactado)	17 GJ/Tn	(9 GJ/m ³)
Paja (compactada)	14 GJ/Tn	(1.4 GJ/m ³)
Cañas de azúcar (cecas)	14 GJ/Tn	(10 GJ/m ³)
Césped (recién cortado)	4 GJ/Tn	(3 GJ/m ³)
Boñigas (secas)	16 GJ/Tn	(4 GJ/m ³)
Residuos domésticos (sin tratar)	19 GJ/Tn	(1 GJ/m ³)
Residuos comerciales	16 GJ/Tn	

2.3.5.3 Reservas.

La biomasa total existente en la Tierra se estima en unas 1.8×10^{12} Tn. De toda ésta, alrededor de 1.6×10^{12} Tn se encuentra en los bosques y selvas del planeta. En términos de energía, esto supone un potencial energético superior a las 0.57×10^{12} Tep. Obviamente, nadie puede pretender quemar todos los bosques para transformarlos en energía. En conjunto, la energía recuperable de la biomasa en el mundo se estima en 450 TWh año [6].

2.3.5.4 Producción y consumo.

Las características de esta energía la hacen no almacenable (en grandes cantidades) y no transportable, por lo que la producción y el consumo prácticamente coinciden en el tiempo y en el espacio. La producción neta anual de biomasa se estima en 400,000 Mtn/año, de las cuales solo una pequeña parte son aprovechadas.

2.3.5.5 Duración.

Ilimitada

2.3.6 Energía geotérmica.

La energía geotérmica es la energía contenida en forma de calor en el interior de la Tierra. El origen de este calor está relacionado con la estructura interna de nuestro planeta y los procesos físicos que ocurren allí. El calor natural y la elevada presión existente en el interior del globo terrestre producen el magma (roca fundida). Cuando el magma está presente a

profundidades lo suficientemente someras para calentar la roca sobre yacente, y la roca está impregnada de agua atrapada en el subsuelo, se crean acumulaciones (reservorios geotérmicos) de fluido sobrecalentado [7]. La presencia de vapor y gases de reservorio en superficie son un indicio de la posible existencia de un campo geotérmico, no obstante, existen campos geotérmicos en los que no hay manifestaciones termales en superficie [8]. El desarrollo del recurso geotérmico consiste en la identificación, extracción y uso de la energía de estos reservorios de fluido sobrecalentado. Para acceder al vapor o líquido geotérmico se perforan pozos. En la superficie, se utilizan turbinas (por lo general de vapor de ciclo convencional o de ciclo binario) para convertir el vapor o el líquido extraído desde el interior de la tierra en energía eléctrica. Al final del proceso el fluido geotérmico se enfrió y se reinyecta en el subsuelo para que se caliente nuevamente en el reservorio geotérmico. De esta manera se forma un ciclo totalmente renovador que permite extraer con continuidad y explotar el calor contenido al interior de la Tierra [9].

A pesar de que este calor está presente en grandes cantidades, prácticamente inagotable en la corteza terrestre, por no hablar de las partes más profundas de nuestro planeta, que se distribuye de manera desigual, rara vez se concentra, menudo a profundidades demasiado grande como para ser explotado industrialmente [10].

El desarrollo sostenible exige el uso de sistemas de energía sostenibles. Sin embargo, la forma en que se utiliza un recurso geotérmico en última instancia, determinar si es o no es la utilización sostenible. El consumo de energía se espera que aumente en todo el mundo, y la utilización de la energía geotérmica para la generación de electricidad y calefacción también aumentará significativamente. El mundo necesitará de recursos geotérmico para ser utilizado de manera sostenible. La utilización sostenible de la energía geotérmica significa que se produce y se utiliza de una manera que sea compatible con el bienestar de las generaciones futuras y el medio ambiente [11].

2.3.6.1 Potencial energético.

La capacidad instalada (en MW) es el valor de referencia para la planta de energía, fijado por el fabricante como su salida final de potencia cuando la planta está operando a sus condiciones de diseño. La capacidad total instalada es de 8 900 MW, correspondiente a 8 000 MW de funcionamiento de capacidad y el suministro de 57 000 GWh en 2003, un incremento

del 12% y 15% respectivamente con respecto al año 2000. Costa Rica, Francia, Islandia, Indonesia, Italia, Kenia, México, Nicaragua, Rusia y todos muestran un importante aumento de las actividades de instalación de la central eléctrica relevante (Por encima de 10% con respecto al año 2000) [12] ; para el periodo 2005-2010 se aprecia en la **tabla 2** la evolución de la cantidad de energía geotérmica total instalada en el mundo, y representada en la **figura 6**. Con un crecimiento estimado para el año 2015 de aproximadamente 18 GW. Destacando a tres de las principales empresas que operan plantas de energía geotérmica, para la producción de energía eléctrica son: Comisión Federal de Electricidad (México), Calpine (EE.UU.) y Enel Green Power (Italia) [13]. Mientras que [14] muestra la evolución de la energía geotérmica de 2010-2015 en el mundo el cual se aprecia en la **tabla 3**, con una estimación para el año 2020 de 21,443 MW mientras que en la **tabla 4** se expresa el top 5 de los principales productores de energía geotérmica siendo el principal USA, y de los cuales México ocupa el cuarto sitio.

Tabla 2 Capacidad total instalada de energía geotérmica en el mundo 1950-2010.

Año	Capacidad instalada MW	Producción de energía GW/h
1950	200	
1955	270	
1960	386	
1965	520	
1970	720	
1975	1,180	
1980	2,110	
1985	4,764	
1990	5,834	
1995	6,833	38.035
2000	7,972	49,261
2005	8,933	55,709
2010	10,715	67,246
2015	18,500	

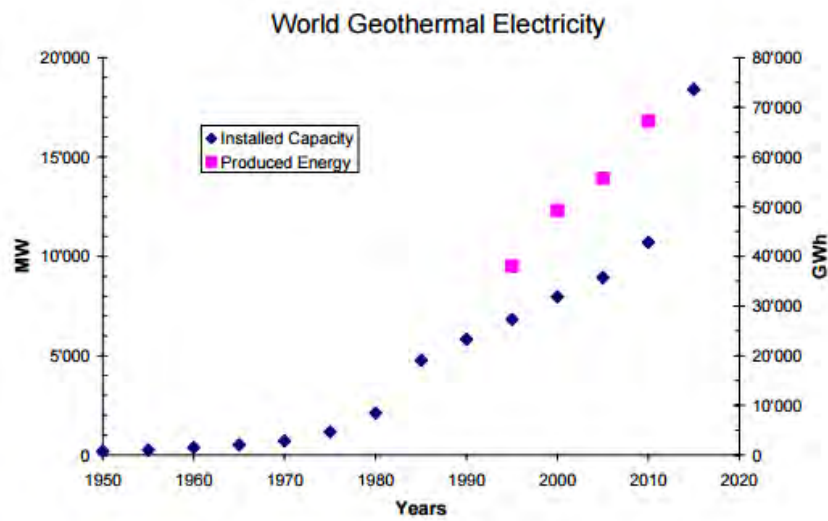


Figura 6 Evolución de la capacidad instalada de energía geotérmica en el mundo 1950-2015 (Izquierda, MW) y producción de electricidad (derecha, GW/Hr).

Tabla 3 Capacidad total instalada de energía geotérmica en el mundo 2010-2015.

Año	Capacidad instalada MW	Producción de energía GW/h
1950	200	
1955	270	
1960	386	
1965	520	
1970	720	
1975	1,180	
1980	2,110	
1985	4,764	
1990	5,834	
1995	6,833	38.035
2000	7,972	49,261
2005	8,933	55,709
2010	10,897	67,246
2015	12.635	73,549
2020	21,443	

Tabla 4 Top 5 de los principales países productores de energía geotérmica nivel mundial.

PAIS	2010 MWe	2010 GWh	2015 MWe	2015 GWh
USA	3,098	16,603	3,450	16,600
PHILIPINAS	1,904	10,311	1,870	9,647
INDONESIA	1,197	9,600	1,340	9,600
MEXICO	958	7,047	1,017	6,071
NUEVA ZELANDA	762	4,055	1,005	7,000

2.3.6.2 Formas de aprovechamiento.

Las aplicaciones que se pueden tener de la energía geotérmica van a depender sin duda del valor de las temperaturas, y que presente el campo o el yacimiento geotérmico siendo estos de baja, media y alta entalpia con temperaturas que van de 90°C, 90°C hasta 150°C y mayores de 150°C respectivamente [10], principalmente las aplicaciones son generación de electricidad y usos directos [15], [16],[17]. Básicamente, hay varios procesos que se pueden ser utilizados para generar electricidad a partir de recursos geotérmicos, cada uno con sus ventajas y desventajas. La elección de un determinado proceso depende en gran medida de la temperatura de la fuente.

Sistemas de alta y media entalpia.

Las dos opciones consideradas para la generación son básicamente:

1. Expansión de vapor en un ciclo Rankine
 - a. Ciclo binario.
 - b. Organic Rankine Cycle (Organic Rankine Cycle - ORC)
2. Generadores termoeléctricos.

En un ciclo Rankine, el movimiento de la turbina es mediante la expansión de vapor sobrecalentado procedente del yacimiento geotérmico, que acciona el generador eléctrico, en un ciclo binario la turbina, que acciona el generador, es movida mediante la expansión sobrecalentada de vapor procedente de un agente intermediario, n una planta tipo Binario

la energía térmica del geofluido se transfiere por medio de un Intercambiador de calor a un fluido de trabajo secundario para uso en un ciclo convencional. El geofluido no está en contacto con las partes móviles de la planta, así mismo minimiza y en muchos casos elimina los efectos de la erosión, las plantas binarias tienen ventajas puesto que pueden manejar geofluidos de baja temperatura (menos de 150 °C), de alto contenido de gases disueltos y corrosivos. En el proceso de generadores termoeléctricos, el calor se utiliza para la producción directa de electricidad por efecto termoeléctrico [18]. De la misma manera en la literatura [19], plantea que el recurso geotérmico puede ser utilizado para la generación de electricidad de una planta y el calor residual emplearse para realizar la conversión de biomasa a etanol.

En la **tabla 5** se aprecia la distribución de los yacimientos geotérmicos y su principal aplicación [20].

Tabla 5 Clasificación de los yacimientos geotérmicos y su principal aplicación.

	Recurso Geotérmico	Temperatura	Tecnología	Aplicación
Convencionales	Muy baja entalpia	5-25°C	Utiliza bombas de calor	Usos directos climatización
	Baja entalpia	25-50°C	Puede precisar bomba de calor	Usos directos
		50-100°C		Usos directos
	Mediana entalpia	100-150°C	Ciclos binarios	Electricidad procesos
	Alta entalpia	>150°C		Electricidad
No convencionales	EGS-HDR	>150°C	Ciclos binarios	Electricidad
	Supercríticos	>300°C		Electricidad e hidrogeno

La Energía Geotérmica de Baja Temperatura (LTGE), es una fuente de energía alternativa empleada para aplicaciones directas de calefacción doméstica y de refrigeración [21]. La importancia de LTGE se debe a las ventajas que tiene sobre otras energías renovables: se

permite un mayor ahorro en relación con los costos en comparación con las fuentes de energía convencionales, que está disponible en todas partes, en cualquier momento, y su explotación tiene el impacto ambiental más bajo. Las ventajas de LTGE se deben a la forma en que esta energía se acumula y se regenera de forma natural en el suelo. El suelo tiene una alta inercia térmica, y, a profundidades moderadas, la temperatura no se somete a las fluctuaciones diarias y estacionales de temperatura en la atmósfera y se mantiene constante durante todo el año a aproximadamente unas pocas décimas de grado. La idea básica de la explotación de LTGE es que el calor del suelo puede ser extraído mediante el uso de bombas de calor, aprovechando las diferencias de temperatura con el ambiente y el espacio por acondicionar. A nivel mundial, las bombas de calor geotérmico GHP son un área de investigación que ha tenido un rápido crecimiento en la tecnología geotérmica. En 2005, 32 países ya estaban utilizando GHP para la calefacción, la refrigeración y el suministro doméstico de agua caliente. Su capacidad instalada aumentó 730% en los últimos 12 años y el uso de energía para la calefacción de 500%. Los que están a la vanguardia en el uso de esta alternativa son los países europeos y los EE.UU [22] .

2.3.6.3 Reservas.

En conjunto, los recursos de esta energía en todo el planeta pueden estimarse en unos 30×10^6 TW de los cuales sólo una pequeña parte podrían ser extraíbles en condiciones técnicas y económicas adecuadas. Los recursos más importantes se encuentran en Estados Unidos, seguido de Japón, Italia, México, Nueva Zelanda, Filipinas y China.

2.3.6.4 Producción y consumo.

Por las características de esta energía (uso directo del calor extraído, o su conversión a energía eléctrica), la producción es exactamente igual al consumo. En todo el mundo hay una potencia total instalada de casi 10 GW (en concreto, 5,834 MWe en 1990. y una potencia térmica de 4 GWe (4,123 MWe en 1990). Por países, la mayor producción (año 1990) se produjo en Estados Unidos, (2,800 MWe y 160 MWt), seguido de Japón (228 MWe y 970 MWt), Filipinas (894 MWe), Italia (545 MWe y 210 MWt), México (680 MWe y 8 MWt), China (11 MWe y 610 MWt), Nueva Zelanda (280 MWe y 200 MWt), Islandia (39 MWe y 340 MWt), Hungría (375 MWt), Rusia (11 MWe y 340 MWt), Indonesia (140 MWe), El

Salvador (95 MWe), Turquía (21 MWe y 70 MWz), Kenia (45 MWe), Nicaragua (35 MWe), seguidos de Taiwán, Azores y otros con cantidades menores .

2.3.6.5 Duración.

A escala humana, la energía geotérmica puede considerarse una energía renovable, en el sentido que su duración puede considerarse ilimitada [4].

2.3.7 Energía geotérmica panorama nacional.

En el territorio nacional las energías renovables tienen una alta viabilidad gracias a que el país es rico en recursos naturales. La distinta distribución territorial de los recursos permite un desarrollo regionalizado: al norte la solar, al centro la geotérmica y al sur la eólica, principalmente. Según el Inventario Nacional de Energía Renovable, las energías con mayor potencial son la solar y la eólica, entre los factores claves de su desarrollo se encuentran el desarrollo político, la reducción de costos y el desarrollo tecnológico. La inserción de las renovables en la matriz energética se ha logrado a través de la producción de electricidad. Sin embargo, hoy en día el gas natural está cobrando relevancia debido a su bajo costo y a que es menos contaminante que otros hidrocarburos. En México su importancia ha incrementado: de 2002 a 2012 su participación pasó de 29 al 50% en la generación de energía eléctrica, lo que contrasta con la energía de fuente renovable, que presenta una tendencia a la baja, pues de 2010 a 2013 pasó de 18 a 13.7%.

La energía geotérmica en el país se utiliza casi exclusivamente para producir electricidad, ya que sus usos directos están todavía en fase de desarrollo y en la actualidad permanecen restringidos en instalaciones para bañarse y nadar con fines recreativos y algunos con usos terapéuticos (reportados en 20 localidades). Casi todos los complejos se han desarrollado y están operados por inversionistas privados, sin embargo, hay instalaciones aisladas operados por el gobierno federal, estatal o municipal. Estas instalaciones públicas suelen ser operados a través de las oficinas de turismo, o en algunos casos, a través de instituciones federales como el Instituto Mexicano de Seguridad Social (IMSS).

Comisión Federal de Electricidad (CFE) ha desarrollado algunos de los usos directos de los recursos geotérmicos en el campo geotérmico de Los Azufres, incluyendo un secador de madera, deshidratador de frutas y verduras, un invernadero y un sistema para la calefacción de sus oficinas e instalaciones en este campo. Una instalación de este tipo ha sido cerrada en

el campo geotérmico de Los Humeros. El uso de las bombas de calor geotérmicas es mínimo, y subdesarrollado sin información disponible. La calefacción de espacios individuales se utiliza poco en México debido a las temperaturas suaves durante todo el año en la mayor parte del país. Las diversas aplicaciones de uso directo son: 0.460 MW y 4.397 TJ / año para la calefacción individual; 0.004 MW y 0.059 TJ / año para el calentamiento de invernaderos; 0.007 MW y 0.101 TJ / año para el secado agrícola; y 155.347 MW y 4018.229 TJ / año para bañarse y nadar; para un total de 155.818 MW y 4022.786 TJ / año [23].

La **figura 7** muestra que en 2013 la generación de electricidad se distribuyó como sigue: 82% es de fuente fósil, 13% por parte de las renovables y un 5% nuclear. La energía hidroeléctrica es la que tiene la participación más relevante dentro de las renovables, en 2013 fue de un 10.6% en la generación total, pero con una preocupante tendencia a la baja: en 2008 había alcanzado un 16.6%. La geotérmica lo hizo con un 2.4% aunque con una ligera caída. La eólica tuvo una participación menor de 0.7%, siendo su nivel más alto en 10 años, mientras que la energía solar presentó la participación más baja, 0.05%, hay que notar, sin embargo, que ésta última comenzó a utilizarse en 2012 lo que implica una tasa de crecimiento de 530% de 2012 a 2013. Mientras que la energía nuclear, por su parte, contribuyó con el 4.6% en 2013 con una tendencia creciente [24].

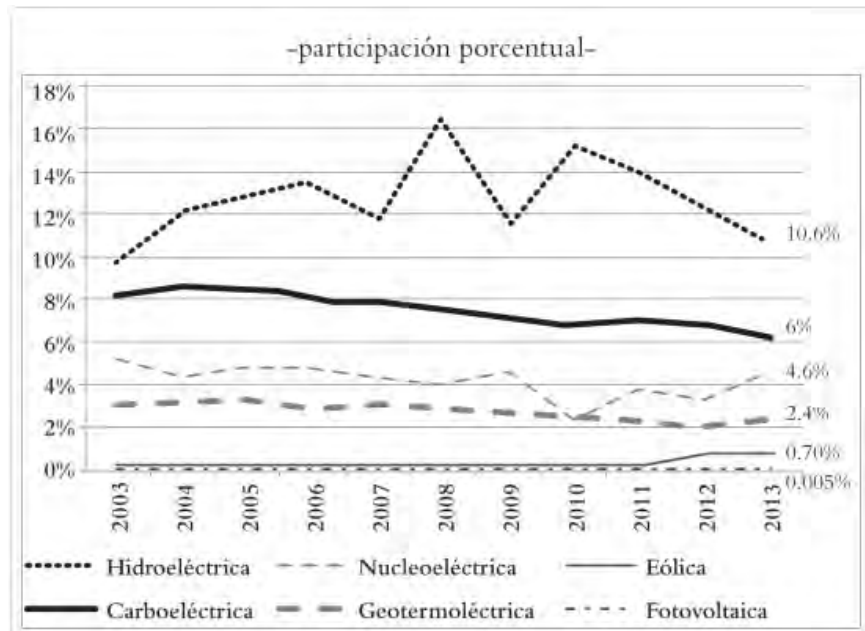


Figura 7 Evolución y participación de las energías renovables en la generación de electricidad, en México 2003–2013.

El cambio climático es uno de los grandes retos de nuestro siglo. Para hacerle frente se requerirán cambios sustanciales a la forma en que producimos y generamos riqueza e incluso en nuestro quehacer diario. En México, país que como otros muchos ya sufren los impactos de este fenómeno, estamos conscientes de que solo a través de un espíritu de colaboración global, y con un verdadero sentido de urgencia podremos contener los efectos más dañinos de este grave problema. En cuanto a acciones tomadas para facilitar las acciones de mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero México toma las siguientes medidas.

Instrumentos institucionales de la Ley General de Cambio Climático (LGCC):

- Se puso en marcha el Sistema Nacional de Cambio Climático.
- Se creó la Comisión Intersecretarial de Cambio Climático conforme a los lineamientos de la LGCC.
- Se instauró el Consejo de Cambio Climático.
- Se creó el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.
- Se instauró la Coordinación de Evaluación de la Política de Cambio Climático.

Mecanismos de planeación de la LGCC:

- Se publicó la Estrategia Nacional de Cambio Climático Visión 10-20-40.
- Se elaboró y puso en marcha el Programa Especial de Cambio Climático 2014-2018.
- Continúa la elaboración, publicación y actualización, de los programas estatales de cambio climático.
- Continúa el desarrollo y publicación de los programas a nivel municipal.

Avances programáticos y normativos sectoriales:

- Se elaboró y está en marcha el Programa Nacional para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía 2014-2018.
- Se elaboró y está en marcha el Programa Especial para el Aprovechamiento de Energías Renovables 2014-2018.
- Entraron en vigor y se actualizaron 15 normas oficiales mexicanas que contribuyen a la reducción de emisiones.

Herramientas de información:

- Se actualizó el Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero de la serie histórica 1990-2010 a 1990-2012.
- Se elaboró el Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero al 2013, a un mayor nivel de desagregación.
- Entró en vigor el Registro Nacional de Emisiones, a partir de la publicación de su reglamento.
- Inició operaciones el registro de Acciones Nacionales Apropriadas de Mitigación.
- Se avanzó en la generación de los indicadores del Sistema de Información de Cambio Climático.
- Se elaboró el Inventario Nacional de Energías Renovables.

Instrumentos económicos, financieros y fiscales:

- Se han reducido subsidios a combustibles fósiles.
- Inició la aplicación de un impuesto al carbono.
- Se creó el Fondo de Cambio Climático.
- Continuó el diseño y operación de proyectos para el Mecanismo de Desarrollo Limpio.
- Se avanzó en el diseño y operación de otros mercados de carbono [25].

3 Capítulo III. Bombas de calor geotérmicas

3.1 Bomba de calor.

Una de las formas más eficientes de energía para aplicaciones de calefacción es mediante uso de bombas de calor. Las bombas de calor utilizan la energía eléctrica para invertir el flujo natural del calor del medio ambiente de frío a caliente. Una bomba de calor típico requiere sólo 100 kWh de energía eléctrica para activar 200 kWh de calor ambiental libremente disponible en 300 kWh de calor útil. En todos los casos, la producción de calor útil será mayor que la energía requerida para operar la bomba en sí. Las bombas de calor también tienen una salida relativamente baja de dióxido de carbono, menos de la mitad que el de la producción eléctrica, el calor de petróleo y gas. Las bombas de calor para calefacción doméstica son un concepto relativamente nuevo en algunos países, sin embargo, la tecnología es ampliamente utilizada en otros. En toda Europa, cientos de miles de unidades de bomba de calor interno están en uso, y la tecnología se ha probado y resulta fiable [26].

Un dispositivo eficaz para la calefacción y refrigeración de edificios es la bomba de calor (HP). Los que están disponibles en el mercado son generalmente reversibles (RHP para abreviar), lo que significa que se pueden calentar durante la estación fría y refrigerar durante el caliente. Aunque HPs son generalmente accionados por motores eléctricos (EHP), que pueden representar una solución muy eficaz en lugar de calderas clásicas, y de los sistemas de compresión convencional.

3.1.1 Principio de funcionamiento.

Bomba de calor es una instalación térmica que se basa en un ciclo termodinámico de Carnot inverso, se emplea una fuente de calor, y un consumidor de calor (consume energía y produce un efecto térmico).

- La fuente de calor puede ser:

Aire (Aire exterior, el calentamiento del aire de proceso de ventilación, los gases calientes procedentes de procesos industriales) de gas o aire; un líquido llamado agua genérica: las aguas superficiales (río, lago, mar), las aguas subterráneas, el alta de agua caliente (nacional, tecnológico, y se hace recircular en torres de refrigeración); del suelo, con la ventaja de la accesibilidad.

- *Consumidor de calor.* El fin para el cual se emplea la energía térmica a una temperatura más alta, dependiendo de la aplicación. Esta energía se puede utilizar para:

Calefacción de espacios; calefacción bomba de calor, que se relaciona con los sistemas de calefacción de baja temperatura: paneles radiantes (suelo, pared, techo, piso-techo), calentamiento de aire o sistemas convectivos;

Calentamiento de agua (piscinas, doméstica y tecnológico de agua caliente);

Se recomienda que el consumidor de calor este asociado a un consumidor de frío. Esto se puede realizar un sistema reversible (calefacción-refrigeración) o un sistema de doble efecto. En el modo de enfriamiento, una bomba de calor funciona exactamente igual que un sistema de aire acondicionado central [27].

3.2 Bomba de calor geotérmica.

La tecnología de bomba de calor geotérmica es actualmente una de las tecnologías más interesantes que se utilizan para la calefacción de edificios. Hay dos diseños utilizados en la industria: bomba de calor geotérmica utilizando un bucle de tierra secundaria y bomba de calor geotérmica de expansión directa (DX). Este último se usa menos, con una de las razones es que, posiblemente, menos investigación se ha llevado a cabo en el diseño de este tipo de bomba de calor [28]. Bombas de calor geotérmicas, (GSHP), son sistemas que combinan una bomba de calor con un intercambiador de calor de tierra (sistemas de circuito cerrado), o alimentados por el agua subterránea de un pozo (sistemas de bucle abierto). Utilizan la tierra como fuente de calor o sumidero de energía, cuando se opera en el modo de calefacción, con un fluido (normalmente agua o una mezcla de agua y anticongelante) como el medio que transfiere el calor de la tierra para el evaporador de la bomba de calor, utilizando así la energía geotérmica. En el modo de refrigeración, utilizan la tierra como un disipador de calor. Con Intercambiadores de Calor (BHE), las bombas de calor geotérmicas pueden ofrecer tanto la calefacción y refrigeración en prácticamente cualquier lugar, con gran flexibilidad para satisfacer cualquier demanda [29].

Las bombas de calor geotérmicas son una tecnología de energía altamente eficiente y renovable para la calefacción y refrigeración. Esta tecnología se basa en el hecho de que, en la profundidad, la Tierra tiene una temperatura relativamente constante, más caliente que el

aire en invierno y frío que el aire en verano. Una bomba de calor geotérmica puede transferir el calor almacenado en la tierra en un edificio durante el invierno, y la transferencia de calor fuera del edificio durante el verano. Condiciones geológicas especiales, tales como aguas termales, no son necesarios para la aplicación de las bombas de calor geotérmicas [26]. En los últimos años, se ha incrementado un gran número de edificios residenciales y comerciales en los cuales se han instalado los sistemas de bomba de calor geotérmicos (GSHP) para la refrigeración de locales, calefacción e incluso el suministro de agua caliente debido a su mayor eficiencia, un bajo costo de mantenimiento y amigables con el medio ambiente. La mayoría de los GSHP utilizan intercambiadores de calor verticales (VGHEX) que por lo general ofrecen un mayor rendimiento energético que los intercambiadores de calor horizontales (HGHEX), debido a la menor fluctuación de la temperatura en el suelo [30].

3.3 Bombas de calor geotérmicas panorama mundial.

Las bombas de calor geotérmicas representan el 68.3% y el 47.2% de la capacidad mundial empleadas en calefacción. La capacidad instalada es de 33,134 MW y el uso de energía anual es de 200,149 TJ / año, con un factor de carga de 0.19 (en el modo de calefacción). Aunque, la mayoría de las instalaciones se producen en América del Norte, Europa y China, el número de países con sistemas instalados aumentó de 26 en 2000 a 33 en 2005, y 43 en 2010. El número equivalente de unidades instaladas de 12kW (típico de Estados Unidos y hogares de Europa occidental) es aproximadamente 2.76 millones de unidades. Esto es más del doble del número de unidades reportadas para 2005 y cuatro veces el número reportado para el año 2000. El tamaño de las unidades individuales; sin embargo, varía de 5.5 kW para uso residencial a las grandes unidades de más de 150 kW para instalaciones comerciales e institucionales.

En los Estados Unidos, la mayoría de las unidades están dimensionados para la carga máxima de refrigeración y son de gran tamaño para la calefacción, excepto en los estados del norte; por lo tanto, se estima que un promedio de 2000 horas de carga completa por año (factor de capacidad de 0.23). En Europa, la mayoría de las unidades están dimensionados para la carga de calentamiento y a menudo se diseñan para proporcionar la carga de base con un pico suministrado por combustibles fósiles. Como resultado, estas unidades pueden estar en funcionamiento hasta 6000 horas de carga completa por año (factor de capacidad de 0.68),

como en los países nórdicos. A menos que se informe el número real de horas de carga completa, se utiliza un valor de 2200 h (y más alto para algunos de los países del norte) para los cálculos (TJ / año) de salida de energía, sobre la base de un informe elaborado por [31].

Los líderes de las unidades instaladas son Estados Unidos, China, Suecia, Alemania y los Países Bajos.

Europa

En los países de Europa Occidental y Central, la utilización directa de la energía geotérmica para suministrar calor a través de la calefacción urbana a un mayor número de clientes hasta ahora se limita a las regiones con ambientes geológicos específicos. En esta situación, la utilización de los recursos geotérmicos superficiales ubicuos por los sistemas descentralizados GSHP es una opción obvia. En consecuencia, un campo de rápido crecimiento de las aplicaciones está surgiendo y desarrollándose en varios países europeos. Una rápida penetración en el mercado de este tipo de sistemas es que resulta; el número de empresas comerciales que trabajan activamente en este campo es cada vez mayor. En la **figura 8** se muestra la distribución del número de bombas de calor instaladas en diversos países de Europa [31].

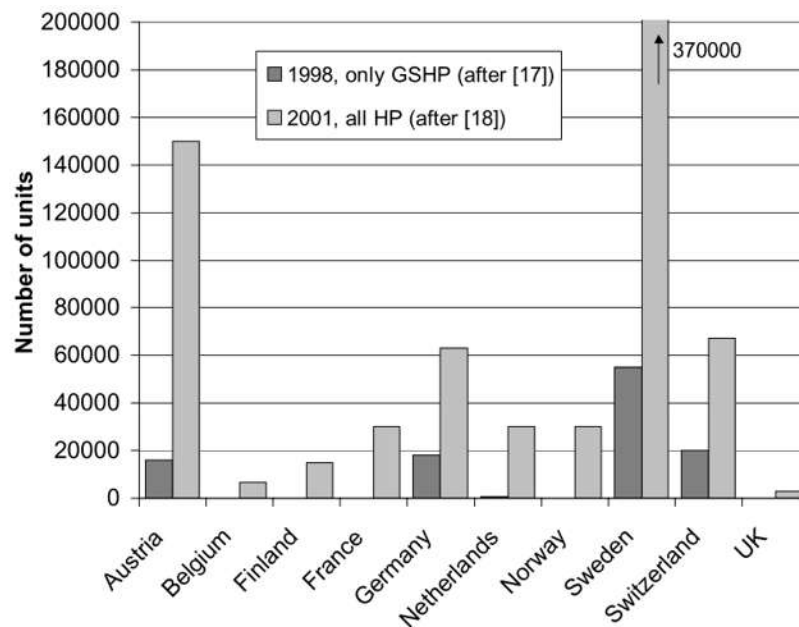


Figura 8 Distribución de la cantidad de unidades instaladas de bombas de calor geotérmicas en países de Europa.

México

En México se instaló un sistema de purificación de salmuera geotérmica acoplado con un sistema de bomba de calor tipo agua-agua que operan con R114 se instaló en el campo geotérmico Los Azufres. Dispone de dos circuitos de fluido de trabajo y fue diseñado para entregar 56 kW a 71 ° C con un COP de 4,74 a partir de una fuente de 52 ° C. Dos intercambiadores de calor auxiliares se han instalado, uno para calentar el agua libre de sal a ser suministrado al evaporador, y otro para recibir el calor suministrado por la bomba de calor de compresión mecánica. Diecisiete corridas se llevaron a cabo con la bomba de calor acoplada al sistema de purificación de la salmuera geotérmica. Siete pruebas de agua utilizada y diez corridas utilizando salmuera en el evaporador del sistema de purificación de la salmuera, con temperaturas de entre 35 y 56 ° C y las temperaturas de ebullición entre 60 y 85 ° C. La temperatura del agua del condensador tenía entre 45 y 60 ° C. La temperatura de ebullición del agua , destilación y velocidades del sistema de purificación se determinaron con ayuda de vacío aplicado [32].

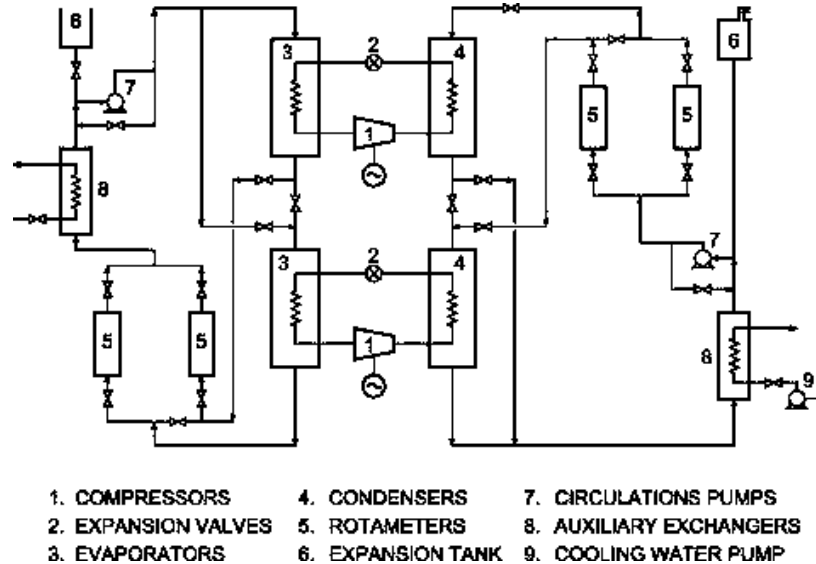


Figura 9 Esquema del sistema instalado en Los Azufres México.

3.4 Clasificación de bombas de calor.

3.4.1 Bomba de calor de agua-agua.

Bombas de calor agua-agua. Estas bombas de calor utilizan el agua como fuente de calor y se hunden para la calefacción y la refrigeración. Calefacción de cambio / enfriamiento se puede hacer en el circuito refrigerante, pero a menudo es más conveniente para llevar a cabo la conmutación en los circuitos de agua. Varias bombas de calor agua-agua se pueden agrupar juntos para crear una planta de refrigeración y calefacción central para servir a varias unidades de tratamiento de aire. Esta aplicación tiene ventajas como la facilidad de un mejor control, mantenimiento centralizado, la redundancia y la flexibilidad.

3.4.2 Bomba de calor agua aire.

Bombas de calor de agua-aire. Estas bombas de calor se basan en agua como la fuente de calor y se hunden, y el uso de aire para transmitir calor hacia o desde el espacio acondicionado. Estos incluyen los siguientes:

- Las bombas de calor de agua subterránea, que utilizan agua subterránea de los pozos como fuente de calor y / o sumidero;
- Bombas de calor del agua de superficie, que utilizan agua de superficie de un lago, estanque o corriente como fuente de calor o sumidero;
- Bombas de calor solar asistido, que dependen de la energía solar de baja temperatura como fuente de calor.

3.4.3 Bomba de calor aire-aire.

Bombas de calor aire-aire. Este tipo de bomba de calor es el más común y es especialmente adecuada para bombas de calor unitarios construidos en fábrica.

3.4.4 Otras variantes de bombas.

- Una *bomba de calor aire-acoplada*. Estos utilizan el suelo como fuente de calor y el disipador. Una bomba de calor puede tener un intercambiador de calor de refrigerante-agua o puede ser de expansión directa. En sistemas con intercambiadores de calor de refrigerante-agua, una solución de agua o anticongelante se bombea a través de tuberías horizontales, verticales o en espiral incrustados en el suelo. Bombas

de calor de expansión directa utilizan refrigerante en expansión directa, inundado, o circuitos de recirculación del evaporador para las bobinas de tubería en el suelo.

- Una *bomba de calor híbrido asociado*: es una variación que utiliza una torre de refrigeración o condensador refrigerado por aire para reducir el rechazo de calor total anual para el acoplamiento de tierra.

3.5 Intercambiadores de calor geotérmicos.

En los sistemas de bucle que se utilizan comúnmente, el fluido de transferencia de calor está cerrado en un bucle de circulación y no tiene contacto directo con el suelo; la transferencia de calor con el suelo se produce a través del material de la tubería. Hay cuatro clases de sistemas de intercambio de calor de bucle cerrado: vertical, horizontal, espiral, y un estanque. El GHE es una parte importante de los sistemas geotérmicos y sus dimensiones y profundidad de enterramiento, deberá calcularse utilizando un método eficaz. En particular, el coste del conjunto de GHE afecta a la elección de estos sistemas. Para mejorar la eficiencia del sistema GSHP, el calor extraído o disipado al suelo mediante un sistema geotérmico debe ser el adecuado. Por lo tanto, la profundidad de los intercambiadores y la distancia entre los tubos son importantes para el dimensionamiento de la GHE. Clasificación de intercambiadores de calor geotérmicos [33].

3.5.1 Intercambiador de calor tipo vertical.

En los sistemas de GCHP verticales, las configuraciones GHE pueden incluir uno, decenas, o incluso centenares de pozos, cada uno con uno o dobles tubos en U a través del cual se hace circular fluido de intercambio de calor. Las tuberías en U tienen un diámetro que va de 19 a 38 mm y cada pozo de sondeo es normalmente 20 a 200 m de profundidad con un diámetro que varía de 100 mm a 200 mm. El espacio anular del pozo generalmente se rellena con un material especial (llamado lechada) que pueden evitar la contaminación de las aguas subterráneas [34]. Un pozo típico con un solo tubo en U se ilustra en la **Figura 10**.

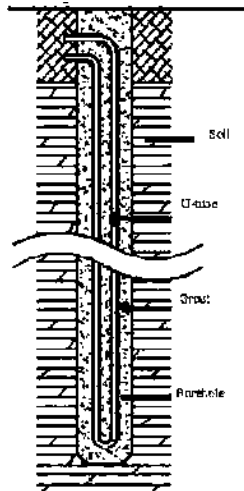


Figura 10 Esquema de un intercambiador de calor tipo vertical.

El sistema GCHP verticales requiere menos cantidad de espacio para la instalación de tuberías, extraen mayor cantidad de energía térmica por unidad de longitud, y trabaja con el suelo con pequeñas variaciones en la temperatura y las propiedades térmicas. Sin embargo, el costo de instalación para GCHP vertical es normalmente alta, con un costo de perforación de aproximadamente la mitad del coste total de la instalación de GCHP [35]. La **figura 11** ilustra el principio de funcionamiento del sistema de GCHP, en la que, el fluido distribuido (agua u otro fluido anticongelante) dentro GHE absorbe (o disipa) el calor a través de los tubos en forma de U (típicamente de polietileno de alta densidad (HDPE)). Dependiendo de la temporada, el suelo puede servir ya sea como el disipador de calor durante el verano o la fuente de calor durante el invierno. Como el GHE juega un papel crucial en el rendimiento del sistema en general, se han realizado enormes esfuerzos para desarrollar modelos de simulación de GHE, que podría ser cualquiera de los modelos analíticos o modelos numéricos, para entender el proceso de transferencia de calor asociado.



Figura 11 Esquema de funcionamiento de un intercambiador de calor geotérmico tipo vertical.

3.5.2 Intercambiador de calor tipo horizontal.

Los HGHEs, tienen la ventaja de bajo costo de instalación, sin embargo, requiere la instalación en grandes áreas y por lo general se ve afectada por la variación de la temperatura del suelo y la humedad [35] proporcionar una solución alternativa GHE en los suburbios con tierras suficientes, tales como campos de golf, las granjas y las casas rurales. El sistema HGHE generalmente se entierra en una zanja poco profunda con una configuración de tubería lineal o espiral pudiendo ser tubos individuales / múltiple [36] como se muestra en la **figura 12**.

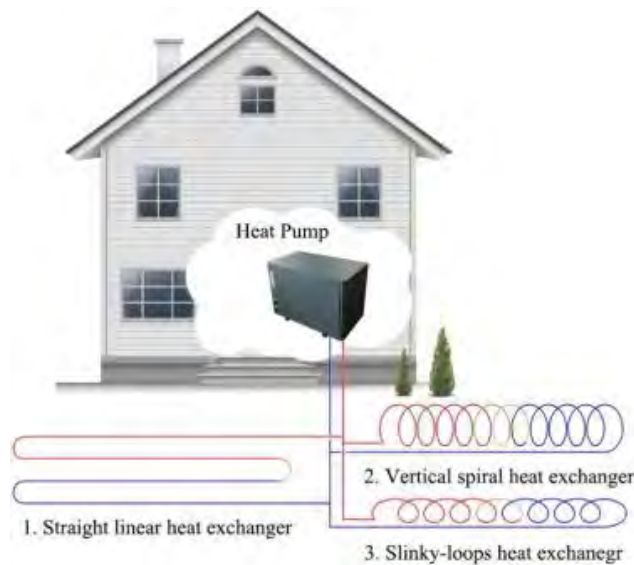


Figura 12 Esquema de un intercambiador de calor geotérmico tipo horizontal.

Además, una ventaja que presenta radica en que la temperatura del suelo que rodea a los HGHEs está sensiblemente afectada por la temperatura de la superficie del suelo, y también tiene la capacidad de recuperar rápidamente su temperatura original una vez que el enfriamiento o las operaciones de calentamiento han dejado de realizarse [37].

La longitud de los intercambiadores de calor tipo horizontal depende de la distribución del terreno y la cantidad de área disponible para las labores de instalación, pero el tamaño de los intercambiadores va a depender también de las herramientas para realizar la perforación (zanjas), del tipo de terreno de la formación del terreno predominante. Los intercambiadores de calor geotérmico horizontales pueden ser instalados; bajo estructuras, campos de fútbol parques o zonas abiertas [38].

3.5.3 Intercambiador de calor Slinky.

Los intercambiadores de calor geotérmicos Horizontales han sido ampliamente utilizados en muchos países como la fuente de calor para los sistemas de bomba de calor geotérmica. Cuando el espacio de tierra disponible es abundante para la instalación de intercambiadores de calor geotérmicos, los intercambiadores de calor geotérmicos horizontales proporcionan una opción rentable debido a los bajos costes de instalación. Los intercambiadores horizontales Slinky-helicoidal, que básicamente están enrollados en forma de hélices, requieren menos espacio de tierra que los intercambiadores de calor convencionales rectos horizontales de tierra debido a la mayor densidad de instalación de tuberías de intercambio de calor por área dada.

HGHEs Slinky-bobina utilizan tubos de intercambio de calor helicoidales en lugar de tubos rectos, como se muestra en la **figura 13**. HGHEs Slinky-helicoidales pueden absorber una mayor cantidad de energía por unidad de longitud del foso debido a la mayor longitud de la tubería por unidad de longitud de la zanja. Por lo tanto, la aplicación de bobinas Slinky podría reducir la necesidad de espacio de tierra, lo que facilitaría la aplicación de sistemas geotérmicos con HGHEs, incluso en casos de limitada disponibilidad de terreno [39].

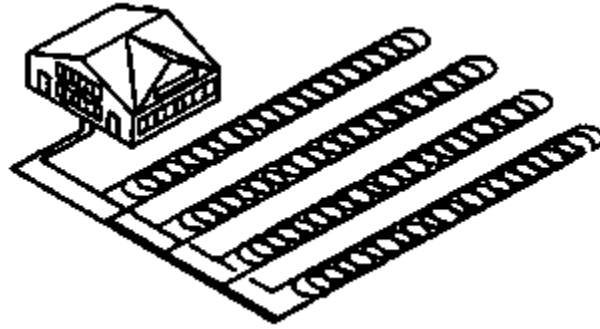


Figura 13 Esquema de la configuración de un intercambiador de calor geotérmico tipo Slinky.

La selección de un intercambiador de calor horizontal, vertical o “Slinky” dependerá de la superficie de terreno disponible, la potencia a disipar y los costes de instalación. Generalmente los sistemas horizontales se emplean para instalaciones de baja potencia (viviendas) con grandes superficies disponibles, mientras que los sistemas verticales permiten la ejecución de grandes instalaciones con una perfecta integración en la edificación y sin hipotecar grandes superficies de terreno. La configuración “Slinky” es una variante de la horizontal –consistente en disponer la tubería formando bucles o espiras– que se emplea para instalar la mayor longitud de intercambiador con la menor excavación posible.

Para diseñar cada tipología de intercambiador de calor enterrado habrá que tener en cuenta lo siguiente:

Intercambiador de calor horizontal.

- Profundidad de zanja
- N° de zanjas
- Espacio entre las sondas en cada zanja

Intercambiador de calor tipo vertical

- Profundidad de cada perforación
- N° de perforaciones
- Distancia entre perforaciones (se recomienda que esta distancia no sea menor a los 6 metros para evitar interferencias térmicas entre las perforaciones, distancia que deberá aumentarse cuando la conductividad del terreno sea elevada)

Intercambiador de calor tipo “Slinky”

- Profundidad de zanja
- N° de zanjas
- Diámetro y paso de las espiras

En las siguientes gráficas se muestran las distintas configuraciones según la trayectoria del fluido **figuras 14 y 15**, en las instalaciones en serie hay solamente una trayectoria para el fluido, mientras que en un sistema en paralelo el fluido puede tomar dos o más trayectorias en alguna parte del circuito. El diseñador seleccionará un modo de circulación u otro teniendo en cuenta las ventajas e inconvenientes que se citan a continuación.

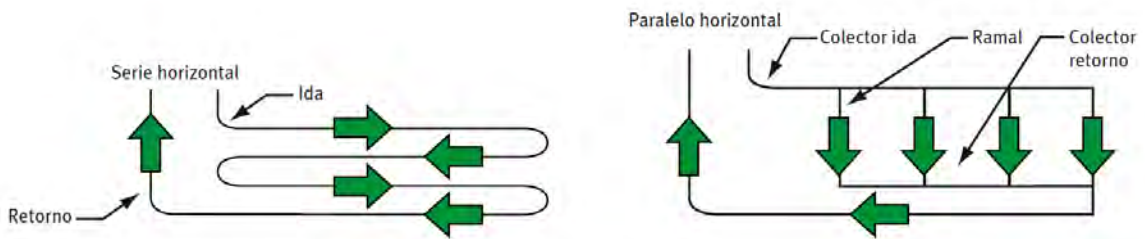


Figura 14 Flujo en serie/paralelo en configuración horizontal

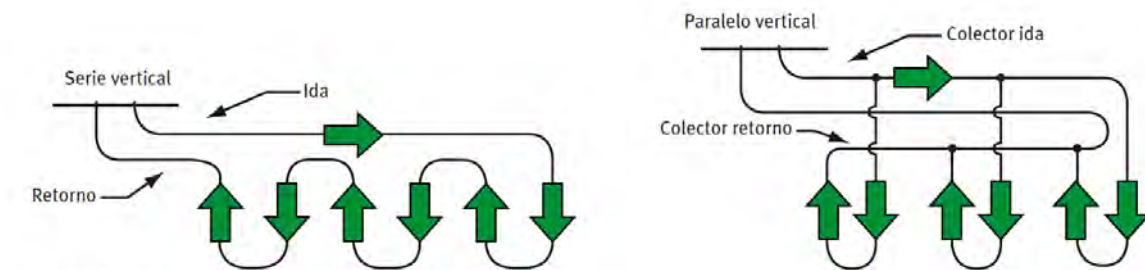


Figura 5.7: Flujo en serie/paralelo en configuración vertical

Figura 15 Flujo en serie/paralelo en configuración vertical

Ventajas del sistema en serie

- La trayectoria del fluido está perfectamente definida.
- El aire atrapado puede ser eliminado con gran facilidad (purga).
- Funcionamiento térmico más alto por metro lineal de tubo puesto que se requiere de un diámetro superior.

Desventajas del sistema en serie

- Se necesita un diámetro mayor para el tubo, lo que implica mayor cantidad de fluido y anticongelante (en su caso), es decir, aumenta el coste de la instalación.
- Longitud limitada debido a la caída de presión del fluido.

Ventajas del sistema en paralelo

- Coste de instalación más bajo al disminuir los diámetros necesarios y la cantidad de fluido de intercambio.

Desventajas del sistema en paralelo

- Hay que tener un cuidado especial para eliminar el aire que pueda quedar atrapado.
- Problemas para equilibrar el flujo en los distintos bucles [40].

4 Capítulo IV. Modelado Mediante técnica BIM.

BIM (Building Information Modeling) se ha convertido en una potente solución que puede mejorar muchos aspectos de la industria de la construcción. BIM es actualmente la denominación más común para una nueva forma de abordar el diseño, construcción y mantenimiento de los edificios [41]. Es la creación y uso de información coordinada y computable, consistente, sobre un proyecto de construcción - información que es paramétrica y que se puede utilizar para el diseño de la toma de decisiones, la producción de documentos de construcción de alta calidad, la predicción del comportamiento del edificio, la estimación de costos y la planificación de la construcción, se ha planteado que en un futuro próximo, BIM se utilizará para construir prácticamente un proyecto completo a través de simulaciones antes de que se erige o se construye en la realidad. BIM puede ayudar a los siguientes aspectos de diseño eficiente.

- Volumetría del edificio, que se utiliza para analizar la forma de un edificio y optimizar su sobre - Se utiliza para evaluar la transferencia de calor a través de la envolvente del edificio con el fin de gestionar la calefacción y las cargas de enfriamiento (Calculo de cargas térmicas).
- Modelado de la energía, para reducir las necesidades de energía y analizar opciones de energía renovable - BIM se puede utilizar para comprender el costo de la energía total de un edificio antes de que sea construido, por lo que es más fácil reconocer formas de construir de manera más eficiente.
- La orientación del edificio, a través de la selección de una buena orientación. La orientación del edificio tiene un impacto en la capacidad de un edificio para calentar de forma natural un espacio interno. Un modelo BIM se puede utilizar para entender el impacto que puede tener la orientación sobre el consumo de energía durante las primeras etapas de un proyecto.

Ventajas

- Mejor Coordinación: Cuando hay varios individuos trabajando sobre un mismo proyecto, las coordinaciones no están difícil como con los dibujos en 2D. El software de BIM puede destacar interferencias en rojo, inmediatamente.

- Aumento productividad, menos horas-hombre: Esto se traduce a menores costos o en mejores honorarios... me inclino por la segunda claramente.
- Diseño y mejor calidad de detalle: Con este sistema se puede dedicar más tiempo al diseño ya que se reduce el tiempo en que hay que pasar los bosquejos iniciales a CAD. Además, este sistema exige pensar y diseñar todos los detalles, ya que, de no hacerlo, el modelo queda inconcluso.
- Control de la información del proyecto: La base de datos de BIM, cuando se utiliza de una forma óptima se convierte en la fuente central para toda la información del proyecto, dando costos, ubicaciones, etc.
- Educativo para los proyectistas jóvenes: Estos programas al exigir mayor cantidad de detalle, obligan a los proyectistas jóvenes que trabajan en grandes proyectos a tomar decisiones de proyecto, o sea, fuerza a proyectistas jóvenes encontrar respuestas inmediatamente.
- Facilita la relación con el cliente: poder mostrarle al cliente cómo va avanzando el diseño de la obra en 3D sin duda es un plus muy valorado.

Desventajas.

Claramente estos son procesos que duran varios años, y sin duda el CAD será una herramienta útil para diseñar elementos que en BIM aún son muy complejos, pero cada vez tendrá menos sentido dedicar horas y horas a un detallado corte asignándole espesores y medidas, cuando en un modelo BIM basta con indicar por dónde hay que pasar el o los cortes en el modelo que ya está listo.

Requerimiento de un equipo de cómputo con una gran capacidad de proceso.

4.1 Software que pueden emplearse para el uso del método BIM.

Autodesk Revit Architecture De todas las aplicaciones BIM, es la más joven de todas ya que esta tiene un planteamiento más radical respecto a la tecnología de objetos. La empezó a desarrollar la compañía Revit Technology Corporation como el primer software de diseño arquitectónico totalmente paramétrico. En el 2002, la empresa fue comprada por Autodesk, la cual buscaba soluciones por su entonces inoperante Architectural Desktop (actualmente AutoCAD Architecture). Viendo el potencial de Revit, Autodesk decidió mantener el

desarrollo de las dos líneas de software sin cortar ninguna de las dos. Revit debería tener más futuro a largo plazo que AutoCAD Architecture puesto que se trata de una aplicación muy coherente y potente, pero, por el momento, las dos aplicaciones conviven pacíficamente al estar destinadas a un público diferente. Desktop permite una migración menos arriesgada y más progresiva mientras que Revit está destinado a implementar completamente la tecnología BIM. El programa usa un archivo único que contiene toda la información del proyecto, incluidas las vistas, las láminas y las bibliotecas de objetos paramétricos. De todas las aplicaciones BIM, es la que está más orientada hacia la tecnología de Modelos de información, disfrutando de una estructura interna muy coherente en la que cualquier elemento del proyecto es tratado de manera similar. Por otra parte, dispone de una interface gráfica de parametrización, al estilo del software especializado, que le permite modelar cualquier elemento con independencia de su uso. También disfruta de herramientas que le permiten establecer determinadas relaciones asociativas entre objetos, sean del tipo que sean. Todo esto es posible gracias a su motor de transmisión de los cambios en tiempo real (de hecho, Revit es el acrónimo de Revise Instantly). Gracias a él, cualquier cambio efectuado desde una vista, es transmitido al resto de manera instantánea, puesto que, a diferencia de la competencia, no se trata de representaciones generadas con posterioridad, sino vistas dinámicas de la base de datos global. Por otra parte, está muy orientado a la parametrización de la información del edificio a todos los niveles y por esto disfruta de una interface gráfica para el modelado paramétrico de los objetos y de un elevado grado de interrelación de los componentes arquitectónicos, independientemente de su naturaleza. En general, se trata de una aplicación muy intuitiva de emplear, con una interface cuidada y muy coherente, y con una documentación bastante cuidada. Por el contrario, su juventud, a la que debe su vanguardista diseño, también explica algunas carencias en algunos aspectos muy concretos, como por ejemplo la falta de pre visualización en algunos cuadros de diálogo, o la falta de conexión directa con algunas aplicaciones, aunque la interacción con otras herramientas de Autodesk sea excelente. Revit Architecture tiene dos aplicaciones gemelas, Revit MEP y Revit Structure, especializadas en la generación de objetos de instalaciones y estructurales respectivamente. Ambas aplicaciones son capaces de conectarse dinámicamente con herramientas de cálculo especializado [42].

La interface de trabajo de AutodeskRevit se aprecia en la **figura 16**.

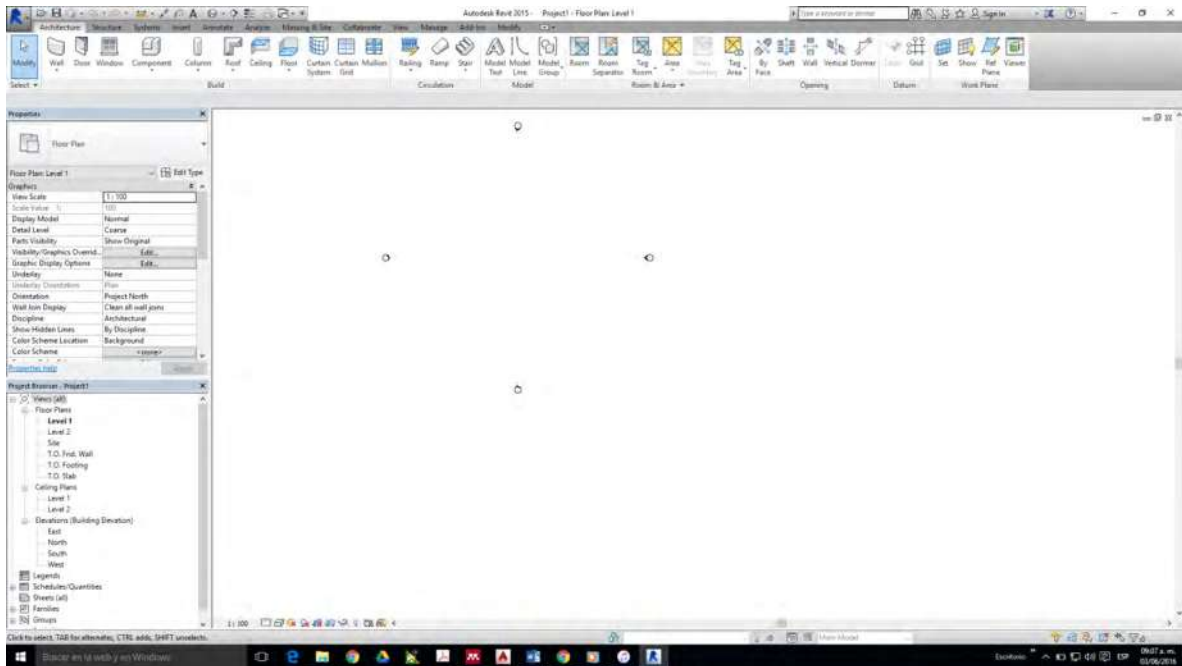


Figura 16 Vista de la interface de trabajo de Autodesk Revit 2015.

5 Capítulo V. Dimensionamiento de intercambiador de calor mediante metodología IGHSPA.

5.1 Caso de estudio.

5.1.1 Casa de interés social.

Se entiende por viviendas de interés social aquellas que se desarrollen para garantizar el derecho a la vivienda de los hogares de menores ingresos. En cada Plan Nacional de Desarrollo el Gobierno Nacional establecerá el tipo y precio máximo de las soluciones destinadas a estos hogares teniendo en cuenta, entre otros aspectos, las características del déficit habitacional, las posibilidades de acceso al crédito de los hogares, las condiciones de la oferta, el monto de recursos de crédito disponibles por parte del sector financiero y la suma de fondos del Estado destinados a los programas de vivienda."

Por su parte, el artículo 117 de la Ley 1450 de 2011 señala:

"De conformidad con el artículo 91 de la Ley 388 de 1997, la vivienda de interés social es la unidad habitacional que cumple con los estándares de calidad en diseño urbanístico, arquitectónico y de construcción y cuyo valor no exceda ciento treinta y cinco salarios mínimos mensuales legales vigentes (135 smlmv). La **figura 17** muestra un modelo de casa de interés social [43]. Durante los últimos años en Latinoamérica se ha observado un incremento importante en la construcción de *viviendas de interés social* (VIS), localizadas en todo tipo de climas y en todas las zonas, la VIS debe cumplir con los parámetros de calidad especificados, adicionalmente, el diseño y la construcción de VIS deben incluir el uso sostenible de los recursos naturales en la tabla se ilustran las características que debe cumplir una vivienda de interés social según [44].

Tabla 6 Requerimientos de una casa de interés social [44].

Característica VIS	Descripción
Vivienda segura y eficiente	Construcción sismorresistente
	Uso adecuado del agua
	Adecuadas instalaciones eléctricas
	Apropiadas instalaciones de iluminación y alumbrado público
Valor	135 SMMLV
Área mínima de lote	35 m ²
Frente mínimo	3.5 m
Altura mínima	2.5 m para clima frío y templado
	2.7 m para clima cálido seco y húmedo
Áreas mínimas	Dormitorio = 7.3 m ²
	Cocina = 3.6 m ²
	Baño = 2.8 m ²
	Cuarto de ropas = 1.1 m ²
	Salón comedor = 15.6 m ²
	Área múltiple = 14.6 m ²
Lado mínimo	Dormitorio = 2.7 m
	Cocina = 1.5 m
	Baño = 1.2 m
	Cuarto de ropas = 0.8 m
	Salón comedor = 2.8 m
	Zona múltiple = 2.7 m



Planta

Figura 17 Modelo de una casa de interés social [45].

En base al modelo establecido se desarrolló el modelo de forma virtual mediante el software AutodeskRevit, integrando los componentes que conformar a la edificación; el modelo terminado se aprecia en la **figura 18**.

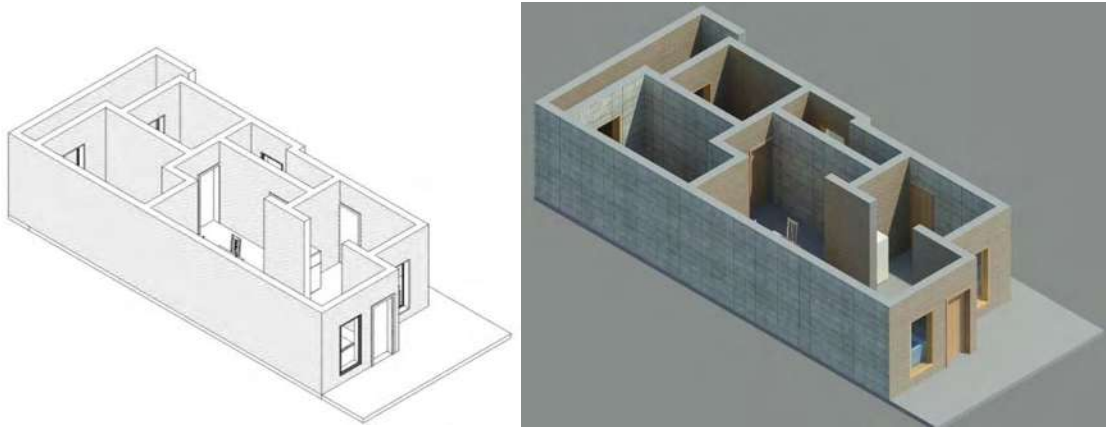


Figura 18 Vista isométrica de modelo virtual de la casa de interés social.

La edificación está constituida por: Sala, Cocina, Comedor, Baño, Recamara y Recamara Principal. Los cuales se aprecian en la **figura 19**.

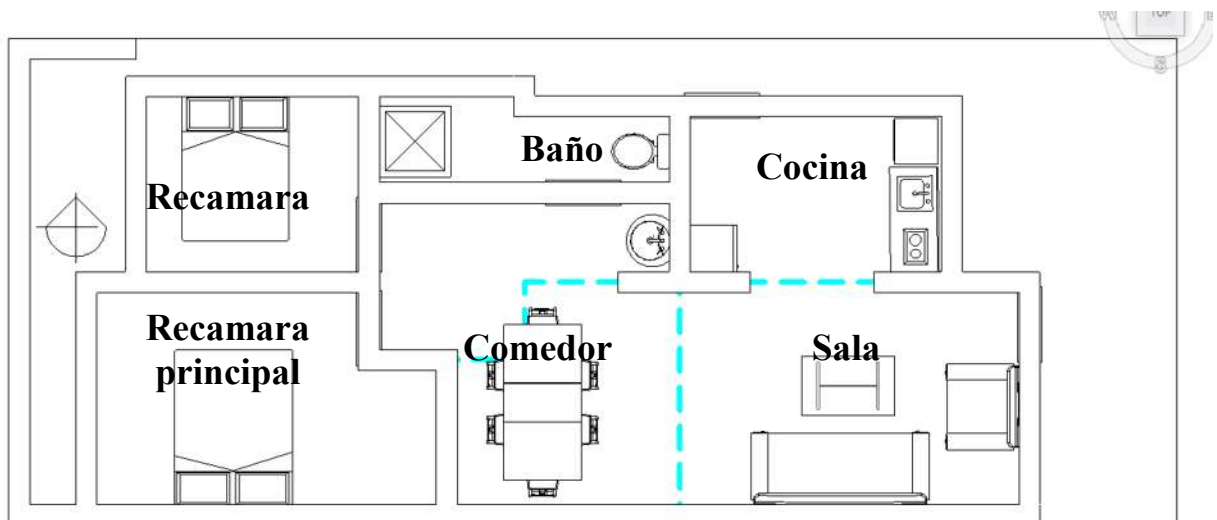


Figura 19 Vista en planta de la casa de interés social, donde se identifican los espacios correspondientes de la edificación.

5.2 Construcción del modelo en AutodeskRevit 2015.

Levantamiento de muros principales. El proceso de construcción se inició con la elaboración de los muros perimetrales, como lo muestra la **figura 20**.

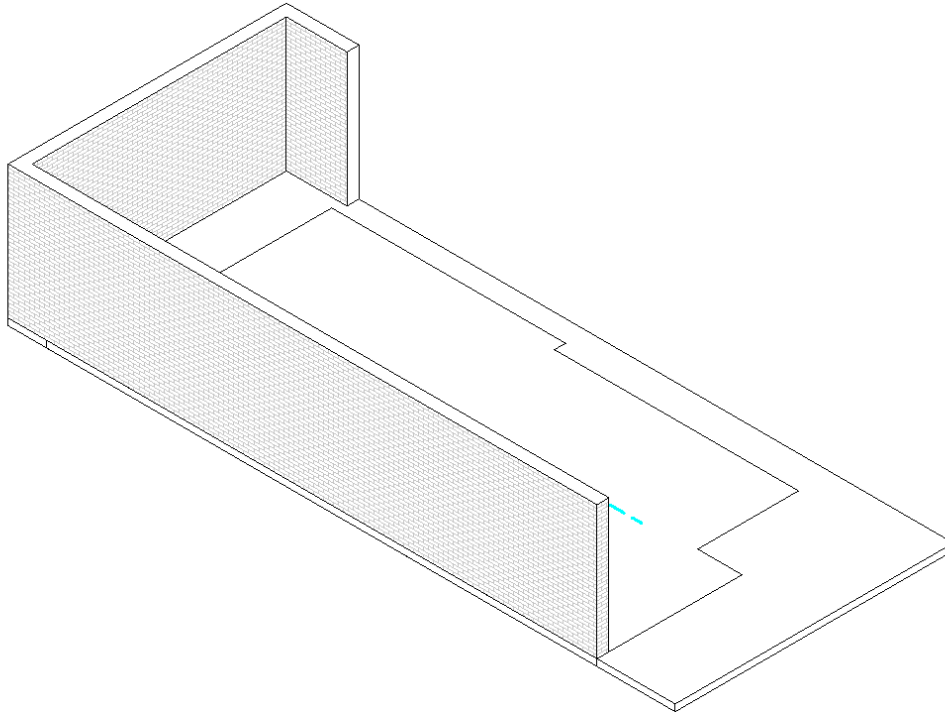


Figura 20 Levantamiento de los muros perimetrales de la casa de interés social.

Definidos muros se le asignan las propiedades térmicas y mecánicas al elemento de muro las, propiedades se identifican en las **tablas 7 y tabla 8**.

Tabla 7 Propiedades físicas del material de construcción de los muros.

Físico	
Comportamiento	Isotrópico
Módulo De Young	23,250.0 MPa
Coefficiente De Poison	0.17
Módulo Cortante	9,964 MPa
Densidad	1,800 kg/m ³

Tabla 8 Propiedades térmicas del material de construcción de los muros.

Térmico	
Comportamiento	Isotrópico
Conductividad Térmica	1.3 w/(m·K)
Calor Especifico	0.84 J(g·°C)
Densidad	1,800 kg/m ³
Emisividad	0.95
Permeabilidad	0 ng/(PA·s·m ²)
Porosidad	0.01
Reflexividad	0
Resistencia Eléctrica	2,000,000 Ω·m

Las propiedades físicas y térmicas de las ventanas se aprecian en la **tabla 9**.

Tabla 9 Propiedades térmicas de las ventanas de la casa habitación.

Comportamiento	Isotrópico
Conductividad Térmica	1.1 w/(m·K)
Calor Especifico	0.84 J(g·°C)
Densidad	2,400 kg/m ³
Emisividad	0.95
Permeabilidad	0 ng/(PA·s·m ²)
Porosidad	0.01
Reflexividad	0
Resistencia Eléctrica	1.0000 E+10 Ω·m

La configuración de las ventanas se aprecia en la **figura 21**.

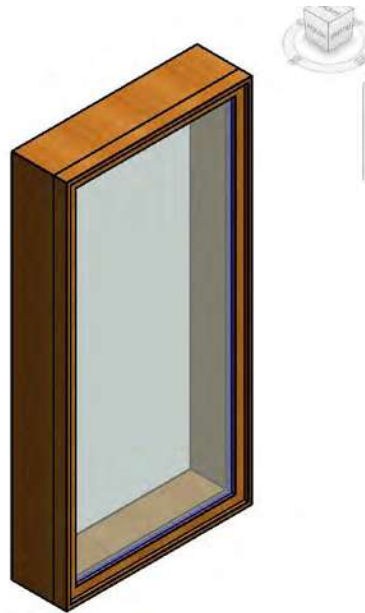


Figura 21 Representación de la ventana de la Casa de Interés social.

Los componentes de madera no se consideran para el cálculo de las cargas térmicas de la vivienda.

Las iluminarias utilizadas son focos de 25 watt C/U colocando una unidad en cada espacio de la vivienda, la carga por la equipos y electrodomésticos se aprecia en la **tabla 10**.

Tabla 10 Aporte de calor por componentes misceláneos e iluminación.

Componente	Potencia [W]
Focos	175
Computadoras	100
Horno	1000
Estufa	1000

5.3 Cargas de enfriamiento.

Las variables que afectan los cálculos de cargas de enfriamiento son numerosas, frecuentemente difíciles de precisar y siempre intrínsecamente relacionadas entre sí. Muchos componentes de las cargas de enfriamiento varían en un amplio rango de magnitud durante un período de 24 horas. Como estos cambios cíclicos de los distintos componentes a tomar en cuenta, generalmente ocurren desfasados entre sí, cada uno debe ser analizado individualmente para establecer una resultante de carga de enfriamiento máxima para cada edificio o zona del mismo. Un sistema zonificado (un sistema cuyos equipos de aire acondicionado sirvan para distintas áreas independientes, cada una con su propio control de temperatura) no necesita reconocer grandes capacidades de cargas de enfriamiento más que sumatorio total de las cargas simultáneas de las distintas zonas a lo largo de las horas del día de diseño; sin embargo, debe manejar el pico de carga de enfriamiento para cada zona en el lapso específico de máximo registro. A ciertas horas del día durante temporadas calurosas o intermedias, algunas zonas requerirán calefacción mientras que otras, refrigeración.

5.3.1 Ganancia de Calor del Espacio.

Esta tasa instantánea de ganancia de calor es el modo en el cual el calor entra y/o es generado dentro de un espacio para un instante dado. La ganancia de calor se clasifica por 16 a) las formas de ganancia de calor al espacio y b) Si es una ganancia de calor sensible o latente.

5.3.2 Formas de ganancia de calor al espacio.

Los modos en que puede ocurrir ganancia de calor son a) Radiación solar a través de superficies transparentes; b) Conducción de calor a través de paredes y techos exteriores; c) Conducción de calor a través de particiones internas, aislamientos y suelos; d) Calor generado en el espacio por los ocupantes, luces y equipos; e) Energía transferida como resultado de la ventilación o la infiltración de aire externo; o f) Ganancias varias de calor.

5.3.2.1 Ganancia de Calor Sensible y Latente.

La ganancia de calor Sensible se suma directamente al espacio acondicionado por conducción, convección y/o radiación. La ganancia de Calor Latente ocurre cuando la humedad aumenta en el ambiente (Ej., del vapor emitido por los ocupantes y equipos). Para mantener una humedad constante, el exceso de vapor debe ser condensado en los aparatos de refrigeración a una tasa igual a la que entra en el espacio. La cantidad de energía requerida

para compensar la ganancia de calor latente esencialmente es igual al producto de la tasa de condensación y al calor latente de condensación. En la selección de aparatos de enfriamiento, es necesario distinguir entre la ganancia de calor sensible y latente. Cada aparato de enfriamiento tiene un máximo de capacidad para extraer calor sensible y un máximo para el calor latente según las condiciones de operación particulares.

5.3.2.2 Carga de refrigeración del espacio.

Esta es la tasa a la cual el calor debe ser removido del espacio para mantener constantes las condiciones de temperatura del aire. La sumatoria de cada una de las ganancias de calor en cada instante no es necesariamente igual a la carga de refrigeración del espacio para el mismo instante.

5.3.2.3 Ganancia de Calor por Radiación.

La ganancia de calor por radiación del espacio, no se convierte de un modo instantáneo en una carga de enfriamiento. La energía de Radiación debe ser primero absorbida por las superficies que encierran el espacio (paredes, pisos y cerramientos) y los objetos en el espacio (mobiliario, adornos, etc.). Tan pronto como estas superficies y objetos se calientan más que el aire del espacio, parte del calor absorbido es transferido al aire por convección. La capacidad de almacenar calor de estas superficies y objetos determinará la tasa a la cual incrementará la temperatura superficial de ellos al someterse a procesos de radiación, y de este modo ocurre la interacción entre la porción de calor por radiación y su correspondencia con parte de la carga de enfriamiento del espacio. Del efecto de almacenamiento térmico es de quien depende la diferenciación entre los instantes de ganancia de calor y de carga de enfriamiento para un instante dado.

5.3.2.4 Tasa de Extracción de Calor del Espacio.

La tasa en que el calor es removido del espacio acondicionado equipara a la carga de enfriamiento del mismo, en la medida que la temperatura de aire del espacio se mantenga constante.

5.3.2.5 Carga del “Cooling Coil”.

La tasa a la cual se remueve la energía en el “Cooling Coil” que sirve a uno o más espacios acondicionados equipara a la suma de las cargas instantáneas de enfriamiento de cada espacio (o la tasa de extracción de calor del espacio si se considera que la temperatura de la zona no

varía) para todos los espacios que comprende, junto a cualquier otra carga externa adicional. Entre tales cargas externas se incluyen las ganancias de calor en el sistema de distribución entre los espacios individuales y la unidad de enfriamiento, y el calor del aire y la humedad que se insertan en los sistemas de distribución a través de la unidad de enfriamiento [46].

5.4 Estimación de la carga de acondicionamiento del recinto.

La estimación de la carga de refrigeración o calefacción es necesaria para poder dimensionar correctamente la instalación: potencia de los equipos, conductos de aire, tuberías de agua, sistema de control, etc. Para ello deben escogerse unas condiciones interiores y exteriores de cálculo, que vienen determinadas por el reglamento de calefacción y refrigeración que es de obligado cumplimiento. Deberán tenerse en cuenta todas las cargas, tanto interiores como exteriores, régimen de funcionamiento de las instalaciones y utilización del recinto que debe climatizarse. El sistema de climatización debe diseñarse de forma tal que, para un día y una hora de máxima carga, sea capaz de mantener las condiciones de bienestar deseadas.

5.4.1 Cargas exteriores.

Las cargas exteriores consisten en:

5.4.1.1 Radiación solar que entra a través de cerramientos transparentes.

Deben considerarse: la radiación incidente, factores de amortiguación debidos a persianas o cortinas y calidad del vidrio y sombras proyectadas por elementos exteriores.

5.4.1.2 Radiación solar sobre cerramientos opacos.

El calor penetra en la pared debido a la radiación solar, provocando un almacenamiento de calor en la pared y un retraso en la llegada de la demanda de calor en el interior, esto hace que la demanda real no coincida con la instantánea calculada a partir de las condiciones exteriores e interiores.

5.4.1.3 Temperatura del aire exterior.

Una temperatura del exterior más alta que la del interior hace que el calor fluya a través de las ventanas, tabiques y suelos.

5.4.1.4 Presión del vapor de agua.

El vapor de agua pasa a través de la mayoría de los materiales utilizados en la construcción de paredes y forjados, y su flujo depende de la diferencia de su presión parcial a ambos lados de la pared y circula en el sentido de mayor a menor presión.

5.4.1.5 Viento que sopla contra una pared del edificio.

El viento hace que el aire exterior se infiltre a través de las rendijas de puertas y ventanas. Debido a que las condiciones de temperatura y humedad del aire exterior no coinciden con las del interior, esta infiltración se traduce en carga térmica que puede ser sensible y/o latente.

5.4.1.6 Aire exterior necesario para la ventilación.

Generalmente, se necesita aire exterior para renovar parte del aire interior a fin de mantener las condiciones de salubridad y bienestar. Como en el caso de las infiltraciones, esta sustitución de aire interior por exterior, impone una carga que puede ser muy importante y que deberá tenerse en cuenta.

5.5 Cargas internas.

La carga interna es originada por elementos que generan calor en el interior del espacio acondicionado y depende de su aplicación, por eso habrá que aplicar a todas las cargas internas el correspondiente factor de utilización. Las fuentes de calor internas son:

5.5.1 Personas.

El cuerpo humano genera calor en su interior y lo cede por radiación, convección y evaporación desde su superficie, y por convección y evaporación a través del sistema respiratorio. La cantidad de calor generado y disipado depende de la temperatura ambiente y del grado de actividad de la persona.

5.5.2 Iluminación.

Los elementos de iluminación convierten la energía eléctrica en calor y en luz.

5.5.3 Utensilios y herramientas.

Los restaurantes, hospitales, laboratorios y determinados establecimientos tienen aparatos eléctricos, de gas o de vapor que desprenden calor que contribuyen a la carga térmica interior.

5.5.4 Aparatos electrónicos y equipos informáticos.

Estos dispositivos disipan calor durante su funcionamiento, deben consultarse los datos de fábrica para valorar su disipación de calor. Si no se conoce, una opción prudente es aceptar que es igual a la potencia eléctrica consumida multiplicada por un factor de utilización.

5.5.5 Motores eléctricos.

Los motores eléctricos constituyen una carga muy importante en las instalaciones industriales, por lo que debe hacerse un cuidadoso análisis que tenga en cuenta: potencia, horas de funcionamiento y carga parcial.

5.5.6 Tuberías de conducción de fluidos.

Por algunos recintos climatizados pueden pasar conducciones a temperatura distinta de la del aire ambiente, en consecuencia, cederán o captarán calor en función de la diferencia del salto térmico entre la tubería y el aire, y del estado de reposo o movimiento del mismo.

5.5.7 Diversas fuentes de calor.

Pueden existir otras fuentes de calor y de humedad dentro del espacio acondicionado, como, por ejemplo: escapes de vapor de máquinas de lavar y planchar, ventiladores y bombas del propio sistema de acondicionamiento de aire y otros, que también deberán tenerse en cuenta en el cálculo riguroso de la carga sensible y latente.

5.6 Diferencia entre el cálculo de las cargas de refrigeración y la de calefacción.

Para el cálculo de la carga de refrigeración de un recinto, deben tenerse en cuenta todas las cargas debidas a fuentes interiores y exteriores, diferenciando claramente las cargas sensible, latente y total, ya que la elección del equipo frigorífico depende de la carga total y de la relación entre las cargas sensible y latente. Sin embargo, en el cálculo de la carga de calefacción, en la mayoría de casos, solamente suele tenerse en cuenta las cargas de calor sensible debidas a fuentes exteriores debido a varias razones:

5.6.1 Cargas interiores.

En la mayoría de los casos, el aporte de calor debido a fuentes interiores, es mucho menor que la demanda de calefacción del recinto y el no contabilizarlo sólo implica un ligero sobredimensionado de la potencia del generador de calor.

5.6.2 Carga sensible.

Debido a que la humedad absoluta del aire exterior, en temporada de calefacción, es mucho menor que la del aire interior, con lo cual la renovación de aire interior por exterior implica pérdida neta de vapor de agua. Generalmente, esta pérdida es compensada por la ganancia de humedad debida a fuentes interiores y puede despreciarse.

5.6.3 Potencia del generador de calor.

El rendimiento de una caldera depende de su carga parcial, pero en menor grado que el de una máquina frigorífica. Además, el coste unitario de instalación (\$/kW) de una caldera, es menor que el de una máquina frigorífica. Por ambas razones, sobredimensionar ligeramente una caldera no comporta un coste añadido excesivo y, por otro lado, asegura que será capaz de cubrir la demanda de calefacción en condiciones muy extremas.

5.6.4 Inercia térmica de cerramientos y forjados.

Debido a que la diferencia de temperatura atmosférica y de bienestar puede ser considerable. Si un edificio no se utiliza, la temperatura media de sus cerramientos y forjados es próxima a la temperatura media atmosférica diaria; en cambio, cuando se utiliza, su temperatura aumenta hasta niveles más próximos a la temperatura de bienestar. Cuando un edificio está sometido a un régimen de trabajo intermitente, deben tenerse en cuenta los datos climáticos y el régimen de intermitencia para garantizar el aporte de calor extra necesario durante el período de puesta en marcha de la instalación [47]. La **figura 22** muestra el esquema de cálculo de que se debe llevar para la determinación de las cargas térmicas.

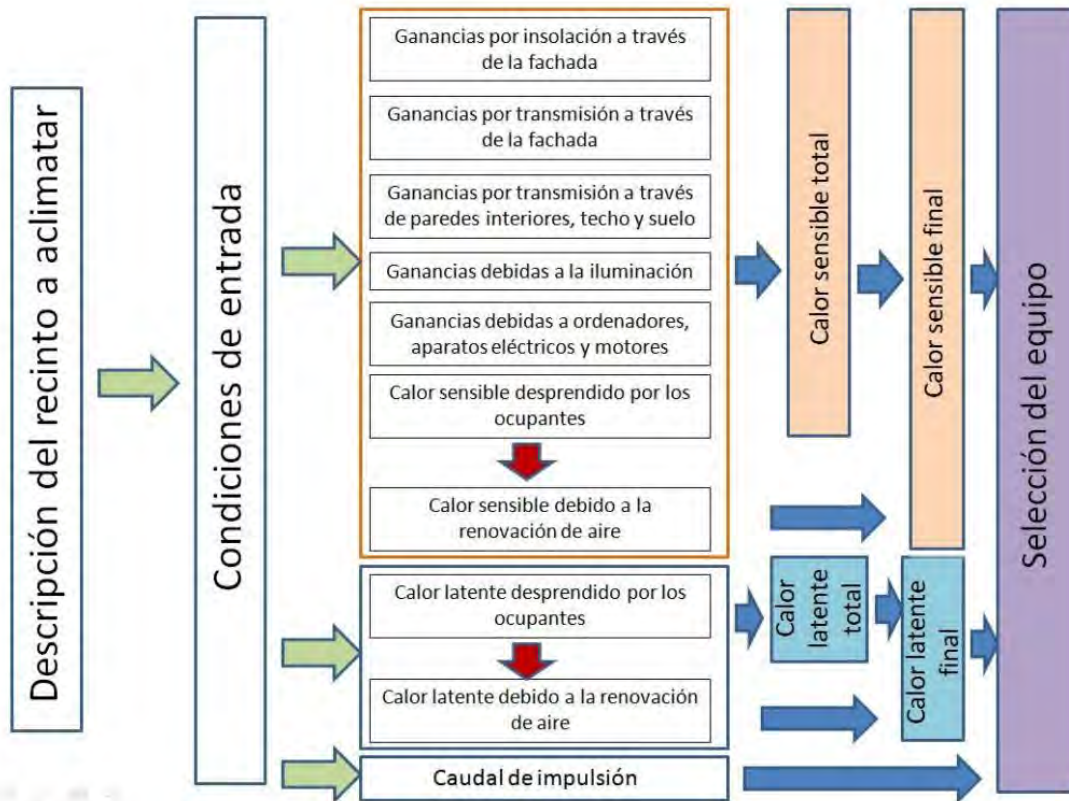


Figura 22 Esquema del proceso de cálculo de las cargas térmicas de un recinto determinado.

5.7 Modelos de cargas térmicas y la selección del equipo de acondicionamiento de aire (equipo de bomba de calor geotérmicas).

Para el cálculo de las cargas térmicas de un recinto de forma exhaustiva, es necesario seguir una serie de pasos. Sin embargo, para éste estudio se harán varias simplificaciones para facilitar los cálculos. Los procedimientos de cálculo de cargas térmicas, tablas de valores y coeficientes de corrección que se explican en este apartado se basan en el método descrito por el Manual de aire acondicionado de la compañía Carrier [48].

5.7.1 Simplificaciones previas.

Éstas simplificaciones son de carácter restrictivo atendiendo al hecho que éste proyecto no pretende satisfacer los cálculos de cargas térmicas de cualquier localidad y cualquier tipo de material constructivo, sino que pretende ser un ejemplo de cómo hacer una estimación de las cargas térmicas, y posteriormente de cómo seleccionar un equipo de acondicionamiento de aire adecuado. Las simplificaciones a considerar son las siguientes:

La localidad de estudio será Morelia Michoacán México, tomando los datos del cálculo realizado mediante AutoreskRevit. Así, las condiciones climáticas exteriores de proyecto en cuestión se aprecian en la **tabla 11**.

Tabla 11. Propiedades y localización geográfica del caso de estudio.

Proyecto	Casa de interés social
Fecha de calculo	sábado, 2 de mayo de 2015
Tipo de reporte	Simple
Latitud de la casa habitación	19° 42' N
Longitud de la casa habitación	-101° 11' O
Temperatura Bulbo seco verano	93.2 F
Temperatura de Bulbo húmedo verano	68 F
Temperatura Bulbo seco invierno	35.6 F
Rango medio diario	55.4 F

Dada la localización de Morelia, Los cálculos de las cargas térmicas se realizarán en condiciones estacionarias del recinto a estudiar, debido a que para regímenes transitorios el dimensionado del sistema de acondicionamiento de aire no sería válido ni fiable.

5.7.2 Ganancias por insolación a través de las ventanas de la fachada.

Las ganancias por insolación a través de las ventanas sólo generan calor sensible. Al calcular estas ganancias (**ver Ecuación 1**) es necesario conocer la orientación de la fachada para encontrar (ver Tabla A.1 del Anexo A) cuales son las aportaciones solares a través del vidrio, esto genera una serie de valores dependiendo del mes de cálculo y de la hora solar. También es necesario conocer los metros cuadrados de ventana del recinto y el tipo de marco que tiene (si lo hubiera). Asimismo, se debe conocer qué espesor de vidrio tiene la ventana y el color del vidrio. Finalmente, se debe indicar si tiene cortina o no, y donde se encuentra ubicada.

$$Q_{insolacion} = g_{insolacion} * A_{ventanas} * f_1 * f_2 * f_3 * f_4 \quad (1)$$

Donde:

$Q_{insolacion}$: ganancia por insolación a través de las ventanas de la fachada [W].

$g_{insolacion}$: Aportación solar a través del vidrio sencillo [W/m² de ventana].

$A_{ventanas}$: Metros cuadrados de ventana de la fachada [m²].

f_1 : Factor corrector adimensional debido al marco de la ventana. Siendo su valor 1,17 si no tiene marco o es metálico, y de 1 si el marco es de madera o plástico.

f_2 : Factor corrector adimensional debido al espesor del cristal. Siendo su valor 1 si es un vidrio sencillo y de 0,9 si el vidrio es doble.

f_3 : Factor corrector adimensional debido al color del cristal. Siendo su valor 1 si es transparente, de 0,3 si es de un color claro y de 0,5 si es de un color oscuro.

f_4 : Factor corrector adimensional debido a las persianas de la ventana. Siendo su valor 1 si no tiene persiana, de 0,65 si la persiana es interior y de 0,15 si la persiana es exterior.

No se han considerado las sombras proyectadas por edificios adyacentes debido a que es una condición difícil de automatizar ya que depende del tamaño y forma del edificio adyacente, de la hora solar y de la incidencia de los rayos. De igual modo, se ha simplificado la variedad de factores de corrección mostrando sólo los más comunes.

5.7.3 Transmisión de potencia térmica a través de la fachada.

Las ganancias debidas a la insolación y convección con la cara externa de la fachada se transmiten al interior del recinto, pero de igual modo sólo genera calor sensible. Para calcular esta ganancia (**ver Ecuación 2**) es necesario conocer el material constructivo que compone la fachada, que indicará el coeficiente global de transmisión y la orientación. Estos dos datos permiten conocer la diferencia equivalente de temperaturas a través del mismo y se debe conocer los metros cuadrados de fachada sin ventanas.

$$Q_{Trann_Fachada} = A_{Fachada} * K_{Trans} * DTE_{Corregido} \quad (2)$$

Donde:

$Q_{Trann_Fachada}$: Ganancia por transmisión a través de la fachada [W].

$A_{Fachada}$: Metros cuadrados de fachada sin ventanas [m²].

K_{Trans} : Coeficiente de transmisión global del muro. En él se engloban los coeficientes de convección del aire exterior con el exterior de la fachada, el coeficiente de conducción a través del muro y el coeficiente de convección de la cara interior del muro con el aire del recinto [W / (m² * K)].

$DTE_{Corregido}$: Diferencia equivalente de temperatura corregida. Es la diferencia entre las temperaturas de aire interior y exterior que resulta del flujo calorífico total a través de la estructura, originado por la radiación solar variable y la temperatura exterior [°C] (**ver Ecuación 3**).

$$DTE_{Corregido} = DTE + a * b \quad (3)$$

Donde:

DTE : Diferencia equivalente de temperatura sin corregir. Sólo es válido cuando la temperatura exterior es de 35°C, la temperatura interior es de 27°C y la variación de la temperatura exterior en 24 horas es de 11°C [°C].

a : Corrección de la diferencia equivalente de temperaturas. Necesaria para ajustar la variación de la temperatura exterior en 24 horas a las adecuadas a nuestro caso, y para ajustar la temperatura exterior menos la temperatura interior para el mes de estudio [°C].

b : Coeficiente adimensional que considera el color de la cara exterior de la fachada. Siendo su valor 1 cuando el color es oscuro, de 0,85 para colores intermedios y de 0,75 para colores claros.

La potencia térmica máxima que entrará al recinto a través de la fachada tanto por transmisión como por insolación a través de las ventanas.

5.7.4 Transmisión de potencia térmica a través de paredes interiores, techo y suelo.

Las ganancias térmicas de las paredes interiores del recinto se transmiten al interior del recinto, pero sólo aportan calor sensible. Se consideran paredes interiores aquellas que no están en contacto directo con el ambiente y no reciben radiación solar directa, como las paredes divisorias de distintos recintos, o los techos o suelos de recintos en pisos intermedios. Para calcular estas ganancias (**ver Ecuación 4**) es necesario conocer los metros cuadrados de paredes interiores y si son paredes aisladas térmicamente o no. También será necesario saber

los metros cuadrados de techo y suelo y si el recinto está entre dos recintos, uno superior y otro inferior. Por último, también será necesario saber los metros cuadrados de ventanas interiores.

$$Q_{pare,int} = A_{int} * K_{int} = * \left(\frac{T_{ext} - T_{int}}{2} \right) \quad (4)$$

Donde

$Q_{pare,int}$: Ganancia térmica por transmisión a través de paredes interiores (o techos y suelos interiores) [W].

A_{int} : Superficie de las paredes interiores [m²].

K_{int} : Coeficiente de transmisión global de muros [W/(m²*K)].

T_{ext} : Temperatura ambiente del exterior del recinto [°C].

T_{int} : Temperatura del interior del recinto [°C].

No se han tenido en cuenta infiltraciones, ni difusión de vapor a través de muros, ni condensaciones de vapor. Tampoco se han tenido en cuenta las variaciones de ganancias térmicas que puedan generar tuberías empotradas.

Por otra parte, los valores de los coeficientes de transmisión global de los muros son de 2 W/(m²*K) y de 1,7 W/(m²*K) para muros interiores normales y aislados respectivamente. Para techos y suelos que se encuentren entre otros pisos tendrán un coeficiente de transmisión global de 1,3 W/(m²*K). Y para techos o suelos que sean el piso más alto o el piso más bajo respectivamente, el valor del coeficiente de transmisión global será de 1,1 W/(m²*K) [46].

5.7.5 Ganancias térmicas generadas en el interior.

Las ganancias interiores (ver Ecuaciones 5, 6 y 7) son el calor latente y sensible que se producen en el interior de los recintos acondicionados, emitidas por los ocupantes, el alumbrado, ordenadores y otros aparatos y motores en funcionamiento.

$$Q_{Sensible-personas} = N^{\circ}_{personas} * q_{sensible} \quad (5)$$

$$Q_{Latente-personas} = N^{\circ}_{personas} * q_{latente} \quad (6)$$

$$Q_{Alum} = q_{Incsn} * N^{\circ}_{Incan} + q_{Flour} * N^{\circ}_{Flour} + q_{B_Cons} * N^{\circ}_{B_Cons} \quad (7)$$

Donde:

$Q_{Sensible-personas}$: Calor sensible desprendido por la actividad de los ocupantes a una temperatura del recinto de 24 °C [W].

$N^{\circ}_{personas}$: Número de personas que ocupan el recinto de un modo continuo [personas].

$q_{sensible}$: Potencia por persona generada por su actividad. Siendo 67 cuando están en reposo, de 71 para trabajos ligeros y de 95 para trabajos duros [W / persona].

$Q_{Latente-personas}$: Calor latente desprendido por sudoración o respiración debido a la actividad de los ocupantes a una temperatura del recinto de 24°C [W].

$q_{latente}$: Calor latente generado por persona debido a su actividad. Siendo 35 cuando están en reposo, de 60 para trabajos ligeros y de 153 para trabajos duros [W / persona].

Q_{Alum} : Calor sensible desprendido por las luces del recinto [W].

q_{Incsn} : Calor sensible que desprende una bombilla incandescente convencional, se han tomado como referencia bombillas incandescentes de 25 W [W / Bombilla Incandescente].

N°_{Incan} : Número de bombillas incandescentes encendidas en todo momento [Bombilla Incandescente].

q_{Flour} : Calor sensible que desprende un fluorescente convencional, se han tomado como referencia fluorescente de 75 W [W / Fluorescente].

N°_{Flour} : Número de fluorescentes encendidos en todo momento [Fluorescente].

q_{B_Cons} : Calor sensible que desprende una bombilla de bajo consumo, se han tomado como referencia bombillas de bajo consumo de 20 W [W / Bombilla Bajo Consumo].

$N^{\circ}_{B_Cons}$: Número de bombillas de bajo consumo encendidas en todo momento [Bombilla Bajo Consumo].

También se han tenido en cuenta los ordenadores que estén encendidos permanentemente y se ha estimado que desprenden una potencia de 100 W.

5.7.6 Ganancias totales por transmisión y cargas internas.

Es importante calcular el calor sensible y latente por separado ya que es necesario conocerlos para poder calcular los caudales de aire de renovación de la ventilación y para poder dimensionar correctamente el sistema de acondicionamiento de aire.

Para facilitar los cálculos agruparemos el calor debido a la insolación que entra a través de las ventanas de la fachada y la transmisión de calor que entra por la fachada (ver Ecuación 8). Esta agrupación la hacemos porque tanto el calor por insolación como el calor por transmisión por la fachada son dos matrices, a diferencia del resto de calores calculados que son solamente valores reales.

$$Q_F = MAX \left[[Q_{Insol}] + [Q_{Trans_Fachada}] \right] \quad (8)$$

Donde:

$[Q_{Insol}]$: Matriz resultante de calcular Q_{Insol} para cada franja horaria solar y para cada mes, dada una orientación.

$[Q_{Trans_Fachada}]$: Matriz resultante de calcular $Q_{Trans_Fachada}$ para cada franja horaria solar y para cada mes, dada una orientación.

Estas matrices tienen la misma dimensión y por lo tanto dará una matriz resultante de la misma dimensión. Finalmente, con la operación MAX [] obtenemos cuál es el valor mayor de dicha matriz.

En la Ecuación 9 se puede observar la fórmula utilizada para calcular el calor sensible transmitido y generado en el interior del recinto.

$$Q_{S_Total} = Q_F + Q_{P_Int} + Q_T + Q_{Sue} + Q_{S_Pers} + Q_A + Q_{PC} + Q_M \quad (9)$$

Donde:

Q_{S_Total} : Calor sensible total ganado por el recinto [W].

Q_F : Ganancia térmica debida a la insolación que entra a través de las ventanas de la fachada y la transmisión de calor que entra por la fachada [W].

Q_{P_Int} : Ganancia térmica por transmisión a través de paredes interiores [W].

Q_T : Ganancia térmica por transmisión a través del techo. Se calcula del mismo modo que la ganancia térmica por transmisión a través de paredes interiores, pero es recomendable calcularlo por separado para conocer la ganancia debida al techo [W].

Q_{Sue} : Ganancia térmica por transmisión a través del suelo. Se calcula del mismo modo que la ganancia térmica por transmisión a través de paredes interiores, pero es recomendable calcularlo por separado para conocer la ganancia debida al suelo [W].

Q_{S_pers} : Calor sensible desprendido por la actividad de los ocupantes a una temperatura del recinto de 24 °C [W].

Q_A : Calor sensible desprendido por las luces del recinto [W].

Q_{PC} : Calor sensible generado por los ordenadores permanentemente en uso [W].

Q_M : Calor sensible generado por aparatos eléctricos y motores funcionando ininterrumpidamente [W].

Por otra parte, el calor latente generado en el interior del recinto sólo es debido a los ocupantes del mismo (ver Ecuación 10).

$$Q_{Latente_total} = Q_{Latente_personas} \quad (10)$$

5.7.7 Cálculo del aire de renovación y de impulsión.

Para evitar la sensación desagradable que produce el aire viciado es necesario introducir una cierta cantidad de aire exterior que se llama de renovación. Este aire exterior se mezcla con una parte de aire del interior del recinto que recircula, la mezcla se llama aire de ventilación (o de impulsión) y deberá ser tratado en las baterías de enfriamiento del sistema de acondicionamiento de aire.

La cantidad de aire exterior que se utiliza en la mezcla, es el estrictamente necesario para producir una renovación conveniente del aire del recinto. En el RITE viene regulado por la ITE 1.1.4.2.3 en función de un concepto llamado IDA (aire de óptima calidad) definido a partir de:

- IDA 1: Aire de óptima calidad: hospitales, clínicas, laboratorios y guarderías.
- IDA 2: Aire de buena calidad: oficinas, residencias, museos y similares.
- IDA 3: Aire de calidad media: edificios comerciales, cines, restaurantes y similares.
- IDA 4: Aire de calidad baja.

El IDA indica el caudal mínimo de aire de renovación por persona necesario. No es necesario renovar un caudal superior al indicado por el IDA y tampoco es recomendable ya que el aire que viene del exterior entra con una temperatura mucho mayor a la del aire de recirculación y supondría un gasto energético.

En este proyecto se ha escogido el IDA 2 y, por lo tanto, el caudal de aire de renovación necesario será de 12,5 l / (s * persona). En la Ecuación 11 se indica cómo calcular el caudal de aire de renovación.

$$\dot{m}_{Aire_Renovacion} = \frac{12.5 \text{ l}}{a * Persona} * N^{\circ} Person\text{as} \quad (11)$$

Donde:

$\dot{m}_{Aire_Renovacion}$: Caudal de aire de renovación procedente del exterior [l_{Aire} / s].

$N^{\circ} Person\text{as}$: Número de ocupantes de forma permanente del recinto [Persona].

El aire de impulsión (ver Ecuación 12) es el aire que resulta de mezclar el aire renovación (o exterior) con el aire de retorno que se hace recircular desde el mismo recinto.

$$\dot{m}_{Aire_Total} = N^{\circ} Renov * Vol * \frac{1000 \text{ l aire}}{1 \text{ m}^3 \text{ aire}} * \frac{1 \text{ hr}}{360 \text{ s}} \quad (12)$$

Donde:

\dot{m}_{Aire_Total} : Caudal de aire de impulsión [l de aire / s].

$N^{\circ} Renov$: Número de renovaciones por hora. Corresponde a la cantidad de veces que debe renovarse totalmente el aire del recinto cada hora [Renovaciones / h].

Vol : Volumen del recinto [m³].

5.8 Cálculo de las cargas de los valores de las cargas térmicas en modo calefacción y enfriamiento.

Con la ayuda del software AutodeskRevit se llevó a cabo la determinación de las cargas térmicas de recinto estudiado, tanto en modo calor como en modo refrigeración. Los valores de las condiciones de la zona estudiada y de la localización del sistema se identificaron y se muestran en la **tabla 11**. El diagrama de flujo para la determinación de las cargas se ilustra en la **figura 23**.

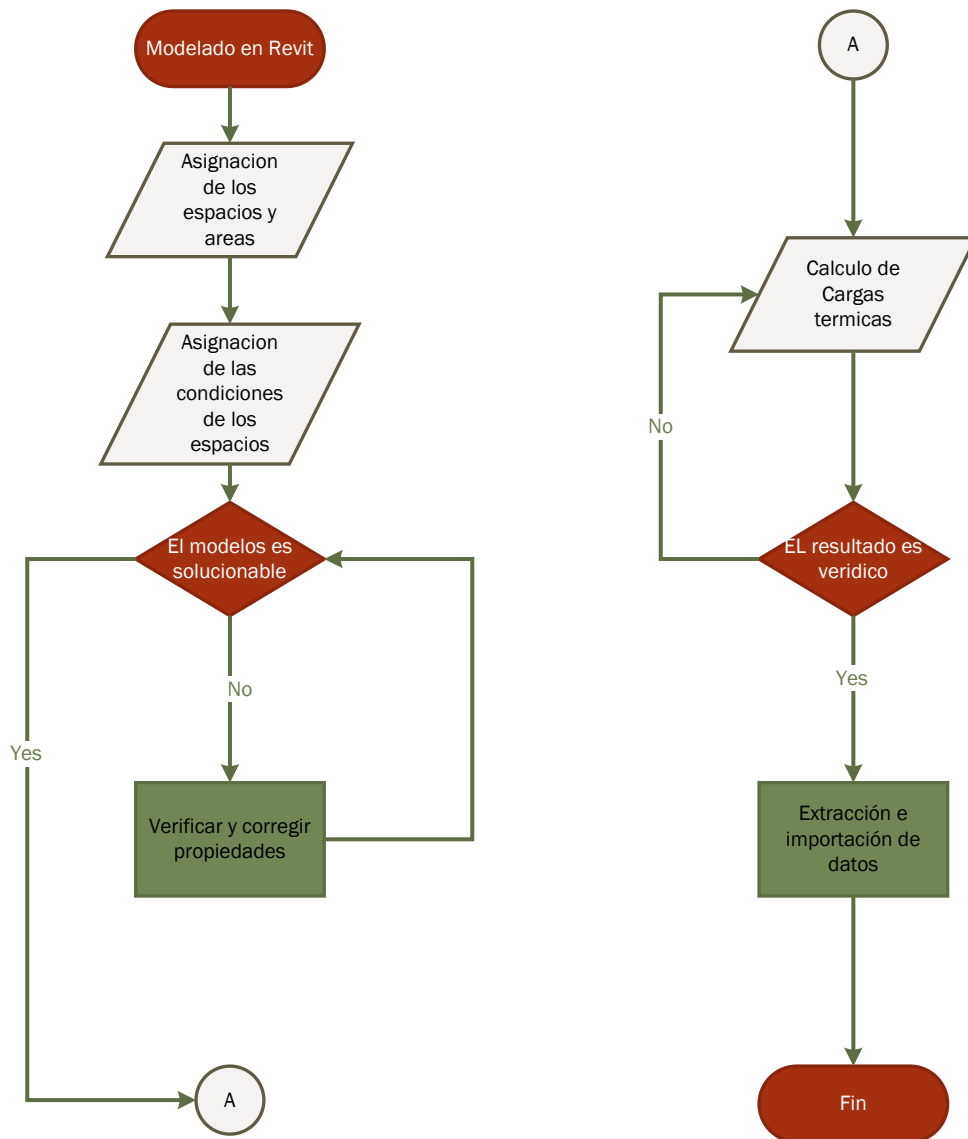


Figura 23 Diagrama implementado para el cálculo de las cargas térmicas del mobiliario en AutodeskRevit15.

La asignación de las propiedades de cada espacio se indica en las **figuras 24-32**.

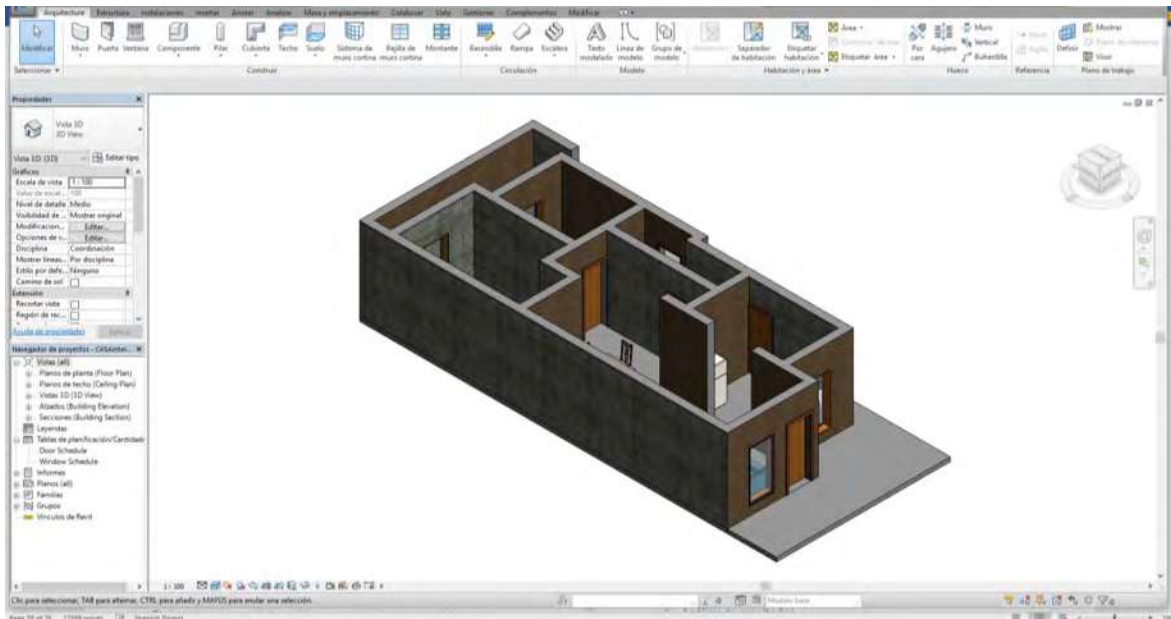


Figura 24 Construcción del modelo en Rvit2105.

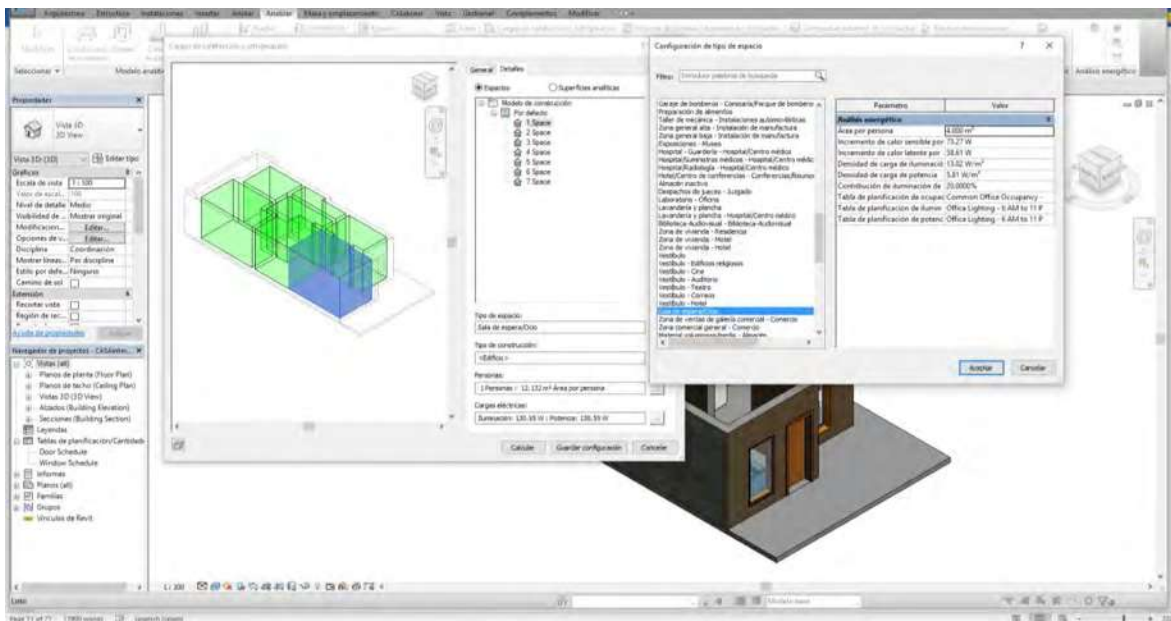


Figura 25 Asignación de las propiedades del espacio de la sala.

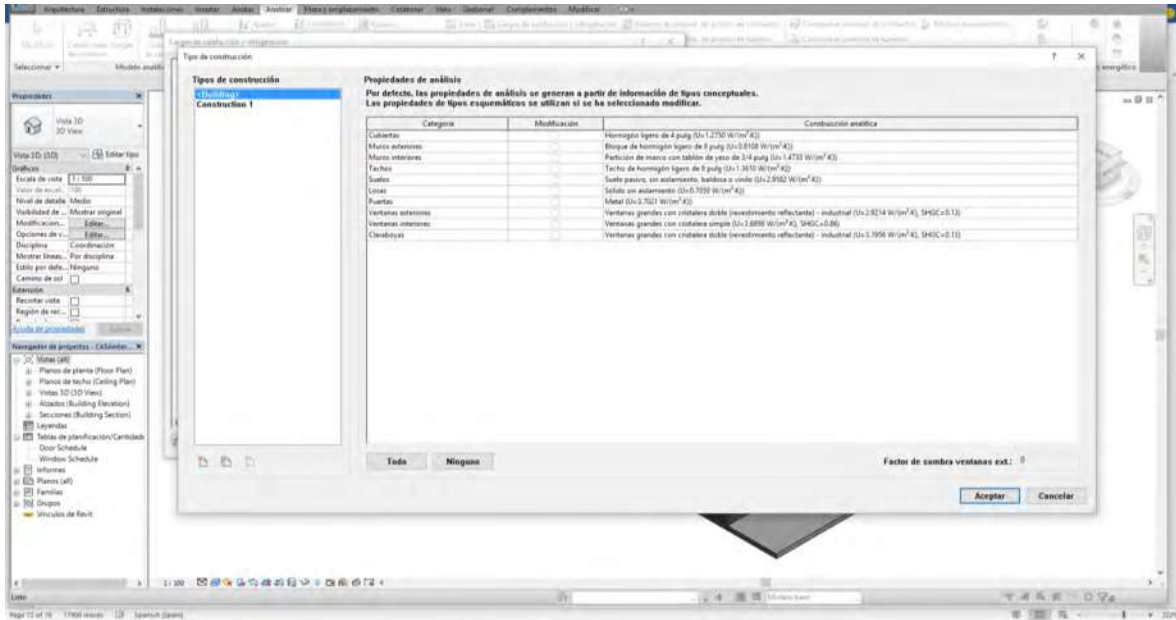


Figura 26 Propiedades de análisis de los componentes que integran el modelo de análisis.

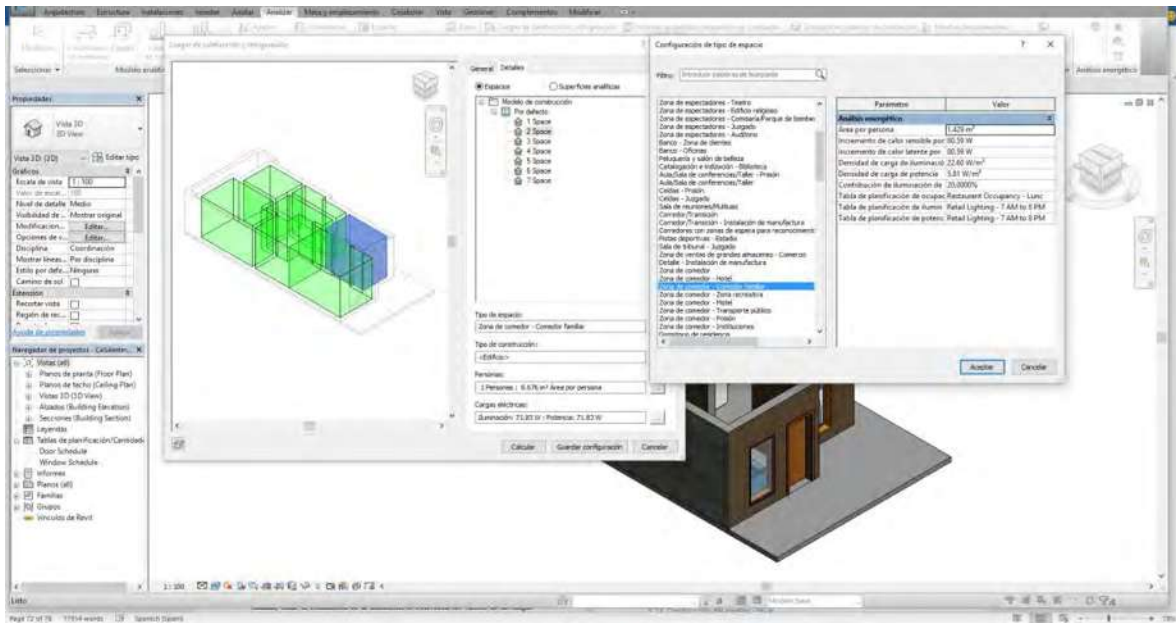


Figura 27 Asignación de las propiedades del comedor familiar.

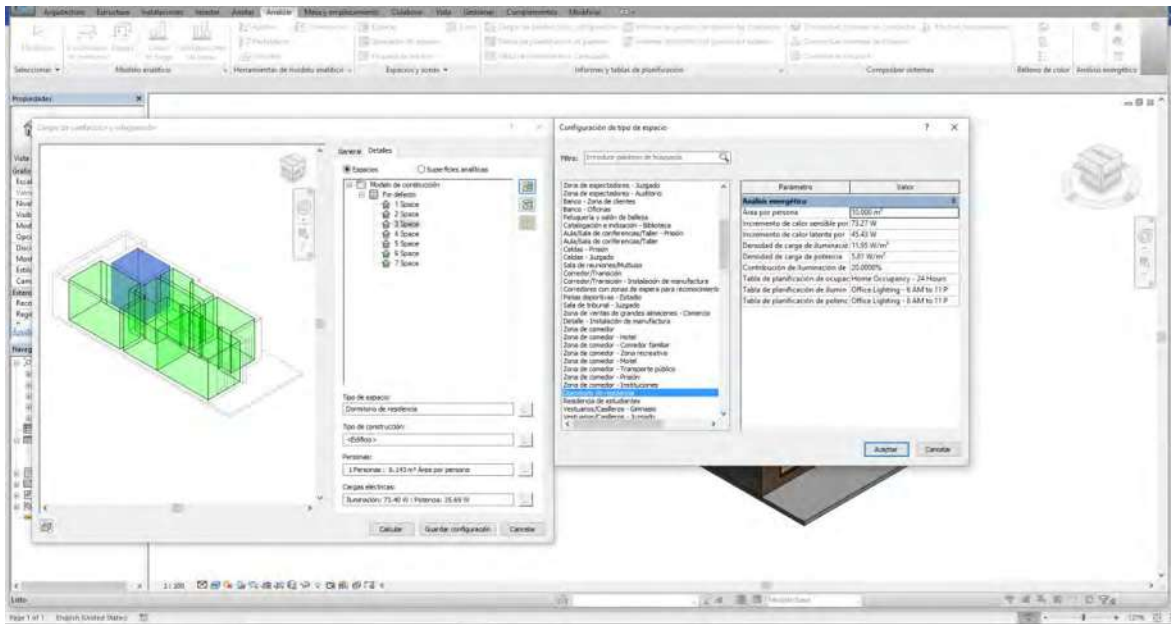


Figura 28 Asignación de las propiedades del dormitorio.

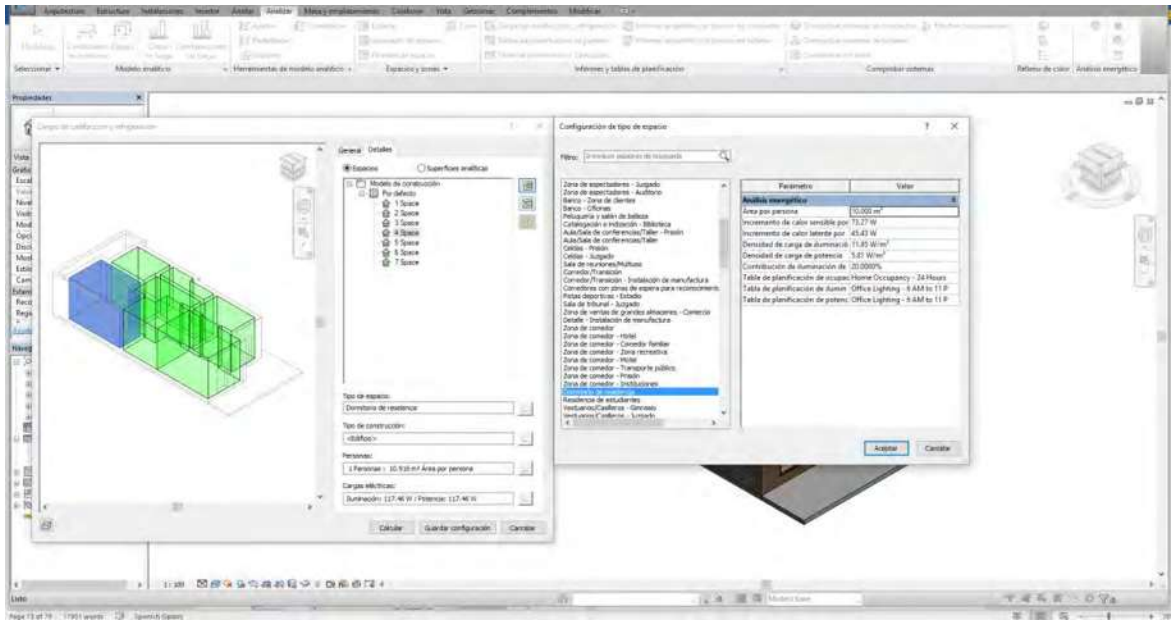


Figura 29 Asignación de las propiedades del dormitorio principal.

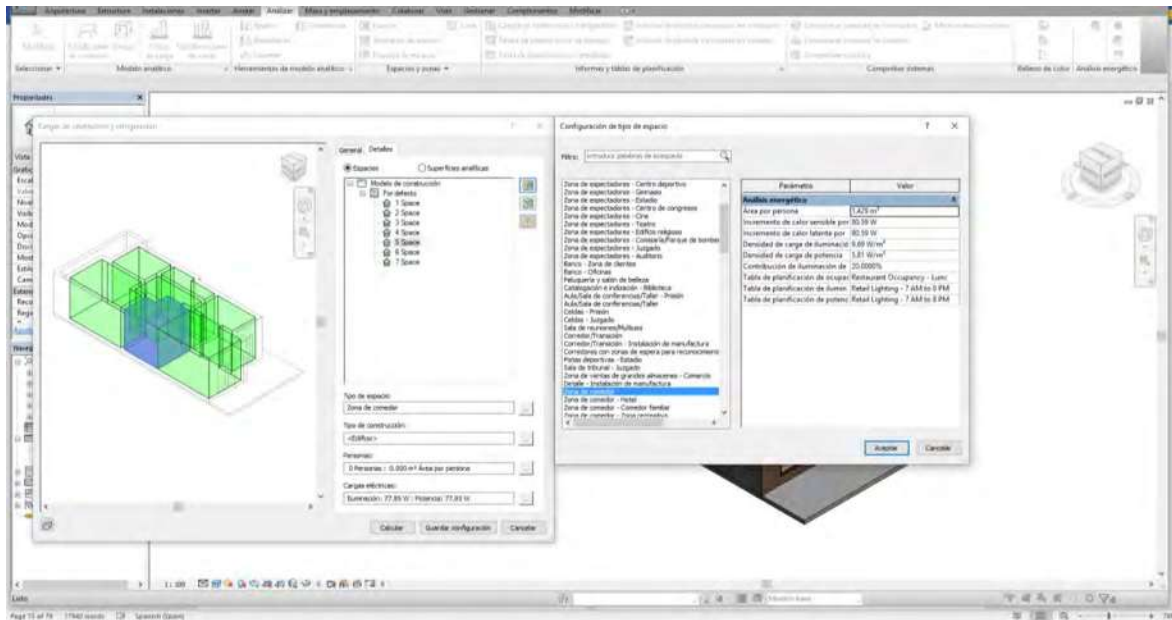


Figura 30 Asignación de propiedades de la zona continua de comedor.

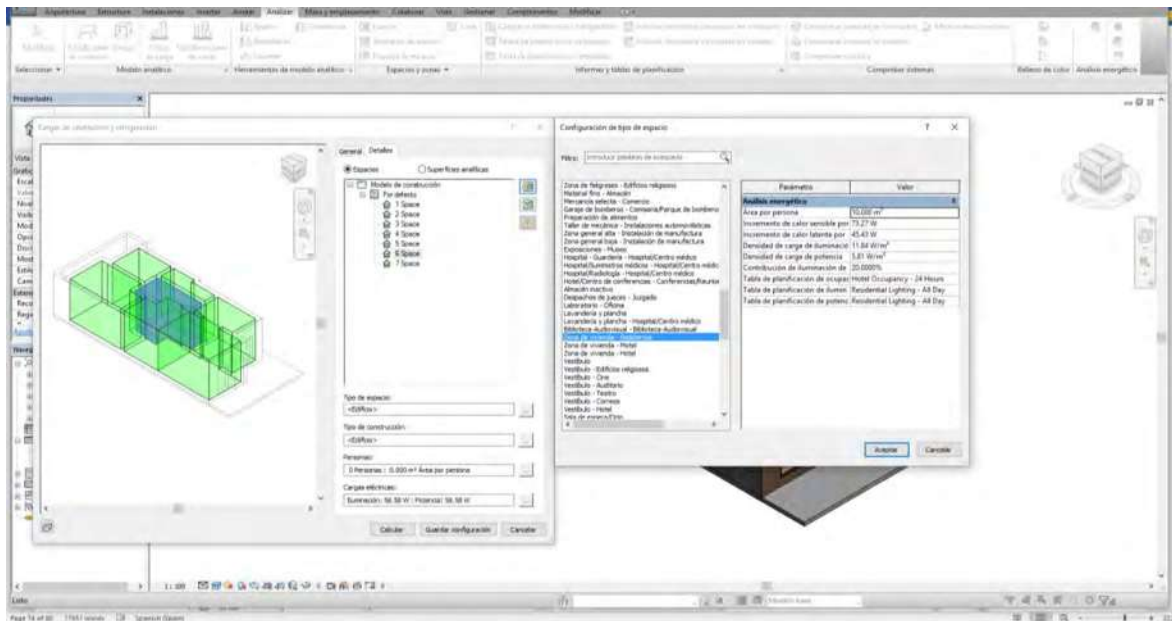


Figura 31 Asignación de propiedades de pasillo de vivienda.

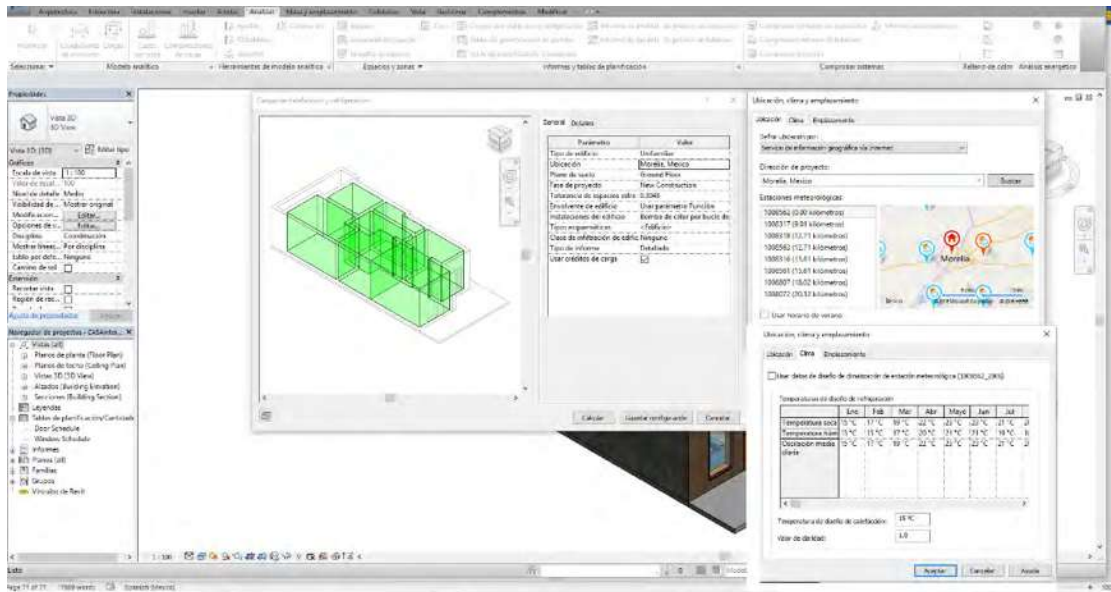


Figura 32 Asignación de la zona donde se realiza el estudio.

Definido el modelo y asignando los valores de las propiedades térmicas de muros puertas y ventanas, como la localización de la instalación se obtuvieron los valores de las cargas térmicas totales de sistema. Los valores obtenidos se muestran en la **tabla 12** y **tabla 13**.

Tabla 12 resultado del cálculo de las cargas de la casa de interés social.

Entradas	
Tipo de construcción	Familia simple
Área (m ²)	52
Volumen (m ³)	156.21
Resultados calculados	
Carga pico de enfriamiento total (W)	4,601
Carga pico sensible de enfriamiento (W)	4,513
Carga latente sensible de enfriamiento (W)	88
Máxima capacidad de enfriamiento (W)	4,601
Flujo pico de aire de enfriamiento (L/s)	284
Carga pico de calefacción (W)	3,244
Flujo pico de aire de calefacción (L/s)	493.7
Comprobación de sumas	
Densidad de carga de enfriamiento (W/m ²)	88.36
Densidad de flujo de enfriamiento (L/(s·m ²))	5.45
Flujo de enfriamiento / Carga (L/(s·kW))	61.73
Área de enfriamiento / Carga(m ² /kW)	11.32
Densidad de carga de calefacción (W/m ²)	62.31
Densidad de flujo de calefacción (L/(s·m ²))	9.48

Tabla 13 Tabla de datos de cargas térmicas de la casa interés social.

Nombre espacios	Área (m ²)	Volumen (m ³)	Carga pico de enfriamiento (W)	Flujo de aire de enfriamiento (L/s)	Carga pico de calefacción (W)	Flujo de aire de calefacción (L/s)
Sala	12	36.4	1,005	63.2	884	130.8
Cocina	7	20.03	634	40	541	81.5
recamara	6	18.43	658	41.5	427	66.4
recamara principal	10	31.49	930	58.6	646	98.5
comedor	7	21.71	481	29.3	289	43.6
Pasillo	6	17.36	420	25.5	135	22.4
Baño	4	10.81	412	26	323	50.5
Total	52	208.23	4748.23	5032.33	8277.33	8771.03

Se realizaron las gráficas para apreciar la distribución de las cargas térmicas dentro de la VIS.

La distribución del área, para cada espacio mostrado en la casa habitación se muestran la **Figura 33**, los porcentajes correspondientes a las cargas de refrigeración para cada espacio se muestra en la **Figura 34** y la distribución de calefacción son mostradas en las **Figuras 35**.

Como podemos observar la mayor carga térmica en los dos modos de trabajo proviene del área de recamaras, sin embargo, el conjunto formado por la cocina, sala y comedor es aún más elevado, y es en estos espacios donde transcurre mayor parte de tiempo los ocupantes dentro del hogar, además de realizar las tareas más comunes.

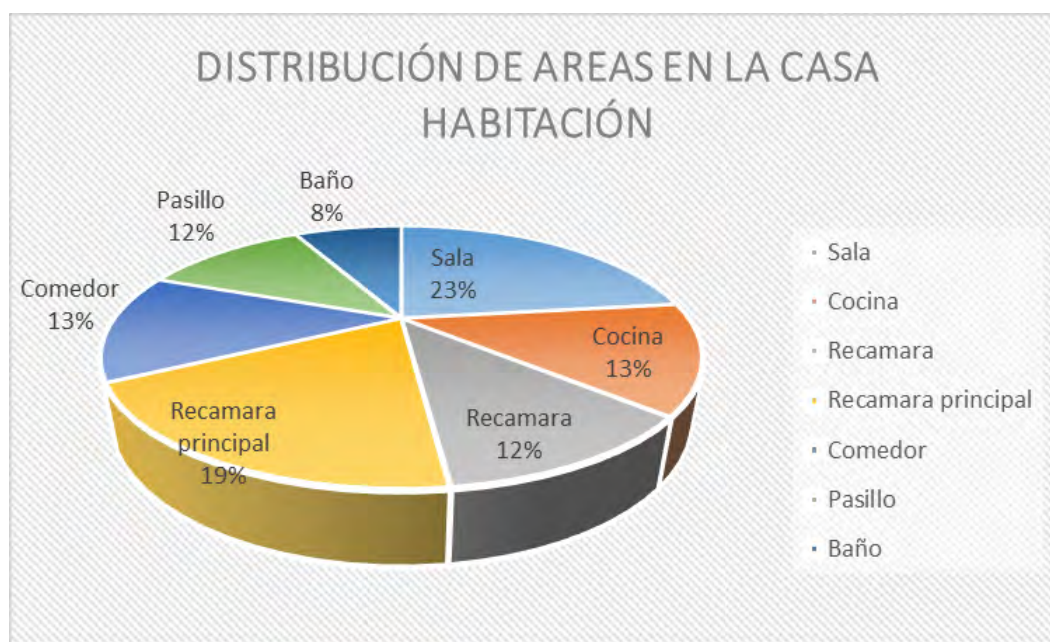


Figura 33 Distribución del área correspondiente en porcentaje a cada espacio de la casa habitación.

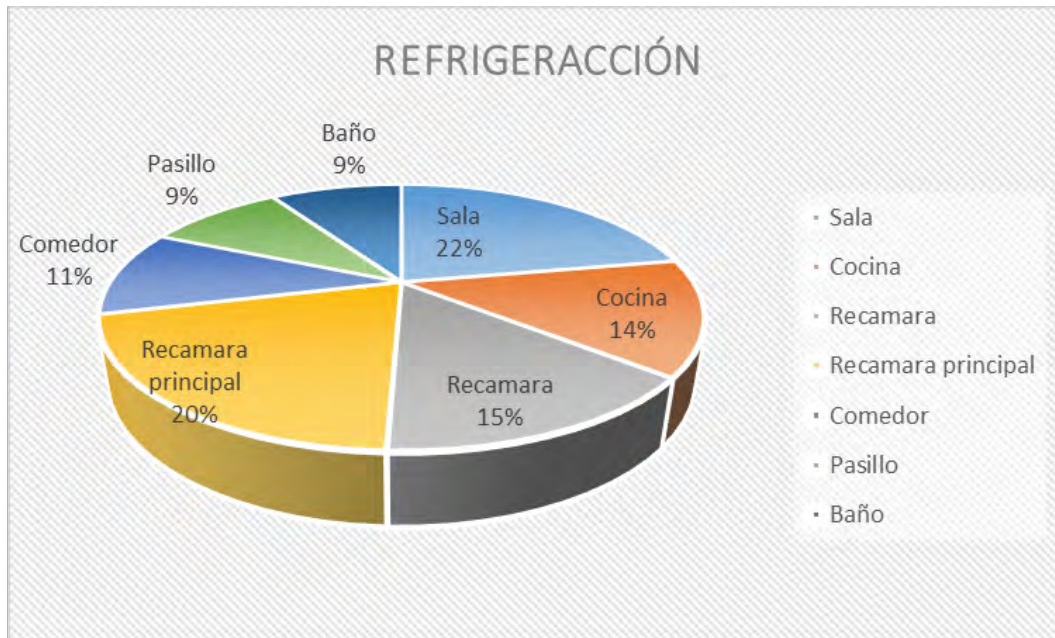


Figura 34 Distribución de las cargas térmicas en la casa habitación de las cargas de refrigeración.



Figura 35 Distribución de las cargas térmicas en la casa habitación de las cargas de calefacción.

6 Capítulo VI. Análisis Matemático Building Information Method (BIM).

Factores de rendimiento de construcción

Ubicación:	Morelia, Mexico
Estación meteorológica:	1008562
Temperatura exterior:	Máx.: 31°C/Mín.: -1°C
Área común del piso:	53 m ²
Área de muro exterior:	91 m ²
Potencia de iluminación media:	4.84 W/m ²
Personas:	0 Personas
Proporción de ventanas en exterior:	0,07
Costo eléctrico:	0,10 \$/kWh
Costo de combustible:	3,12 \$/unidad térmica

Intensidad de uso de energía (EUI)

EUI de electricidad:	77 kWh/sm/yr
EUI de combustible:	761 MJ/m ² /año
EUI total:	1,040 MJ/m ² /año

Costo/Uso de energía de ciclo de vida

Uso de electricidad de ciclo de vida:	93,541 kWh
Uso de combustible de ciclo de vida:	919,838 MJ
Costo de energía de ciclo de vida:	16.444 \$

*30 años de vida y descuento de 6,1% en costos

Potencial de energía renovable

Sistema fotovoltaico montado en cubierta (baja eficiencia):	4,508 kWh/año
Sistema fotovoltaico montado en cubierta (eficiencia media):	9,016 kWh/año
Sistema fotovoltaico montado en cubierta (alta eficiencia):	13,524 kWh/año
Potencial de turbina eólica simple de 4,5 m:	837 kWh/año

*Se presuponen valores de eficiencia fotovoltaica de 5%, 10% y 15% para sistemas de eficiencia baja, media y alta

En la **Figura 36**, se muestra el cálculo anual del uso de energías de la vivienda, teniendo un consumo por año, también se muestra las emisiones de CO₂ ocasionadas por el uso de las instalaciones, esto nos da un parámetro del potencial que tiene la infraestructura para poder convertirla en una instalación verde con el uso de diferentes tecnologías, la primera

tecnología a instalar sería el sistema de bomba de calor con intercambiadores de calor geotérmico vertical.

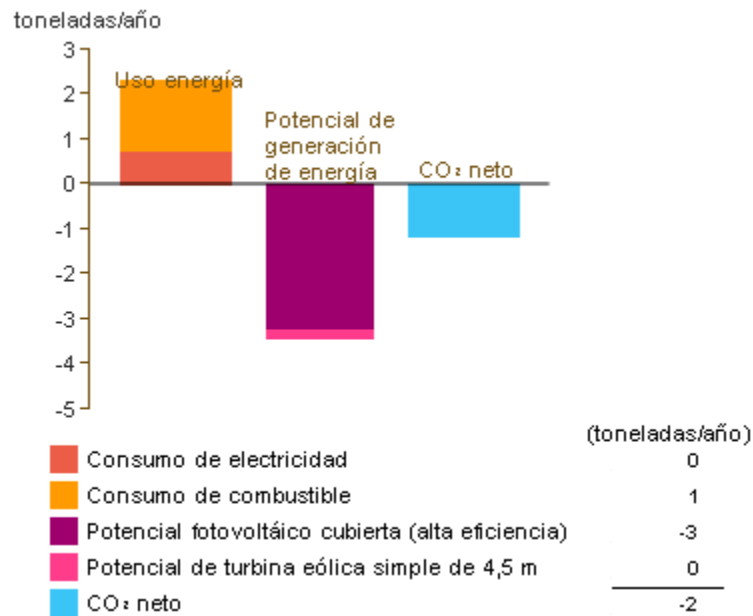


Figura 36. Producción anual de CO₂ de la vivienda.

En la **Figura 37**, se muestra los costos relacionado con el uso de la energía eléctrica y el uso de combustibles para su buen funcionamiento, el complejo utiliza el 27% de energía eléctrica, los costos mostrados serian en pesos.

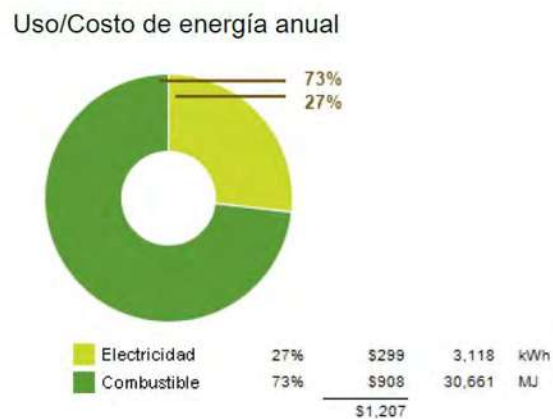


Figura 37. Costos anualizados de uso de energía eléctrica.

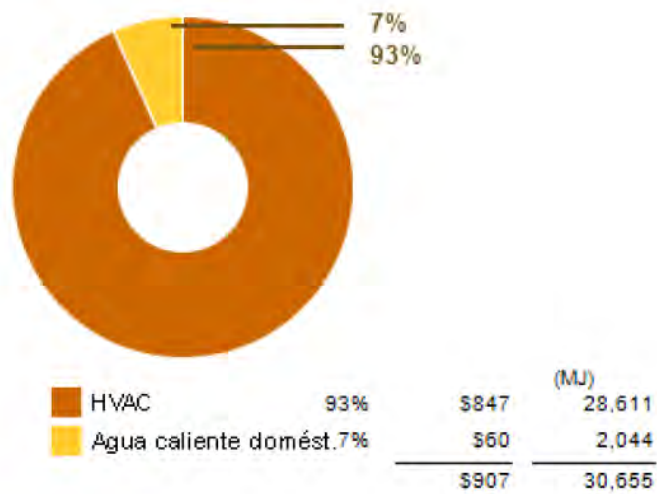


Figura 38. Uso de combustibles para agua caliente.

En la **Figura 39**, se muestra la distribución del gasto de energía eléctrica de la casa habitación, donde el 60% de la energía sería para el uso en la activación de las bombas de calor, de iluminación comprende el 20% y los equipos extras comprenden el 20%.

Uso de energía: electricidad

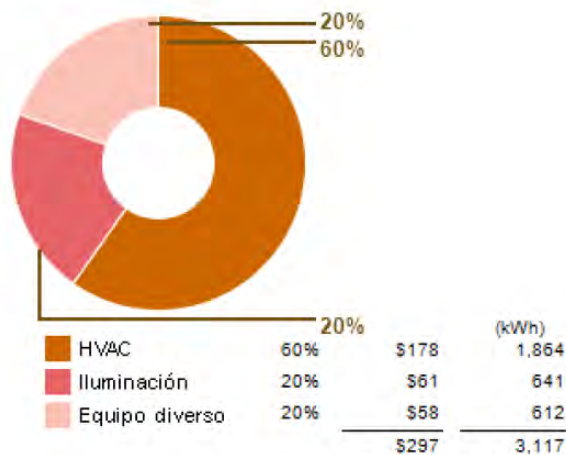


Figura 39. Uso de energía eléctrica del complejo.

En la **Figura 40**, se muestra el promedio mensual de cargas térmicas en modo calor, estas cargas son debidas a la transferencia de calor emitida por los ocupantes, equipos eléctricos y, además se consideran las ganancias de calor debidas a las ventanas y a las incidencias del

sol, y la transferencia de calor por las paredes del recinto, techos y suelos. Se puede notar en la figura que los meses en los cuales se utilizara el sistema en modo calor serán los meses comprendidos desde noviembre hasta marzo del año.

Carga de calefacción mensual

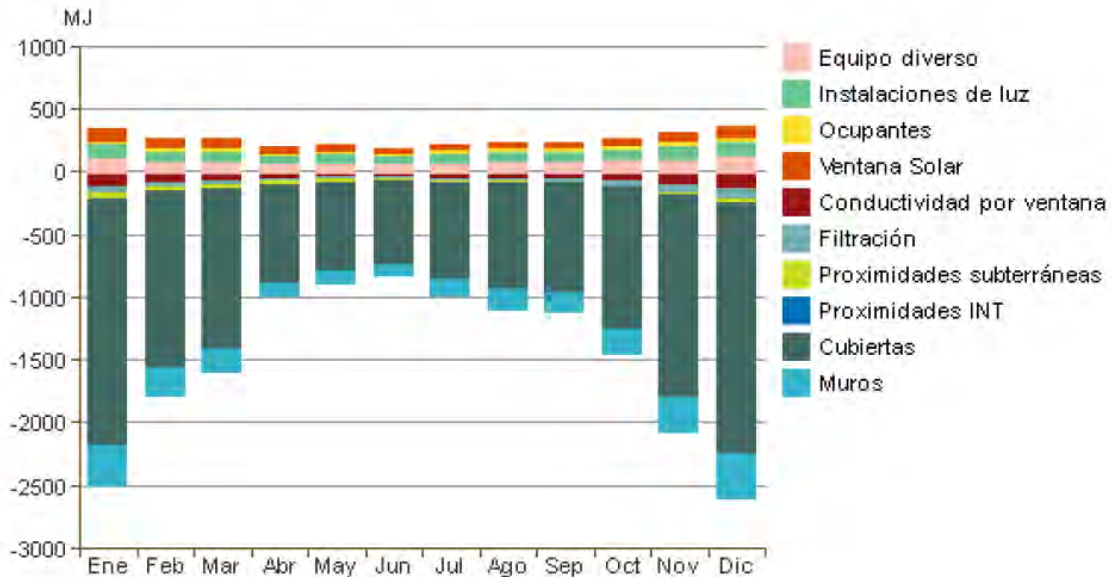


Figura 40. Promedio mensual de las cargas térmicas en modo calor.

En la **Figura 41**, se muestra el promedio mensual de cargas térmicas en modo refrigeración, estas cargas son debidas a la transferencia de calor generada por los ocupantes, equipos eléctricos y equipos de laboratorio, además se consideran las ganancias de calor debidas a las ventanas y a las incidencias del sol, y la transferencia de calor por las paredes del recinto, techos y suelos. Como se puede notar los meses en los cuales se requerirá mayor uso del modo frio de la bomba de calor será a partir del mes de mayo hasta octubre de cada año.

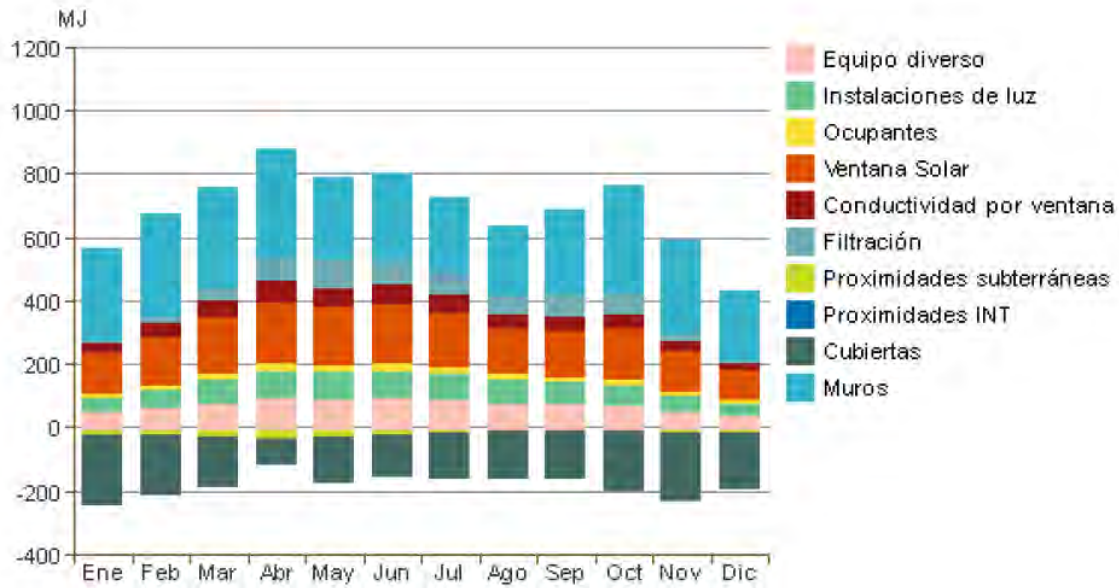


Figura 41. Promedio mensual de las cargas térmicas en modo frío.

Consumo de combustible mensual

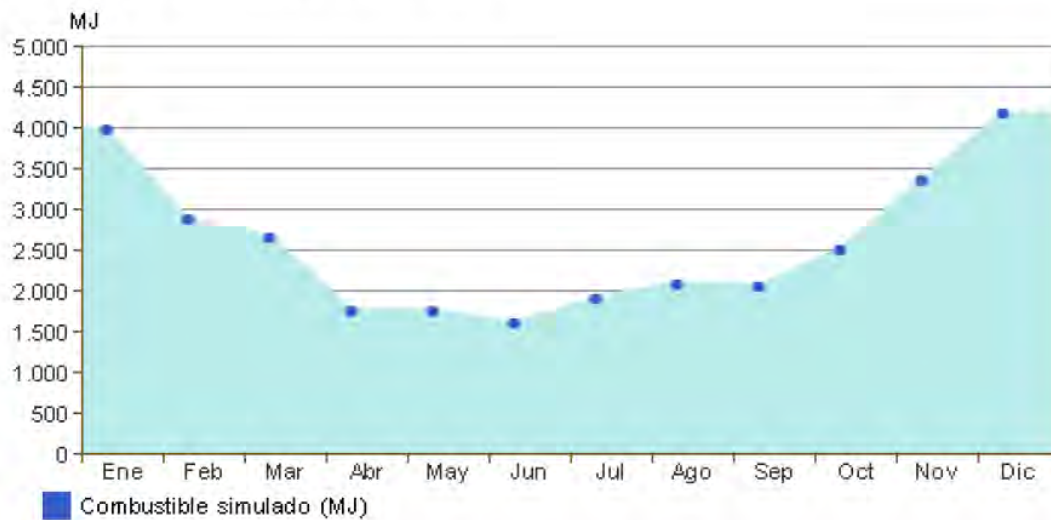


Figura 42. Consumo mensual de combustible.

En la **Figura 43**, se muestran los consumos de energía eléctrica a lo largo de un año, podemos notar que los máximos consumos se dan en los meses de diciembre a marzo, en estos meses no se cuenta con el horario de verano y la iluminación solar es por pocas horas por lo cual el

consumo eléctrico es mayor mientras que los demás meses se tiene un menor consumo debido al poco uso de la iluminación.

Consumo de electricidad mensual

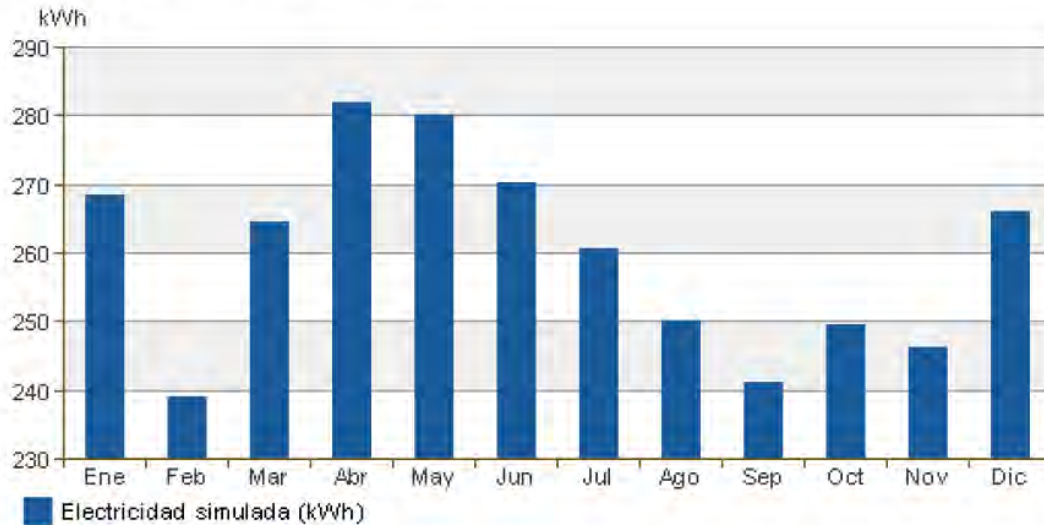


Figura 43. Consumo mensual de energía eléctrica del complejo.

La Figura 44, se tiene los picos máximos de consumo de energía eléctrica del complejo por cada mes y se observa la misma tendencia que en la figura anterior.

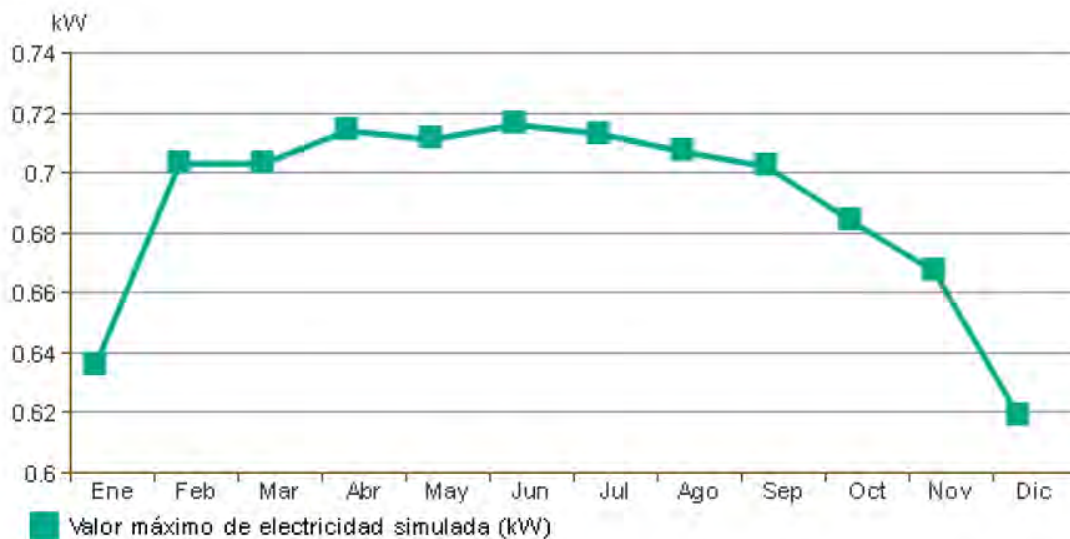


Figura 44. Consumo pico de energía eléctrica.

La distribución anual de las velocidades del aire permitió calcular de manera más exacta las pérdidas de calor y las infiltraciones al complejo a lo largo de las estaciones, la **Figura 45** muestra la distribución anual de velocidades del aire incidente en el complejo. La **Figura 46**, muestra la frecuencia en horas de la dirección del aire y la **Figura 47**, muestra las frecuencias mensuales de incidencia del aire sobre la casa.

Rosa de los vientos anual (distribución de velocidad)

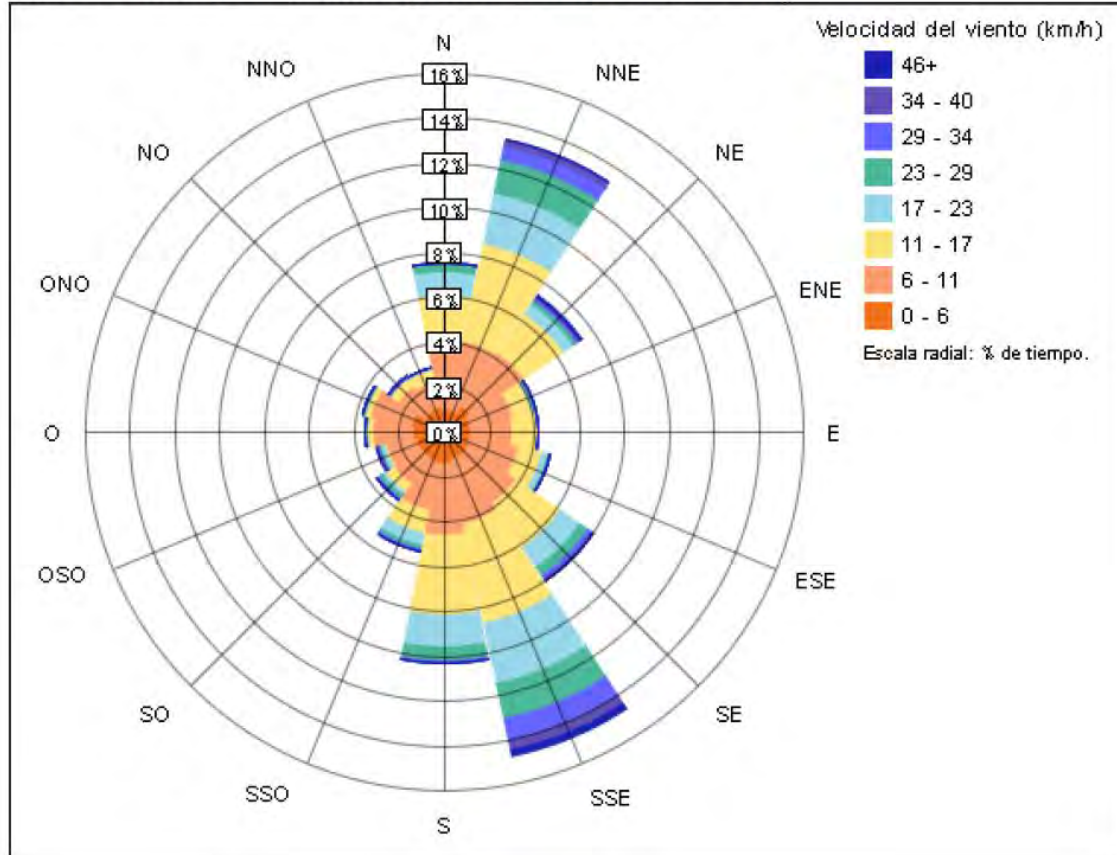


Figura 45. Distribución anual de velocidades del aire incidente en el complejo.

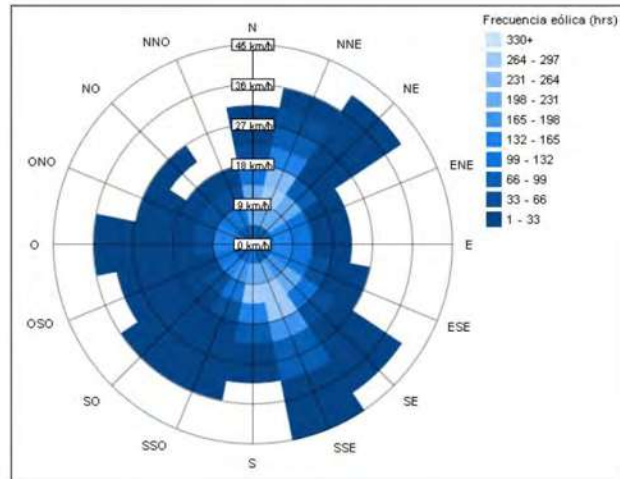


Figura 46. Distribución anual de incidencia del aire incidente en el complejo.

Rosa de los vientos mensual

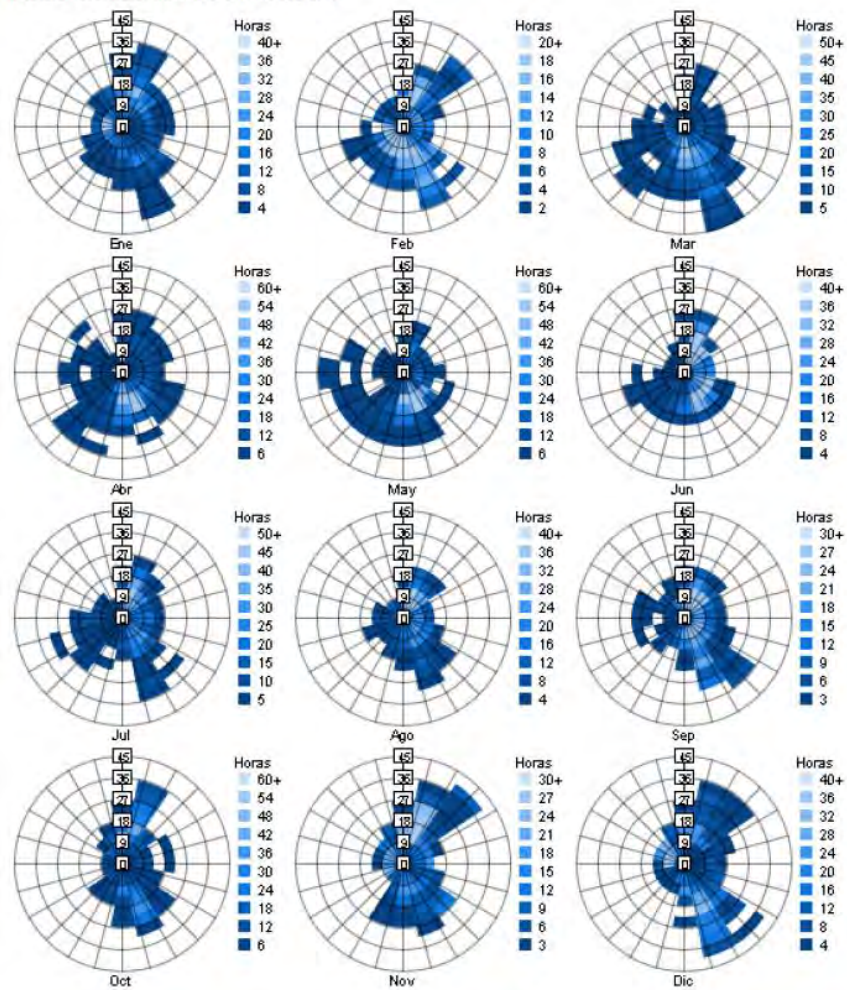


Figura 47. Distribución mensual de incidencia del aire sobre la edificación.

La **Figura 48**, muestra las temperaturas mensuales promedio para el modo calefacción y refrigeración del sistema, con estos datos se podrá dimensionar el sistema de ductos de distribución de aire, así como la selección de las bombas de calor y el dimensionamiento de los intercambiadores de calor geotérmicos.

Datos de diseño mensuales

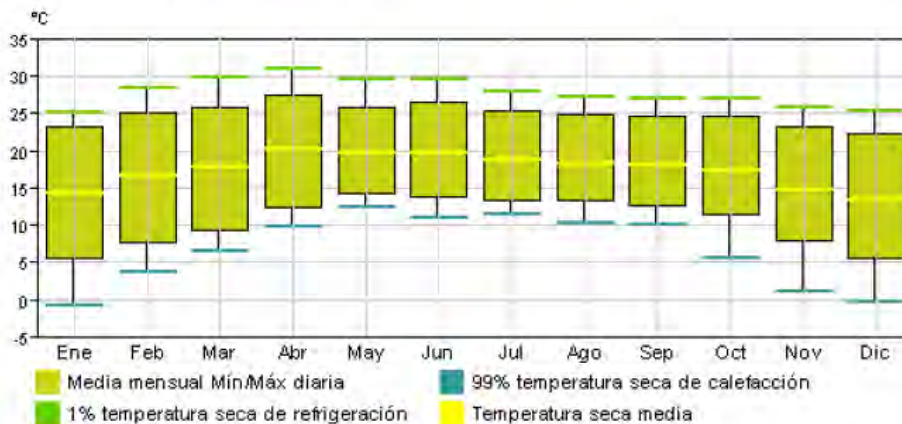


Figura 48. Datos para el diseño mensual.

La **Figura 49**, muestra el promedio anual de temperaturas en horas de exposición, se provee un cálculo mejorado, en comparación a otras técnicas de cálculo de cargas térmicas, siendo actualmente el más recomendado para espacio y complejos con mucha ocupación. Esta grafica está basada en información de base de datos proporcionados por estaciones meteorológicas cercanas al complejo.

Grupos de temperatura anual

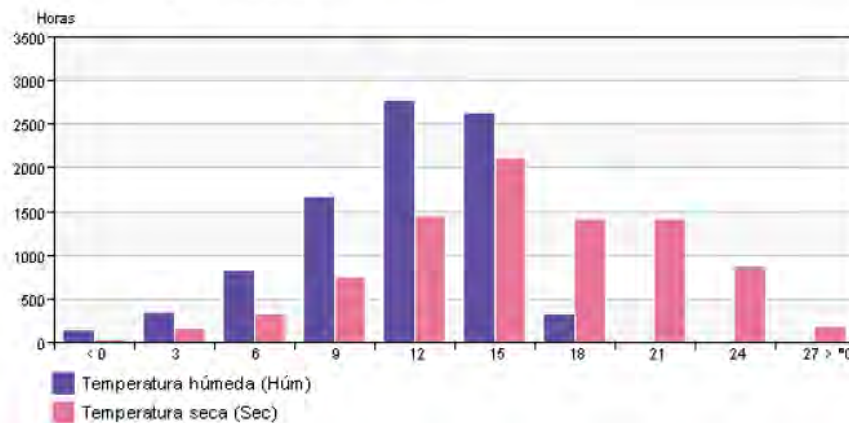


Figura 49. Temperatura anual.

La **Figura 50**, muestra los promedios diarios de ambiente con el cual se calculan las pérdidas o ganancias de calor del sistema. Esta figura muestra la temperatura de bulbo seco, bulbo húmedo y ganancias por incidencias solares directas o difusas, estos datos son obtenidos de estaciones meteorológicas ubicadas en la ciudad de Morelia Michoacán.

Medias meteorológicas diurnas

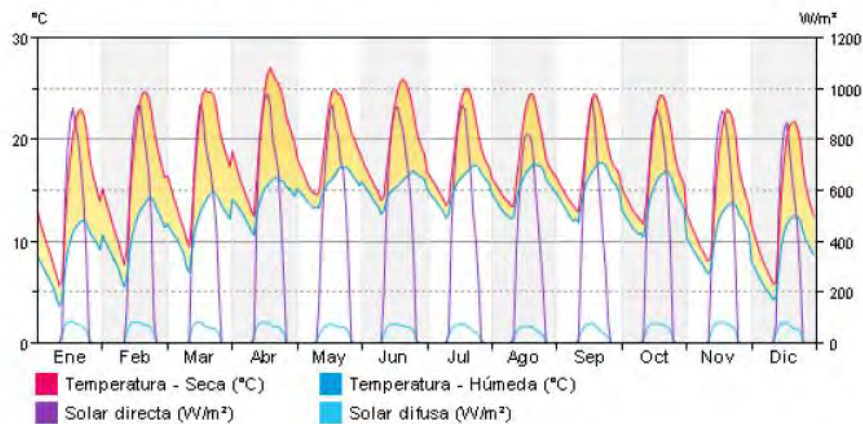


Figura 50. Promedio diario del clima y cantidad de carga térmica.

En la **Figura 51**, se muestra un estudio de la humedad en el ambiente cercano del complejo a lo largo de los meses, con este estudio se logra estimar la cantidad de calor latente que se usaría en el sistema para disminuir la humedad del complejo.

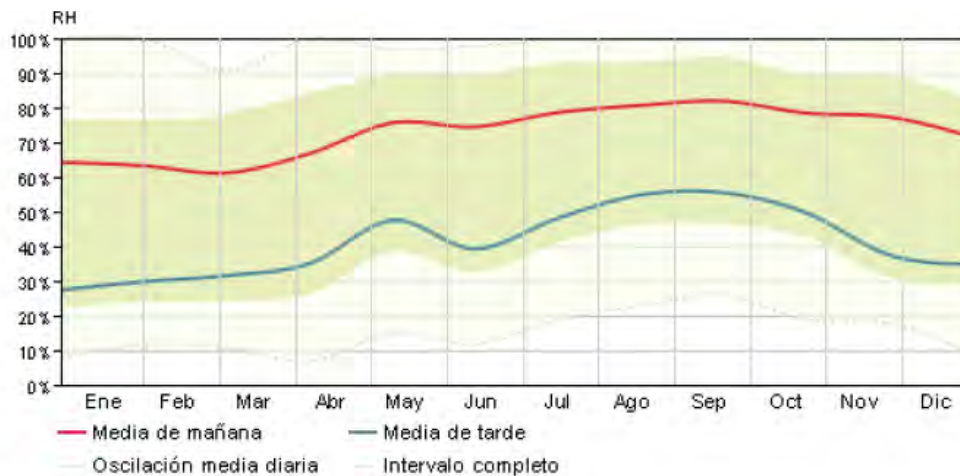


Figura 51. Humedad anual del ambiente.

6.1 Determinación de la longitud el intercambiador de calor geotérmico, tipo vertical.

El dimensionamiento es indispensable para que el recinto por acondicionar se mantenga a las condiciones de confort deseadas.

El proceso de dimensionamiento del intercambiador, una vez calculado las cargas térmicas, es la determinación del tipo de equipo a implementar (Bomba de calor Geotérmica), misma que se debe de elegir de acuerdo a la teoría planteada por IGSHPA. La metodología se plantea continuación:

- 1- Insertar el valor de la carga pico de calefacción que debe brindar la bomba de calor.
- 2- Insertar el valor de la temperatura de diseño del aire exterior para al que fue calculado la carga de calefacción, (valor determinado por la localización geográfica).
- 3- Insertar el valor de la temperatura de entrada de diseño de la bomba de calor en modo calefacción.
- 4- Insertar el caudal de agua del lado de carga de diseño en la calefacción.
- 5- Insertar la temperatura interior de diseño interior con la que fue calculada, usualmente se toma un valor de 70 F a menos que se indique otra cosa.
- 6- Insertar la temperatura interior de diseño en modo refrigeración con que fue calculada la carga usualmente se asume de 75 F a menos que se especifique otra cosa.
- 7- Insertar el valor de la humedad relativa interior con lo cual se calculó la carga de refrigeración, usualmente se usa de 50% a menos que se especifique otra cosa.
- 8- Insertar el valor de la carga pico de refrigeración que debe aportar la bomba de calor.
- 9- Insertar la temperatura de diseño del aire exterior para el que la carga pico de refrigeración fue calculado (determinado por la locación geográfica).
- 10- Insertar la temperatura de diseño del agua de entrada para la que la carga pico de refrigeración fue calculado.
- 11- Insertar la carga de diseño del flujo de agua en enfriamiento.
- 12- Insertar la marca de la bomba de calor propuesta.
- 13- Insertar el modelo y tamaño de la bomba de calor propuesta.

- 14- Insertar la temperatura mínima de diseño de entrada del agua que viene del campo para asegurar que la capacidad del equipo cumple con los parámetros de diseño en calefacción.
- 15- Insertar el flujo de agua que atraviesa la fuente del lado de la bomba de calor en calefacción (típicamente 2.5-3.0 gpm por tonelada nominal de capacidad instalada).
- 16- Insertar el caudal de agua del lado de carga de diseño en la calefacción. (4)
- 17- Insertar la temperatura de entrada del agua para el espacio in calefacción (3)
- 18- Insertar el tipo de anticongelante a usar en el fluido de circulación dentro del intercambiador de calor geotérmico, (es necesario que EWT min <45 F).
- 19- Insertar la concentración de volumen de anticongelante a ser usado, es necesario que (EWT min <45 F).
- 20- Insertar el factor de corrección de la capacidad en el fluido de circulación, es diferente del usado para el rendimiento en las tablas propuestas por el proveedor.
- 21- Insertar el factor de corrección de demanda si el fluido de circulación que se emplea es diferente del usado para el rendimiento, de las tablas propuestas por el proveedor.
- 22- Insertar la temperatura de diseño máxima de entrada del agua que proviene del campo que debe cumplir la capacidad del equipo, con los parámetros de diseño de refrigeración.
- 23- Insertar el flujo de agua que atraviesa la fuente del lado de la bomba de calor en refrigeración (típicamente 2.5-3.0 gpm por tonelada nominal de capacidad instalada).
- 24- Insertar el flujo de agua de la carga de diseño en refrigeración (11).
- 25- Insertar la temperatura de diseño del agua a la entrada del espacio en refrigeración (10).
- 26- Insertar el tipo de anticongelante que se usara como fluido de circulación en el intercambiador de calor, si es necesario (18) EWT min <45 F).
- 27- Insertar la concentración volumétrica de anticongelante que será usado, si es necesario (19)) (EWTmin <45 F).
- 28- Insertar el factor de corrección de la capacidad total de enfriamiento si el fluido de circulación difiere del usado en las tablas de rendimiento, propuestas por el proveedor.

- 29- Insertar el factor de corrección de la demanda si el fluido de circulación es diferente del usado para el rendimiento de las tablas, brindado por el proveedor.
- 30- Insertar la capacidad de calefacción mínima de diseño de la unidad con la entrada de agua de la fuente (14) y la carga máxima de diseño de la temperatura de entrada del agua, el flujo seleccionado (15) y (16) provisto en las tablas del rendimiento del fabricante.
- 31- Insertar la demanda eléctrica de la bomba de calor en calefacción a las condiciones de diseño seleccionadas, proporcionadas por los fabricantes en las tablas de rendimiento del equipo.
- 32- Insertar el coeficiente de operación de la bomba de calor COP a las condiciones de diseño seleccionadas, proporcionadas por el fabricante en las tablas de rendimiento.
- 33- Insertar el calor de extracción a las condiciones de diseño seleccionadas, usualmente dado por las tablas de rendimiento, proporcionados por el fabricante.
- 34- Insertar la temperatura de salida del agua de calefacción de la GSHP a el espacio.
- 35- Insertar la capacidad máxima de enfriamiento de la unidad a la temperatura de diseño proveniente de la fuente (22), y la temperatura mínima de diseño de la entrada del agua (25), la selección del flujo (23) y (24) la provista en las tablas de rendimiento del fabricante.
- 36- Insertar la demanda eléctrica en refrigeración a las condiciones de diseño seleccionadas, proporcionadas por el fabricante en la tabla de rendimiento.
- 37- Insertar el EER en refrigeración, usualmente brindado por el proveedor en las tablas de rendimiento.
- 38- Insertar el calor de reinyección a las condiciones de diseño seleccionadas, valor suministrado por las tablas de rendimiento del proveedor.
- 39- Insertar la temperatura de salida del agua de refrigeración de la GSHP a el espacio.
- 40- Calcular el valor de la capacidad de calefacción del equipo multiplicando por el factor de corrección (20).
- 41- Calcular la demanda eléctrica del equipo al multiplicar por el factor de corrección (21).
- 42- Calcular del coeficiente de operación de la bomba de calor COP instalado de acuerdo a la ecuación.

- 43- Calcular el calor de extracción de la bomba de calor de acuerdo a la ecuación.
- 44- Calcular la mínima LWT en calefacción de acuerdo a la ecuación.
- 45- Calcular la capacidad total del equipo instalado en modo refrigeración por el factor de corrección (28).
- 46- Calcular la demanda eléctrica de la bomba de calor instalada en modo refrigeración multiplicada por el factor de corrección (29).
- 47- Calcular el valor de EER de la bomba de calor instalada de acuerdo a la ecuación.
- 48- Calcular el calor de reinyección instalado de acuerdo a la ecuación.
- 49- Calcular el valor máximo de LWT en refrigeración de acuerdo a la ecuación.
- 50- Calcular el porcentaje de dimensionamiento del equipo a usar en modo calefacción.
- 51- Calcular el porcentaje de dimensionamiento del equipo al usar en modo refrigeración.

Para la selección se muestra en el **apéndice A** una hoja de trabajo para el cálculo de la selección de la bomba.

La bomba seleccionada es de la marca ClimateMaster Genesis GSW Modelo 060. La tabla de rendimiento tanto en modo calor como refrigeración se muestra en el apéndice B.

6.2 Dimensionamiento del intercambiador de calor geotérmico vertical.

El procedimiento de dimensionamiento se muestra en los pasos siguientes:

1. El valor de la carga de calefacción de la bomba de calor seleccionada.
2. La demanda eléctrica de la bomba de calor geotérmica seleccionada.
3. Fluido de circulación de la bomba de calor a las condiciones de diseño.
4. Variabilidad anual de las cargas térmicas en modo calefacción.
5. Variabilidad anual de las cargas térmicas en modo refrigeración.
6. Pérdidas totales.
7. Porcentaje de dimensionamiento % de la capacidad de calefacción.
8. Fracción de operación de la bomba de calor en modo calefacción obtenido de tablas.
9. Si se usa calentamiento de agua doméstica se obtiene de tablas, de lo contrario es igual a =0.
10. La demanda eléctrica del equipo de calentamiento de agua doméstica, de lo contrario =0.
11. Flujo del dispositivo de calentamiento de agua doméstica, de lo contrario =0.

12. Variación anual de las cargas térmicas para la generación de agua doméstica. De lo contrario =0.
13. Fracción de operación del equipo generador de agua domestica caliente. De lo contrario =0.
14. Valor de la generación térmica en modo calefacción es igual a la generación de la bomba de calor.
15. Si no hay HWG la demanda de energía es únicamente la demanda de la bomba de calor.
16. Si no hay HWG el flujo total será únicamente el flujo de la bomba de calor.
17. Si no hay HWG el total de la variabilidad de la carga térmica anual será igual a la variabilidad de la carga de calefacción.
18. $AGL_{CD} = AGL_C$
19. Coeficiente de operación (COP) en modo calefacción.
20. Calor de extracción para las condiciones de diseño en modo calefacción.
21. Fracción de operación de la bomba de calor en modo calefacción.
22. Temperatura mínima de entrada del agua a la bomba de calor en modo calefacción.
23. Temperatura mínima de salida del agua a la bomba de calor en modo calefacción.
24. Tabla para múltiple espacio en modo calefacción.
25. Diámetro mínimo de la tubería.
26. Flujo del fluido que atraviesa el intercambiador de calor geotérmico.
27. Flujo que atraviesa cada hilo del arreglo te intercambiador.
28. Numero de posos verticales que deben estar conectados en serie.
29. Numero de pozos que corresponde a cada hilo de arreglo de intercambiador.
30. Numero de filas de pozos de los intercambiadores de calor.
31. Numero de pozos por fila.
32. Promedio de la distancia de separación entre centros de cada pozo.
33. Temperatura del terreno no perturbada, puede calcularse por la localización o alguna prueba en campo.
34. El promedio de la conductividad térmica, obtenido de tablas, medidas en campo.
35. Diámetro del pozo donde será insertado el intercambiador de calor.
36. Conductividad térmica del gruteo, basado en una mezcla de bentonita y cemento.

37. Resistencia atérmica del suelo, terreno.

38. Longitud total del intercambiador de calor en modo calefacción.

La determinación de la longitud del intercambiador se modela con las ecuaciones (13-21).

La determinación del tamaño del intercambiador de calor vertical, para trabajar en modo calor, está definido por la ecuación (13). De manera similar la ecuación (14) nos define el tamaño del intercambiador de calor vertical en modo refrigeración.

$$L_{H,T} = \frac{HC_D * \left(\frac{COP_D - 1}{COP_D}\right) * (R_B + R_G * F_H)}{T_G - \left(\frac{EWT_{min} + LWT_{min}}{2}\right)} \quad (13)$$

$$L_{T,C} = \frac{TC_D * \left(\frac{EER_D + 3.412}{EER_D}\right) * (R_B + R_G * F_C)}{\left(\frac{EWT_{max} + LWT_{max}}{2}\right) - T_G} \quad (14)$$

La determinación de la longitud individual de cada uno de los posos en modo calefacción está definido por la ecuación (15), de igual forma la longitud del pozo para el modo refrigeración está definido por la ecuación (16).

$$L_{H,B} = \frac{L_{H,T}}{N_B} \quad (15)$$

$$L_{C,B} = \frac{L_{C,T}}{N_B} \quad (16)$$

Resistencia térmica del suelo (R_G) se determina con la ecuación (17).

$$R_G = \frac{\ln\left(\frac{D_{G,O}}{D_B}\right)}{2 \cdot \pi \cdot k_G} \quad (17)$$

Resistencia térmica del pozo (R_B) se determina con la ecuación (18).

$$R_B = R_B + R_{PP} \quad (18)$$

La resistencia del gruteo está definida por el coeficiente de conductividad térmica del gruteo, este se determina con la ecuación (19).

$$R_{Grout} = \frac{1}{S_B \cdot k_{Grout}} \quad (19)$$

La determinación del factor de forma del pozo está determinada por la ecuación (20).

$$S_B = \frac{17.44 \left(\frac{D_B}{D_{P,O}} \right)^{-0.6052} + 21.91 \left(\frac{D_P}{D_{P,O}} \right)^{-0.3796}}{2} \quad (20)$$

Resistencia térmica de las paredes de la tubería se determinan con la ecuación (21).

$$R_{PP} = R_P / 2 \quad (21)$$

El esquema propuesto para el sistema de aire acondicionado por medio de bomba de calor geotérmico se muestra en la **Figura 52** donde se puede visualizar la distribución de los equipos los cuales componen el sistema de funcionamiento del sistema propuesto.

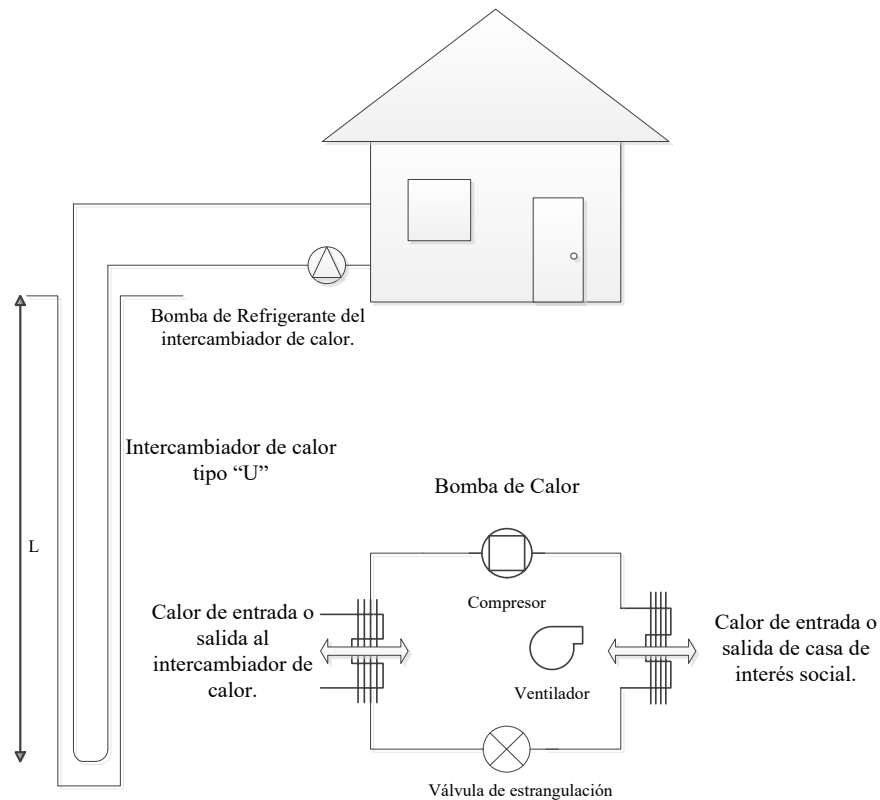


Figura 52 Esquema de sistema de climatización usando bomba de calor geotérmica.

7 Capítulo VII. Análisis de resultados.

Para la solución del sistema de ecuaciones. Se implementó un algoritmo de solución mediante Matlab. Con los principales parámetros de trabajo que intervienen en el dimensionamiento del intercambiador, se realizó una evaluación del efecto provocado por el flujo en la longitud del intercambiador los valores de los distintos flujo de trabajo comprenden los valores de 7.5, 13.5 y 15 GPM valores tanto para la bomba, como para el flujo en el intercambiador ;en la **Tabla 14** muestra los resultados obtenidos para una temperatura de entrada mínima en la bomba trabajando en modo calor la cual fue de 30 °F, la **Tabla 15** muestra los resultados para un valor de EWT min de 40 °F y la **Tabla 16** los resultados para una temperatura de 50 °F, las **Tablas 17-19** muestran los resultados obtenidos con las variaciones del flujo de trabajo y los valores de la temperatura máxima de entrada para el dimensionamiento del intercambiador de calor para el modo refrigeración.

Se presenta en los valores arrojados por los cálculos que no es recomendable trabajar el equipo con valores de flujo de 7.5, 13.5 y 15 gpm cuando el sistema se encuentra en modo calefacción, cuando se pretende alcanzar temperaturas de salida de 120 °F, debido a que arroja valores negativos para la longitud del intercambiador, cuando el sistema se pone en operación en modo refrigeración los valores a arrojados para la longitud del intercambiador no presenta inconveniente en cuanto al valor del flujo empleado y se brindan valores de la longitud aceptables.

Tabla 14 parámetros y resultados de las condiciones de operación de la bomba de calor con EWTmin 30 °F en modo calefacción.

EWTmin	ELTmax	HC _D	POWER DMD	COP	LHB
30	60	38200	2.55	4.39	80.0784737
30	80	36300	3.19	3.34	102.444678
30	100	35200	4.04	2.55	168.610801
30	120	35000	5.12	2	4058.43354
30	60	41000	2.48	4.84	84.0869318
30	80	38800	3.09	3.68	106.42897
30	100	37400	3.92	2.8	166.797159
30	120	37000	4.97	2.18	928.918524
30	60	43000	2.44	5.16	87.5224652
30	80	40700	2.04	6.02	86.6289299
30	100	39200	3.86	2.98	170.491112
30	120	38700	4.05	2.02	660.901839

Tabla 15 Parámetros y resultados de las condiciones de operación de la bomba de calor con EWTmin 40 °F en modo calefacción.

EWTmin	ELTmax	HC _D	POWER DMD	COP	LHB
40	60	44100	2.62	4.93	118.401066
40	80	43100	3.32	3.8	180.8944635
40	100	41800	4.21	2.91	506.1187399
40	120	40300	5.28	2.23	-337.2406728
40	60	46900	2.5	5.49	120.4411036
40	80	45900	3.17	4.25	178.6219654
40	100	44600	4.03	3.25	414.2543482
40	120	43000	5.07	2.49	-549.6170728
40	60	49100	2.45	5.87	123.6052736
40	80	48100	3.1	4.56	181.4301186
40	100	46800	3.94	3.48	392.3355246
40	120	45100	4.97	2.66	-761.5004654

Tabla 16 Parámetros y resultados de las condiciones de operación de la bomba de calor con EWTmin 50 °F modo calefacción

EWTmin	ELTmax	HC _D	POWER DMD	COP	LHB
50	60	50000	2.67	5.5	180.95567
50	80	48900	3.38	4.24	356.826846
50	100	47500	4.28	3.25	-420.346539
50	120	45700	5.37	2.49	-199.971718
50	60	53200	2.55	6.12	177.96007
50	80	52100	3.22	4.74	320.838206
50	100	50700	4.1	3.63	5963.14697
50	120	48900	5.16	2.77	-272.714257
50	60	55700	2.49	6.55	179.852181
50	80	54600	3.15	5.08	313.604053
50	100	53100	4.01	3.89	2208.32605
50	120	51300	5.06	2.97	-328.803393

Tabla 17 Parámetros y resultados de las condiciones de operación de la bomba de calor con EWTmax DE 70 °F en modo refrigeración.

EWTmax	EWTmin	TC _D	POWER DMD	EER	LHB
70	50	43100	3.04	14.2	857.895812
70	60	48500	3.09	15.7	470.985984
70	70	53400	3.14	17	339.011211
70	80	57900	2.18	18.2	271.855992
70	50	45800	2.93	15.7	639.117739
70	60	52300	2.98	17.2	409.07502
70	70	56300	3.02	18.6	302.962985
70	80	60800	3.06	19.9	247.856231
70	50	47700	2.87	16.6	576.790034
70	60	53300	2.92	18.3	376.700623
70	70	58400	2.96	19.7	290.257967
70	80	62900	3	21	239.77133

Los resultados en las **Tabla 15** y **16** podemos observar valores negativos en la profundidad del intercambiador de calor y esto se debe al incremento del flujo en el sistema del intercambiador de calor.

Tabla 18 Parámetros y resultados de las condiciones de operación de la bomba de calor con EWTmax 90 °F EN modo refrigeración.

EWTmax	EWTmin	TC _D	POWER DMD	EER	LHB
90	50	39900	3.87	10.3	246.4591895
90	60	45200	3.94	11.5	210.9566161
90	70	50000	3.99	12.5	186.7186417
90	80	54400	4.04	13.5	167.503154
90	50	42400	3.73	11.4	231.2316182
90	60	47800	3.79	12.6	199.6690295
90	70	52700	3.84	13.7	177.1082253
90	80	56900	3.88	14.7	159.6578915
90	50	44100	3.65	12.1	226.1634951
90	60	49000	3.71	13.4	193.2310013
90	70	54500	3.76	14.5	174.2680759
90	80	58800	3.8	15.5	157.3434155

Tabla 19 Parámetros y resultados de las condiciones de operación de la bomba de calor con EWTmax 110 °F EN modo refrigeración.

EWTmax	EWTmin	TC _D	POWER DMD	EER	LHB
110	50	35100	4.87	7.2	78.9934788
110	60	40600	4.96	8.2	86.6765832
110	70	45600	5.04	9	90.3870482
110	80	50200	5.1	9.8	92.4636314
110	50	37400	6.69	8	86.9402599
110	60	43000	4.77	9	92.6093681
110	70	48100	4.85	9.9	95.4271268
110	80	52800	4.91	10.8	96.877001
110	50	38900	4.6	8.5	91.9717365
110	60	44600	4.68	9.5	96.6636277
110	70	49900	4.75	10.5	99.4690906
110	80	54600	4.81	11.4	100.133064

8 Conclusiones.

La evaluación de los parámetros y el dimensionamiento de un intercambiador de calor geotérmico de una bomba de calor empleado para climatización de una casa de interés social, es una manera en la cual se puede contar con otra alternativa del uso directo del almacenamiento de la energía mediante sistemas geotérmicos, los resultados del dimensionamiento presentados en las **Tablas 14-19**, son los valores brindados de un aserie de cálculos de una gran matriz en la cual se tenía un sistema de bomba de calor geotérmica marca ClimeMaster operando con diversos flujos de trabajo, y con diversas temperaturas de entrada y salida en modo calefacción y refrigeración. se obtuvieron valores cuando el sistema trabaja en modo calefacción con un flujo de 7.5 gpm y una temperatura EWT min de 40, y se pretendía alcanzar un valor de temperatura de salida igual a 120 °F el valor de la longitud del intercambiador arrojó un resultado negativo por lo cual no se recomienda trabajar el sistema con ese flujo y esa temperatura limite, ya que el aumento del flujo genera más turbulencia en el sistema provocando que se realice la transferencia de calor más rápido, lo cual provoca que el sistema en cierto punto invierta la dirección del flujo y da lugar que el sistema deje de extraer más calor comience a ceder calor a las paredes del pozo, interrumpiendo el objetivo del modo de operación., caso similar sucede para un valor de 13.5 gpm, para pretender alcanzar una temperatura de 120 °F. Estos casos se presentan cuando el valor de la demanda de potencia es máximo lo cual implica que el mismo sistema se ve demasiado forzado para cumplir con las características de la carga termina y presenta una posible discontinuidad en la solución y brinda valores negativos para su solución. En el modo refrigeración el sistema se comporta de manera adecuada trabajando con diversos valores empleados para los flujos, y se obtuvieron valores positivos para la longitud del intercambiador. Los valores para la longitud del intercambiador en modo calefacción, y en modo refrigeración son de 437.5 ft y 235 respectivamente. Por ello se estima que el valor del intercambiador para que trabaje de manera adecuada es de 236.25 ft. Que brinda la carga necesaria en cualquier modo de operación que se opte por trabajar. Para asimilar la posible variación de carga o temperaturas que afecten la demanda de carga en el sistema se elige un valor de 240 ft. Cuyo valor es muy cercano a las perforaciones recomendadas para un sistema de agua-agua con un diámetro de 1in.

Hacer un correcto dimensionamiento de un sistema de bomba de calor con intercambiador geotérmico, brinda la certeza de no hacer gastos innecesarios de perforación, materiales, mano de obra o sistemas robustos que al paso del tiempo su capacidad es desaprovechada. Además con esto demostramos que con las búsqueda de información y modelos de dimensionamiento se puede lograr la instalación de este tipo de sistemas, así como el desarrollo de una metodología para el cálculo y dimensionamiento de los intercambiadores, trabajando desde la creación de un modelo virtual a detalle para obtener las cargas energéticas a las cuales estará sometido el complejo de análisis, además del dimensionamiento de los diferentes tipos de intercambiadores de calor geotérmicos, y para finalizar la selección de las bombas de calor geotérmicas para las diferentes necesidades del complejo. Con esto poder garantizar un correcto dimensionamiento de estos sistemas.

- La integración de diversas herramientas de trabajo empleadas en este trabajo y la búsqueda de alternativas de dimensionamiento brindan una contribución a el estado del arte de este tipo de sistemas.
- La comparativa de los flujos de trabajo en el cálculo del dimensionamiento del intercambiador hace hincapié en la importancia que tiene esta variable en el dimensionamiento y brinda la certeza de ser una variable de gran importancia para trabajar en un dimensionamiento futuro del sistema, empleado además en el cálculo variedades diferentes de compuestos y combinaciones en el tipo de fluido de trabajo.
- El manejo del dimensionamiento y cálculo de las cargas térmicas mediante la técnica de modelado BIM, da pauta para la integración de un modelo integral de un sistema de climatización, trabajando con variaciones del efecto de la orientación del complejo por aclimatar, y trabajando con un análisis de variación de la incidencia solar sobre el sistema, esto brindaría un modelo de pronóstico más preciso, y brindaría las herramientas y la información necesaria para realizar un análisis económico global de la instalación.

9 Trabajos a futuro

Evaluación del sistema global de climatización por medio de una bomba de calor geotérmica, trabajando con la distribución y diseño de los ductos de distribución de aire en el interior de las edificaciones. El cual puede ser desarrollado en un trabajo de investigación en el nivel Doctorado.

Con los resultados preliminares de este trabajo de investigación, se logra un avance considerable en cuanto al conocimiento de los sistemas de bomba de calor, los tipos de bombas y las diversas configuraciones de los sistemas. La principal variable que intervienen en el dimensionamiento. En el cual se detectaron posibles áreas de trabajo e integración de otros posibles módulos que mejoran el rendimiento del sistema, o trabajar con sistemas híbridos de climatización.

10 REFERENCIAS.

- [1] IDEAM, PNUD, MADS, DNP, and CANCELLERÍA, “Primer Informe Bienal de actualización de Colombia ante la convención marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático,” 2015.
- [2] L. Pu, D. Qi, K. Li, H. Tan, and Y. Li, “Simulation study on the thermal performance of vertical U-tube heat exchangers for ground source heat pump system,” *Appl. Therm. Eng.*, vol. 79, pp. 202–213, 2015.
- [3] T. Y. Ozudogru, O. Ghasemi-Fare, C. G. Olgun, and P. Basu, “Numerical Modeling of Vertical Geothermal Heat Exchangers Using Finite Difference and Finite Element Techniques,” *Geotech. Geol. Eng.*, vol. 33, pp. 291–306, 2015.
- [4] J. A. Carta Gonzalez, R. Calero, Pérez, A. Colmenar Santos, and M. A. Castro Gil, *Centrales de energías renovables*. 2009.
- [5] Global Wind Energy Council, “Global Wind Energy Outlook 2014,” 2014.
- [6] U. N. D. Programme and U. N. D. of E. and S. Affairs, “World Energy Assessment. Energy and the challenge of Sustainability,” 2000.
- [7] Cuca.M., “Fuentes de energia,” *Cienc. avetrinaria*, vol. 3, no. 2, p. 222, 1978.
- [8] L. Sierra and G. Pedro, “Energía Geotérmica,” pp. 1–58, 1998.
- [9] C. Alterra, “Energia geotermica,” vol. III, pp. 595–610, 2000.
- [10] E. Barbier, “Geothermal energy technology and current status: an overview,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 6, no. 1–2, pp. 3–65, Jan. 2002.
- [11] R. Shortall, B. Davidsdottir, and G. Axelsson, “Geothermal energy for sustainable development: A review of sustainability impacts and assessment frameworks,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 44, pp. 391–406, Apr. 2015.
- [12] R. Bertani, “World geothermal power generation in the period 2001–2005,” *Geothermics*, vol. 34, no. 6, pp. 651–690, Dec. 2005.
- [13] R. Bertani, “Geothermal power generation in the world 2005-2010 update report,” *Geothermics*, vol. 41, no. 2012, pp. 1–29, 2012.
- [14] R. Bertani, “Geothermal Power Generation in the World 2010 – 2014 Update Report,” *Proc. World Geotherm. Congr.*, vol. 2015, no. April, pp. 1–19, 2015.
- [15] E. Oldmeadow, D. Marinova, D. Birks, S. Whittall, and S. Brown, “Low Temperature Geothermal Applications as Enablers of Sustainable Development: Practical Case Studies from Australia and UK,” *Water Resour. Manag.*, vol. 25, no. 12, pp. 3053–3071, 2011.
- [16] S. A. Kyriakis and P. L. Younger, “Towards the increased utilization of geothermal energy in a district heating network through the use of a heat storage,” *Appl. Therm. Eng.*, vol. 94, pp. 99–110, Oct. 2015.
- [17] A. Keçebaş, “Performance and thermo-economic assessments of geothermal district heating system: A case study in Afyon, Turkey,” *Renew. Energy*, vol. 36, no. 1, pp. 77–83, Jan. 2011.
- [18] A. Setel, M. Gordan, C. Antal, and D. Bococi, “Use of geothermal energy to produce electricity at average temperatures,” *2015 13th Int. Conf. Eng. Mod. Electr. Syst. EMES 2015*, pp. 0–3, 2015.
- [19] D. Brown, “The conversion of biomass to ethanol using geothermal energy\nderived from hot dry rock to supply both the thermal and electrical\power requirements,” *IECEC-97 Proc. Thirty-Second Intersoc. Energy Convers. Eng. Conf. (Cat. No.97CH6203)*, vol. 3, pp. 1826–1830, 1997.
- [20] I. G. yMinero de E. (IGME) Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), *Manual de Geotermia*. España, 2008.
- [21] A. Gemelli, A. Mancini, and S. Longhi, “GIS-based energy-economic model of low temperature

- geothermal resources: A case study in the Italian Marche region,” *Renew. Energy*, vol. 36, no. 9, pp. 2474–2483, Sep. 2011.
- [22] A. Garcia-Gutierrez, R. M. Barragan-Reyes, and V. M. Arellano-Gomez, “Research and development on heat pump systems in Mexico using geothermal energy,” *Curr. Appl. Phys.*, vol. 10, pp. 123–127, 2010.
- [23] J. L. Q.-L. L.C.A. Gutiérrez-Negrin, R. Maya-González, “Current status of geothermics in Mexico,” *Proc. 2010 World Geotherm. Congr. Indones.*, p. 11, 2010.
- [24] A. L. Vázquez, “Desarrollo y prospectivas de energía renovable en México,” *Econ. Inf.*, vol. 390, pp. 132–135, Jan. 2015.
- [25] SEMARNAT and INECC, “Primer Informe Bienal de Actualización ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático,” Mexico, D.F, 2015.
- [26] A. Mustafa Omer, “Ground-source heat pumps systems and applications,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 12, no. 2, pp. 344–371, Feb. 2008.
- [27] I. Sarbu and C. Sebarchievici, “General review of ground-source heat pump systems for heating and cooling of buildings,” *Energy Build.*, vol. 70, pp. 441–454, 2014.
- [28] C. Rousseau, J.-L. Comlan Fannou, L. Lamarche, M. Ouzzane, and S. Kajl, “Modeling and experimental validation of a transient direct expansion geothermal heat exchanger,” *Geothermics*, vol. 57, pp. 95–103, Sep. 2015.
- [29] B. Sanner, C. Karytsas, D. Mendrinós, and L. Rybach, “Current status of ground source heat pumps and underground thermal energy storage in Europe,” *Geothermics*, vol. 32, no. 4–6, pp. 579–588, Aug. 2003.
- [30] P. Cui, H. Yang, and Z. Fang, “Numerical analysis and experimental validation of heat transfer in ground heat exchangers in alternative operation modes,” *Energy Build.*, vol. 40, no. 6, pp. 1060–1066, Jan. 2008.
- [31] G. H. Curtis, R., J. Lund, B. Sanner, L. Rybach, “Ground Source Heat Pumps - Geothermal Energy for Anyone, Anywhere: Current Worldwide Activity,” *Proc. World Geotherm. Congr. 2005*, no. April, p. pp.9, 2005.
- [32] A. Garcia-Gutierrez, R. M. Barragan-Reyes, and V. M. Arellano-Gomez, “Research and development on heat pump systems in Mexico using geothermal energy,” *Curr. Appl. Phys.*, vol. 10, no. 2, pp. S123–S127, Mar. 2010.
- [33] H. Demir, A. Koyun, and G. Temir, “Heat transfer of horizontal parallel pipe ground heat exchanger and experimental verification,” *Appl. Therm. Eng.*, vol. 29, no. 2–3, pp. 224–233, Feb. 2009.
- [34] H. Yang, P. Cui, and Z. Fang, “Vertical-borehole ground-coupled heat pumps: A review of models and systems,” *Appl. Energy*, vol. 87, no. 1, pp. 16–27, Jan. 2010.
- [35] C. Han and X. (Bill) Yu, “Sensitivity analysis of a vertical geothermal heat pump system,” *Appl. Energy*, vol. 170, pp. 148–160, May 2016.
- [36] D. Wang, L. Lu, and P. Cui, “A new analytical solution for horizontal geothermal heat exchangers with vertical spiral coils,” *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 100, pp. 111–120, Sep. 2016.
- [37] S. J. Self, B. V. Reddy, and M. a. Rosen, “Geothermal heat pump systems: Status review and comparison with other heating options,” *Appl. Energy*, vol. 101, pp. 341–348, 2013.
- [38] C. Remund, R. Carda, P. Rawlings, and J. Bose, “GROUND SOURCE HEAT PUMP RESIDENTIAL AND LIGHT CEMMERCIAL DESIGN AND INSTALLATION GUIDE.” Oklahoma state University, Stillwater, Oklahoma, 2011.
- [39] H. Fujii, K. Nishi, Y. Komaniwa, and N. Chou, “Numerical modeling of slinky-coil horizontal ground heat exchangers,” *Geothermics*, vol. 41, pp. 55–62, 2012.

- [40] I. para la D. y A. de la Energía, *Guía técnica, Diseño de sistemas de bomba de calor geotérmica.* .
- [41] F. H. Abanda and L. Byers, “An investigation of the impact of building orientation on energy consumption in a domestic building using emerging BIM (Building Information Modelling),” *Energy*, vol. 97, pp. 517–527, Feb. 2016.
- [42] E. Coloma Picó, *Introducción a la tecnología bim.* 2008.
- [43] C. GARCES, SÁNCHEZI, ISABEL, “Definición de vivienda de interés social.,” 2012. [Online]. Available: <http://www.accounter.co/normatividad/conceptos/10442-definicion-de-vivienda-de-interes-social-que-se-debe-aplicar-para-efectos-de-la-devolucion-o-compensacion-del-impuesto-sobre-las-ventas.html>.
- [44] C. Julián, A. William, and E. Fabián, “Evaluación de los costos de construcción de sistemas estructurales para viviendas de baja altura y de interés social,” *Ing. Investig. y Tecnol.*, vol. 16, no. 4, pp. 479–490, Oct. 2015.
- [45] B. Candy, “Casa de interes Social,” 2012. [Online]. Available: <http://planosycasas.blogspot.mx/2012/02/planta-arquitectonica-de-casa-de.html>.
- [46] A. S, “Comparacion de Alternativas para el acondicionamiento en edificios en base al consumo electrico,” pp. 1–85.
- [47] R. G. Pernía and A. Quiroga, “Elaboración de un programa de cálculo de cargas térmicas para edificios de oficinas,” 2006.
- [48] C. Air and C. Compd, “AIRE ACONDICIONAb ~.”

11 ANEXOS

11.1 Anexo A

Hoja de selección de la bomba de calor Geotérmica.

Single Capacity Water-Water GSHP Selection Worksheet							
Block Load Description = <u>Example Residence</u>				Zone #	<u>Single Zone</u>		
Total Htg Load = <u>1</u>		Btu/hr @ <u>2</u> F OAT		Total Clg Load = <u>8</u>		Btu/hr @ <u>9</u> F OAT	
Htg Load Design Water Temp = <u>3</u>		F (HLDWT)		Clg Load Design Water Temp = <u>10</u>		F (CLDWT)	
Htg Load Water Flow Rate = <u>4</u>		gpm		Clg Load Water Flow Rate = <u>11</u>		gpm	
T-Stat Set Point = <u>5 / 6 / 7</u> (Htg dB / Clg dB / %-RH)							
Brand <u>12</u>							
Model <u>13</u>							
Heating Mode Performance Data				Cooling Mode Performance Data			
Performance Parameters		Correction Factors ^A		Performance Parameters		Correction Factors ^A	
EWT _{min} =	<u>14</u> F	HC	DMD	EWT _{max} =	<u>22</u> F	TC	DMD
GPM =	<u>15</u> gpm			GPM =	<u>23</u> gpm		
GPM _{rated} =	<u>16</u> gpm	CF _{AF} = <u>20</u>	CF _{AF} = <u>21</u>	GPM _{load} =	<u>24</u> gpm	CF _{AF} = <u>28</u>	CF _{AF} = <u>29</u>
ELT _{max} =	<u>17</u> F			ELT _{min} =	<u>25</u> F		
Antifreeze / % ^B <u>18 / 19</u>				Antifreeze / % ^B <u>26 / 27</u>			
Tabled Heating Mode Performance Data				Tabled Cooling Mode Performance Data			
HC =	<u>30</u> Btu/hr	TC =	<u>35</u> Btu/hr	DMD =	<u>36</u> kW	EER =	<u>37</u>
DMD =	<u>31</u> kW	HR =	<u>38</u> Btu/hr (= TC x (EER+3.412)/EER) ^C	LLT _c =	<u>39</u> F (= ELT _{min} - TC / (GPM _{max} x 500)) (< CLDWT)		
COP =	<u>32</u>						
HE =	<u>33</u> Btu/hr (= HC x (COP-1)/COP) ^C						
LLT _H =	<u>34</u> F (= ELT _{min} + HC / (GPM _{max} x 500)) (> HLDWT)						
Corrected Heating Mode Performance Data				Corrected Cooling Mode Performance Data			
HC _c =	HC x CF _{AF} = <u>40</u> Btu/hr	TC _c =	TC x CF _{AF} = <u>45</u> Btu/hr	DMD _c =	DMD x CF _{AF} = <u>46</u> kW	EER _c =	HC _c / (DMD _c x 1000) = <u>47</u>
DMD _c =	DMD x C _{af} = <u>41</u> kW	HR _c =	HC _c x (EER+3.412)/EER = <u>48</u> Btu/hr	LWT _{max} =	EWT _{min} + HR _c / (500 x GPM) = <u>49</u> F		
COP _c =	HC _c / (DMD _c x 3412) = <u>42</u>						
HE _c =	HC _c x (COP _c -1)/COP _c = <u>43</u> Btu/hr						
LWT _{min} =	EWT _{min} - HE _c / (500 x GPM) = <u>44</u> F						
% Sizing in Heating Mode				% Sizing in Cooling Mode			
% Sizing = $\frac{HC_c}{\text{Total Heat Loss}} \times 100\%$				% Oversizing = $\frac{TC_c - \text{Total Clg Ld}}{\text{Total Clg Ld}} \times 100\%$			
% Sizing = <u>50</u> %				= <u>51</u> %			
Tabled Water Coil Performance Summary							
Side	Mode	EWT _{min}	GPM	WPD (psi)	WPD (ft)	Test Circulating Fluid	
Loop	52	53	54	55	56	57	
Load	58	59	60	61	62	63	
A. Apply correction factors for Antifreeze (AF) as needed depending on Manufacturer's Literature. (No correction - CF=1) B. CF _{AF} = CF _{Used} / CF _{Tested} . CF _{Used} for antifreeze being used. CF _{Tested} for circulating fluid performance was determined with. C. Use this equation if performance parameter not provided by Manufacturer in the Engineering Specifications.							
NOTES:							

Figure 3.4. Single Capacity Water-Water GSHP Selection Worksheet

Tabla de rendimiento de bomba de calor.

SOURCE				LOAD																							
EWT °F	Flow			EWT °F	Flow 7.5 gpm						Flow 11.3 gpm						Flow 15.0 gpm										
	GPM	WPD			HC MBtuh	Power KW	HE MBtuh	LWT °F	COP	WPD		HC MBtuh	Power KW	HE MBtuh	LWT °F	COP	WPD		HC MBtuh	Power KW	HE MBtuh	LWT °F	COP	WPD			
		PSI	FT							PSI	FT						PSI	FT						PSI	FT		
20	15.0	7.9	18.2	60	38.2	2.55	29.5	70.2	4.39	1.6	3.7	37.2	2.44	28.9	66.6	4.48	3.1	7.1	37.4	2.39	29.3	65.0	4.58	5.0	11.6		
				80	35.0	3.17	24.2	89.3	3.24	1.3	3.0	35.2	3.04	24.9	86.2	3.39	2.6	5.9	35.4	2.98	25.2	84.7	3.48	4.2	9.7	5.0	11.6
				100	33.9	4.01	20.2	109.0	2.48	0.9	2.1	34.0	3.86	20.9	106.0	2.59	1.9	4.5	34.1	3.78	21.2	104.5	2.64	3.5	8.1	4.2	9.7
		120	33.6	5.08	16.3	129.0	1.94	0.6	1.5	33.6	4.89	17.0	126.0	2.02	1.6	3.6	33.6	4.79	17.3	124.5	2.06	2.9	6.7	5.0	11.6		
	7.5	3.1	7.2	60	38.2	2.55	29.5	70.2	4.39	1.6	3.7	38.7	2.46	30.3	66.8	4.62	3.1	7.1	38.9	2.41	30.7	65.2	4.73	5.0	11.6		
				80	36.3	3.19	25.4	89.7	3.34	1.3	3.0	36.6	3.06	26.1	86.5	3.50	2.6	5.9	36.7	3.00	26.6	84.9	3.58	4.2	9.7		
				100	35.2	4.04	21.4	109.4	2.55	0.9	2.1	35.4	3.88	22.1	106.3	2.67	1.9	4.5	35.4	3.81	22.4	104.7	2.73	3.5	8.1		
		120	35.0	5.12	17.5	129.3	2.00	0.6	1.5	34.9	4.92	18.1	126.2	2.08	1.6	3.6	34.9	4.83	18.5	124.7	2.12	2.9	6.7				
	30	11.3	5.0	11.5	60	40.5	2.57	31.7	70.8	4.61	1.6	3.7	41.0	2.48	32.5	67.2	4.84	3.1	7.1	41.2	2.43	32.9	65.5	4.96	5.0	11.6	
					80	38.5	3.22	27.5	90.3	3.50	1.3	3.0	38.8	3.09	28.2	86.9	3.68	2.6	5.9	38.9	3.03	28.6	85.2	3.76	4.2	9.7	
					100	37.3	4.08	23.4	109.9	2.68	0.9	2.1	37.4	3.92	24.1	106.6	2.80	1.9	4.5	37.5	3.84	24.4	105.0	2.86	3.5	8.1	
			120	37.0	5.16	19.4	129.9	2.10	0.6	1.5	37.0	4.97	20.1	126.5	2.18	1.6	3.6	37.0	4.87	20.4	124.9	2.23	2.9	6.7			
15.0		7.4	17.0	60	42.3	2.58	33.5	71.3	4.80	1.6	3.7	42.8	2.49	34.3	67.6	5.04	3.1	7.1	43.0	2.44	34.7	65.7	5.16	5.0	11.6		
				80	40.2	3.23	29.2	90.7	3.65	1.3	3.0	40.2	3.10	29.9	87.2	3.82	2.6	5.9	40.7	3.04	29.6	85.9	3.12	4.2	9.7		
				100	38.8	4.09	25.6	110.7	2.82	0.9	2.1	38.7	4.99	26.1	107.8	2.97	1.9	4.5	38.7	4.93	26.4	106.2	3.02	3.5	8.1		
		120	38.7	5.18	21.0	130.3	2.19	0.6	1.5	38.7	4.99	21.6	126.8	2.27	1.6	3.6	38.7	4.93	21.9	125.2	2.32	2.9	6.7				
40		7.5	2.7	6.2	60	44.1	2.62	35.1	71.8	4.93	1.6	3.7	44.3	2.48	35.8	67.8	5.23	3.1	7.1	44.3	2.42	36.1	65.9	5.37	5.0	11.6	
					80	43.1	3.32	31.6	91.5	3.80	1.3	3.0	43.4	3.14	32.6	87.7	4.05	2.6	5.9	43.5	3.06	33.1	85.8	4.17	4.2	9.7	
					100	41.8	4.21	27.5	111.2	2.91	0.9	2.1	42.1	3.99	28.5	107.5	3.10	1.9	4.5	42.3	3.89	29.0	105.6	3.19	3.5	8.1	
			120	40.3	5.28	22.2	130.7	2.23	0.6	1.5	40.6	5.03	23.5	127.2	2.37	1.6	3.6	40.8	4.91	24.1	125.4	2.44	2.9	6.7			
	11.3	4.4	10.2	60	46.7	2.64	37.7	72.4	5.17	1.6	3.7	46.9	2.50	38.3	68.3	5.49	3.1	7.1	47.0	2.44	38.6	66.3	5.64	5.0	11.6		
				80	45.6	3.35	34.2	92.2	3.99	1.3	3.0	45.9	3.17	35.1	88.1	4.25	2.6	5.9	46.0	3.08	35.5	86.1	4.38	4.2	9.7		
				100	44.3	4.25	29.8	111.8	3.06	0.9	2.1	44.6	4.03	30.9	107.9	3.25	1.9	4.5	44.8	3.92	31.4	106.0	3.35	3.5	8.1		
		120	42.6	5.33	24.5	131.4	2.35	0.6	1.5	43.0	5.07	25.7	127.6	2.48	1.6	3.6	43.2	4.95	26.3	125.8	2.56	2.9	6.7				
	15.0	6.6	15.2	60	48.8	2.66	39.7	73.0	5.38	1.6	3.7	49.0	2.51	40.4	68.7	5.71	3.1	7.1	49.1	2.45	40.7	66.5	5.87	5.0	11.6		
				80	47.7	3.36	36.2	92.7	4.16	1.3	3.0	48.0	3.18	37.1	88.5	4.42	2.6	5.9	48.1	3.10	37.5	86.4	4.56	4.2	9.7		
				100	46.3	4.26	31.7	112.3	3.16	0.9	2.1	46.5	4.04	32.8	108.3	3.38	1.9	4.5	46.8	3.94	33.4	106.2	3.48	3.5	8.1		
		120	44.5	5.35	26.3	131.9	2.44	0.6	1.5	45.0	5.09	27.6	128.0	2.59	1.6	3.6	45.1	4.97	28.2	126.0	2.66	2.9	6.7				
50	7.5	2.2	5.2	60	50.0	2.67	40.9	73.3	5.50	1.6	3.7	50.3	2.53	41.6	68.9	5.83	3.1	7.1	50.3	2.46	41.9	66.7	5.99	5.0	11.6		
				80	48.9	3.38	37.4	93.0	4.24	1.3	3.0	49.2	3.20	38.3	88.7	4.51	2.6	5.9	49.4	3.11	38.7	86.6	4.86	4.2	9.7		
				100	47.5	4.28	32.9	112.7	3.25	0.9	2.1	47.8	4.06	34.0	108.5	3.45	1.9	4.5	48.0	3.95	34.5	106.4	3.56	3.5	8.1		
		120	45.7	5.37	27.4	132.2	2.49	0.6	1.5	46.1	5.12	28.7	128.2	2.64	1.6	3.6	46.3	5.00	29.3	126.2	2.72	2.9	6.7				
	11.3	4.0	9.2	60	53.0	2.69	43.8	74.1	5.77	1.6	3.7	53.2	2.55	44.5	69.4	6.12	3.1	7.1	53.3	2.48	44.8	67.1	6.29	5.0	11.6		
				80	51.8	3.41	40.2	93.8	4.45	1.3	3.0	52.1	3.22	41.1	89.2	4.74	2.6	5.9	52.3	3.14	41.6	87.0	4.88	4.2	9.7		
				100	50.3	4.32	35.6	113.4	3.41	0.9	2.1	50.7	4.10	36.7	109.0	3.63	1.9	4.5	50.9	3.99	37.2	106.8	3.74	3.5	8.1		
		120	48.4	5.42	29.9	132.9	2.62	0.6	1.5	48.7	5.16	31.2	128.6	2.77	1.6	3.6	49.1	5.04	31.9	126.5	2.85	2.9	6.7				
	15.0	6.1	14.1	60	55.4	2.70	46.1	74.8	6.00	1.6	3.7	55.6	2.56	46.9	69.8	6.37	3.1	7.1	55.7	2.49	47.2	67.4	6.55	5.0	11.6		
				80	54.1	3.42	42.5	94.4	4.64	1.3	3.0	54.5	3.24	43.4	89.6	4.93	2.6	5.9	54.6	3.15	43.9	87.3	5.08	4.2	9.7		
				100	52.5	4.34	37.7	114.0	3.55	0.9	2.1	52.9	4.11	38.9	109.4	3.77	1.9	4.5	53.1	4.01	39.5	107.1	3.89	3.5	8.1		
		120	50.6	5.44	32.0	133.5	2.72	0.6	1.5	51.0	5.18	33.3	129.0	2.88	1.6	3.6	51.3	5.06	34.0	126.8	2.97	2.9	6.7				
60	7.5	2.1	4.8	60	55.5	2.71	46.3	74.8	6.00	1.6	3.7	55.8	2.57	47.0	69.9	6.37	3.1	7.1	55.9	2.50	47.3	67.4	6.55	5.0	11.6		
				80	54.3	3.43	42.6	94.5	4.64	1.3	3.0	54.6	3.25	43.5	89.7	4.93	2.6	5.9	54.8	3.16	44.0	87.3	5.08	4.2	9.7		
				100	52.7	4.35	37.9	114.1	3.55	0.9	2.1	53.1	4.13	39.0	109.4	3.77	1.9	4.5	53.3	4.02	39.6	107.1	3.89	3.5	8.1		
		120	50.7	5.46	32.1	133.5	2.72	0.6	1.5	51.2	5.20	33.4	129.1	2.88	1.6	3.6	51.4	5.08	34.1	126.9	2.97	2.9	6.7				
	11.3	3.8	8.7	60	58.8	2.73	49.5	75.7	6.31	1.6	3.7	59.1	2.59	50.2	70.5	6.69	3.1	7.1	59.2	2.52	50.6	67.9	6.88	5.0	11.6		
				80	57.5	3.46	45.7	95.3	4.87	1.3	3.0	57.9	3.27	46.7	90.2	5.18	2.6	5.9	58.0	3.19	47.1	87.7	5.34	4.2	9.7		
				100	55.8	4.39	40.8	114.9	3.73	0.9	2.1	56.2	4.16	42.0	110.0	3.96	1.9	4.5	56.4	4.05	42.6	107.5	4.08	3.5	8.1		
		120	53.7	5.51	34.9	134.3	2.86	0.6	1.5	54.2	5.24	36.3	129.6	3.03	1.6	3.6	54.4	5.12	37.0	127.3	3.12	2.9	6.7				
	15.0	5.7	13.3	60	61.4	2.74	52.1	76.4	6.56	1.6	3.7	61.7	2.60	52.8	70.9	6.96	3.1	7.1	61.8	2.53	53.2	68.2	7.15	5.0	11.6		
				80	60.1	3.48	48.2	96.0	5.06	1.3	3.0	60.4	3.29	49.2	90.7	5.39	2.6	5.9	60.6	3.20	49.7	88.1	5.55	4.2	9.7		
				100	58.3	4.41	43.3	115.5	3.88	0.9	2.1	58.8	4.18	44.5	11												

SOURCE				LOAD																								
EWT °F	Flow			EWT °F	Flow 7.5 gpm								Flow 11.3 gpm								Flow 15.0 gpm							
	GPM	WPD			HC MBtuh	Power KW	HE MBtuh	LWT °F	COP	WPD		HC MBtuh	Power KW	HE MBtuh	LWT °F	COP	WPD		HC MBtuh	Power KW	HE MBtuh	LWT °F	COP	WPD				
		PSI	FT							PSI	FT						PSI	FT						PSI	FT	PSI	FT	
20	15.0	7.9	18.2	60	36.8	2.53	28.2	69.8	4.26	1.6	3.7	37.2	2.44	28.9	66.6	4.48	3.1	7.1	37.4	2.39	29.3	67.2	4.58	5.0	11.6			
				80	35.0	3.17	24.2	89.3	3.24	1.3	3.0	35.2	3.04	24.9	86.2	3.39	2.6	5.9	35.4	2.98	25.2	84.7	3.48	4.2	9.7			
				100	33.9	4.01	20.2	109.0	2.48	0.9	2.1	34.0	3.86	20.9	106.0	2.59	1.9	4.5	34.1	3.78	21.2	104.5	2.64	3.5	8.1			
	30	7.5	3.1	7.2	60	38.2	2.55	29.5	70.2	4.39	1.6	3.7	38.7	2.46	30.3	66.8	4.62	3.1	7.1	38.9	2.41	30.7	65.2	4.73	5.0	11.6		
					80	36.3	3.19	25.4	89.7	3.34	1.3	3.0	36.6	3.06	26.1	86.5	3.50	2.6	5.9	36.7	3.00	26.5	84.9	3.58	4.2	9.7		
					100	35.2	4.04	21.4	109.4	2.55	0.9	2.1	35.4	3.88	22.1	106.3	2.67	1.9	4.5	35.4	3.81	22.4	104.7	2.73	3.5	8.1		
		40	11.3	5.0	11.5	60	40.5	2.57	31.7	70.8	4.61	1.6	3.7	41.0	2.48	32.5	67.2	4.84	3.1	7.1	41.2	2.43	32.9	65.5	4.96	5.0	11.6	
						80	38.5	3.22	27.5	90.3	3.50	1.3	3.0	38.8	3.09	28.2	86.9	3.68	2.6	5.9	38.9	3.03	28.6	85.2	3.76	4.2	9.7	
						100	37.3	4.08	23.4	109.9	2.68	0.9	2.1	37.4	3.92	24.1	106.6	2.80	1.9	4.5	37.5	3.84	24.4	105.0	2.86	3.5	8.1	
			50	15.0	7.4	17.0	60	42.3	2.58	33.5	71.3	4.80	1.6	3.7	42.8	2.49	34.3	67.6	5.04	3.1	7.1	43.0	2.44	34.7	65.7	5.16	5.0	11.6
							80	40.2	3.23	29.2	90.7	3.65	1.3	3.0	40.5	3.10	29.9	87.2	3.82	2.6	5.9	40.7	3.24	29.3	85.9	3.58	4.2	9.7
							100	38.7	4.09	25.0	110.3	2.79	0.9	2.1	38.7	4.09	25.6	106.8	2.91	1.9	4.5	38.7	4.09	25.6	105.2	2.98	3.5	8.1
60				7.5	2.7	6.2	60	44.1	2.62	35.1	71.8	4.93	1.6	3.7	44.3	2.48	35.8	67.8	5.23	3.1	7.1	44.3	2.42	36.1	65.9	5.37	5.0	11.6
							80	43.1	3.32	31.8	91.5	3.80	1.3	3.0	43.4	3.14	32.6	87.7	4.05	2.6	5.9	43.5	3.06	33.1	85.8	4.17	4.2	9.7
							100	41.8	4.21	27.5	111.2	2.91	0.9	2.1	42.1	3.99	28.5	107.5	3.10	1.9	4.5	42.3	3.89	29.0	105.6	3.19	3.5	8.1
	70			11.3	4.4	10.2	60	46.7	2.64	37.7	72.4	5.17	1.6	3.7	46.9	2.50	38.3	68.3	5.49	3.1	7.1	47.0	2.44	38.6	66.3	5.64	5.0	11.6
							80	45.6	3.35	34.2	92.2	3.99	1.3	3.0	45.9	3.17	35.1	88.1	4.25	2.6	5.9	46.0	3.08	35.5	86.1	4.38	4.2	9.7
							100	44.3	4.25	29.8	111.8	3.06	0.9	2.1	44.6	4.03	30.9	107.9	3.25	1.9	4.5	44.8	3.92	31.4	106.0	3.35	3.5	8.1
		80		15.0	6.6	15.2	60	48.8	2.66	39.7	73.0	5.38	1.6	3.7	49.0	2.51	40.4	68.7	5.71	3.1	7.1	49.1	2.45	40.7	66.5	5.87	5.0	11.6
							80	47.7	3.36	36.2	92.7	4.16	1.3	3.0	48.0	3.18	37.1	88.5	4.42	2.6	5.9	48.1	3.10	37.5	86.4	4.56	4.2	9.7
							100	46.3	4.26	31.7	112.3	3.18	0.9	2.1	46.6	4.14	32.8	108.3	3.38	1.9	4.5	46.8	3.94	33.2	106.2	3.48	3.5	8.1
			90	7.5	2.2	5.2	60	50.0	2.67	40.9	73.3	5.50	1.6	3.7	50.3	2.53	41.6	68.9	5.83	3.1	7.1	50.3	2.46	41.9	66.7	5.99	5.0	11.6
							80	48.9	3.38	37.4	93.0	4.24	1.3	3.0	49.2	3.20	38.3	88.7	4.51	2.6	5.9	49.4	3.11	38.7	86.6	4.65	4.2	9.7
							100	47.5	4.28	32.9	112.7	3.25	0.9	2.1	47.8	4.06	34.0	108.5	3.45	1.9	4.5	48.0	3.95	34.5	106.4	3.56	3.5	8.1
100				11.3	4.0	9.2	60	53.0	2.69	43.8	74.1	5.77	1.6	3.7	53.2	2.55	44.5	69.4	6.12	3.1	7.1	53.3	2.48	44.8	67.1	6.29	5.0	11.6
							80	51.8	3.41	40.2	93.8	4.45	1.3	3.0	52.1	3.22	41.1	89.2	4.74	2.6	5.9	52.3	3.14	41.6	87.0	4.86	4.2	9.7
							100	50.3	4.32	36.6	113.4	3.41	0.9	2.1	50.7	4.10	36.7	109.0	3.63	1.9	4.5	50.9	3.99	37.2	106.8	3.74	3.5	8.1
	110			15.0	6.1	14.1	60	55.4	2.70	46.1	74.8	6.00	1.6	3.7	55.6	2.56	46.9	69.8	6.37	3.1	7.1	55.7	2.49	47.2	67.4	6.55	5.0	11.6
							80	54.1	3.42	42.5	94.4	4.64	1.3	3.0	54.5	3.25	43.5	89.6	4.93	2.6	5.9	54.6	3.15	43.9	87.3	5.08	4.2	9.7
							100	52.5	4.34	37.7	114.0	3.55	0.9	2.1	52.9	4.11	38.9	109.4	3.77	1.9	4.5	53.1	4.01	39.5	107.1	3.89	3.5	8.1
		120		7.5	2.1	4.8	60	55.5	2.71	46.3	74.8	6.00	1.6	3.7	55.8	2.57	47.0	69.9	6.37	3.1	7.1	55.9	2.50	47.3	67.4	6.55	5.0	11.6
							80	54.3	3.43	42.6	94.5	4.64	1.3	3.0	54.6	3.25	43.5	89.7	4.93	2.6	5.9	54.8	3.16	44.0	87.3	5.08	4.2	9.7
							100	52.7	4.35	37.9	114.1	3.55	0.9	2.1	53.1	4.13	39.0	109.4	3.77	1.9	4.5	53.3	4.02	39.6	107.1	3.89	3.5	8.1
			130	11.3	3.8	8.7	60	57.7	2.72	48.4	75.3	6.23	1.6	3.7	57.9	2.59	48.0	70.5	6.69	3.1	7.1	57.9	2.52	48.3	67.9	6.88	5.0	11.6
							80	56.5	3.46	45.7	95.3	4.87	1.3	3.0	57.2	3.27	46.7	90.2	5.18	2.6	5.9	58.0	3.19	47.1	87.7	5.34	4.2	9.7
							100	55.8	4.39	40.8	114.9	3.73	0.9	2.1	58.2	4.16	42.0	110.0	3.96	1.9	4.5	58.4	4.05	42.6	107.5	4.08	3.5	8.1
140				15.0	5.7	13.3	60	59.7	2.74	50.1	75.8	6.46	1.6	3.7	60.1	2.60	50.9	70.9	6.96	3.1	7.1	60.1	2.53	51.2	68.2	7.15	5.0	11.6
							80	60.1	3.48	48.2	96.0	5.06	1.3	3.0	60.4	3.29	49.2	90.7	5.39	2.6	5.9	60.6	3.20	49.7	88.1	5.55	4.2	9.7
							100	58.3	4.41	43.3	115.5	3.88	0.9	2.1	58.8	4.18	44.5	110.4	4.12	1.9	4.5	59.0	4.07	45.1	107.9	4.25	3.5	8.1
	150			7.5	1.9	4.5	60	59.7	2.79	50.2	75.9	6.27	1.6	3.7	60.0	2.61	51.1	70.6	6.73	3.1	7.1	60.2	2.53	51.5	68.0	6.96	5.0	11.6
							80	58.7	3.53	46.7	95.7	4.87	1.3	3.0	59.0	3.31	47.7	90.4	5.23	2.6	5.9	59.2	3.20	48.2	87.9	5.42	4.2	9.7
							100	57.7	4.46	42.5	115.4	3.80	0.9	2.1	58.0	4.18	43.7	110.3	4.06	1.9	4.5	58.1	4.05	44.3	107.8	4.20	3.5	8.1
		160		11.3	3.6	8.2	60	63.3	2.82	53.7	76.9	6.59	1.6	3.7	63.6	2.64	54.6	71.3	7.07	3.1	7.1	63.7	2.55	55.0	68.5	7.31	5.0	11.6
							80	62.2	3.56	50.0	96.6	5.12	1.3	3.0	62.5	3.33	51.1	91.1	5.49	2.6	5.9	62.6	3.23	51.6	88.4	5.69	4.2	9.7
							100	61.1	4.49	45.8	116.3	3.99	0.9	2.1	61.4	4.22	47.0	110.9	4.27	1.9	4.5	61.6	4.09	47.5	108.2	4.41	3.5	8.1
			170	15.0	5.5	12.7	60	66.1	2.83	55.5	77.5	6.85	1.6	3.7	66.4	2.65	57.4	71.8	7.35	3.1	7.1	66.6	2.56	57.8	68.9	7.61	5.0	11.6
							80	65.0	3.58	52.9	97.3	5.32	1.3	3.0	65.3	3.35	53.9	91.6	5.72	2.6	5.9	65.4	3.24	54.4	88.7	5.92	4.2	9.7
							100	63.9	4.51	48.5	117.0	4.15	0.9	2.1	64.2	4.24	49.7	111.4	4.44	1.9	4.5	64.3	4.11	50.3	108.8	4.59	3.5	8.1

Figure A.16. ClimateMaster Genesis GSW Model 060 Heating Performance Data

11.2 Anexo B

Dimensionamiento de intercambiador vertical modo calefacción.

Vertically-Bored GHEX Design Worksheet – Heating Mode

Space Heating GSHP Design Data		HWG GSHP Design Data		Total Design Data	
HC _C ¹	= 1 Btu/hr	HC _{HWG}	= 9 Btu/hr	HC _D	= 14 Btu/hr
DMD _C ¹	= 2 kW	DMD _{HWG}	= 10 kW	DMD _D	= 15 kW
GPM ¹	= 3 gpm	GPM _{HWG}	= 11 gpm	GPM _D	= 16 gpm
AGL _H	= 4 Btu	AGL _{HWG}	= 12 Btu	AGL _{HD}	= 17 Btu
AGL _C	= 5 Btu			AGL _{CD}	= 18 Btu
Total Heat Loss ¹	= 6 Btu/hr				
Percent Sizing	= 7 %				
F _{Jan}	= 8	F _{HWG}	= 13		

GHEX Design Data			
COP _D ² (= HC _D / (DMD _D x 3.412))	= 19	EWT _{min} ³	= 22 F
HE _D ² (= HC _D x (COP _D -1)/COP _D)	= 20 Btu/hr	LWT _{min} ² (= EWT _{min} - HE _D /(500xGPM _D))	= 23 F
F _H (= (F _{Jan} x HC _C + F _{HWG} x HC _{HWG}) / HC _D)	= 21		

1. For single heat pump installation use data directly from the appropriate GSHP Selection Worksheet. For multiple heat pumps in the installation sum all heat pump Total Heat Losses, HC_C's, DMD_C's and GPM's that will be connected to a single GHEX using the table provided below.
 2. For single heat pump installation use data directly from appropriate GSHP Selection Worksheet. For multiple heat pumps use the equation provided.
 3. EWT_{min} is obtained directly from the appropriate GSHP Selection Worksheet and must be the same for the selection of all heat pumps for a multiple heat pump installation connected to a single GHEX. (24)

	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4	Zone 5	Zone 6	Zone 7	Zone 8	Zone 9	Zone 10	Total
Total Heat Loss											
HC _C											
DMD _C											
GPM											

Vertical Borefield Layout		Vertical Borefield Design Data	
U-bend D _p	= 25 in	T _G	= 33 F
GPM _{FP}	= 26 gpm/flowpath	k _G	= 34 Btu/hr ft F (Table 5.6)
N _{FP}	= 27 flowpaths	D _{bore}	= 35 in
N _{BIS}	= 28 bores in series	k _{Gout}	= 36 Btu/hr ft F
N _B	= 29 bores	(R _B + R _G · F _H)	= 37 hr ft F/Btu (Table 5.8, 5.9 or 5.10)
Layout	= 30 x 31 (N _{Rows} x N _{Bores/Row})		
Bore Spacing	= 32 ft		

Borehole Design Lengths (Equations 5.1 and 5.2) (38)

$$L_{H,T} = \frac{HC_D \cdot \left(\frac{COP_D - 1}{COP_D} \right) \cdot (R_B + R_G \cdot F_H)}{T_G - \left(\frac{EWT_{min} + LWT_{min}}{2} \right)} = \frac{(\quad) \cdot (\quad)}{(\quad) - (\quad)} = \frac{(\quad)}{(\quad)} = \quad \text{ft of bore}$$

$$L_{H,B} = \frac{L_{H,T}}{N_B} = \quad \text{ft per bore (Below Header Trench)}$$

Unbalanced Ground Load Borehole Design Lengths (Equations 5.9a, 5.10, and 5.11) (39)

$$NNAGL = \frac{AGL_{HD} - AGL_{CD}}{L_{H,T} \cdot \left(T_G - \left(\frac{EWT_{min} + LWT_{min}}{2} \right) \right)} = \frac{(\quad) - (\quad)}{(\quad) \cdot (\quad)} = \quad \text{Btu / ft F}$$

$$B_M = \quad \quad \quad \text{(Figures 5.13 through 5.18)}$$

$$L_{H,T,UGL} = B_M \cdot L_{H,T} = \quad \text{ft of bore} \quad L_{H,B,UGL} = \frac{L_{H,T,UGL}}{N_B} = \quad \text{ft per bore (Below Header Trench)}$$

Heating Design Length Calculations Summary Table (40)

Layout for Flow and Number of Bores						Design Length Calculations				Unbalanced Ground Load Design Lengths					
D _p	GPM _{FP}	N _{FP}	N _{BIS}	N _B	Layout	k _{Gout}	R _B +R _G ·F _H	L _{H,T}	L _{H,B}	Layout	Spacing	NNAGL	B _M	L _{H,T,UGL}	L _{H,B,UGL}
					/										
					/										
					/										
					/										

Figure 5.19. Vertically-Bored GHEX Design Worksheet – Heating Mode.

Dimensionamiento de intercambiador modo refrigeración.

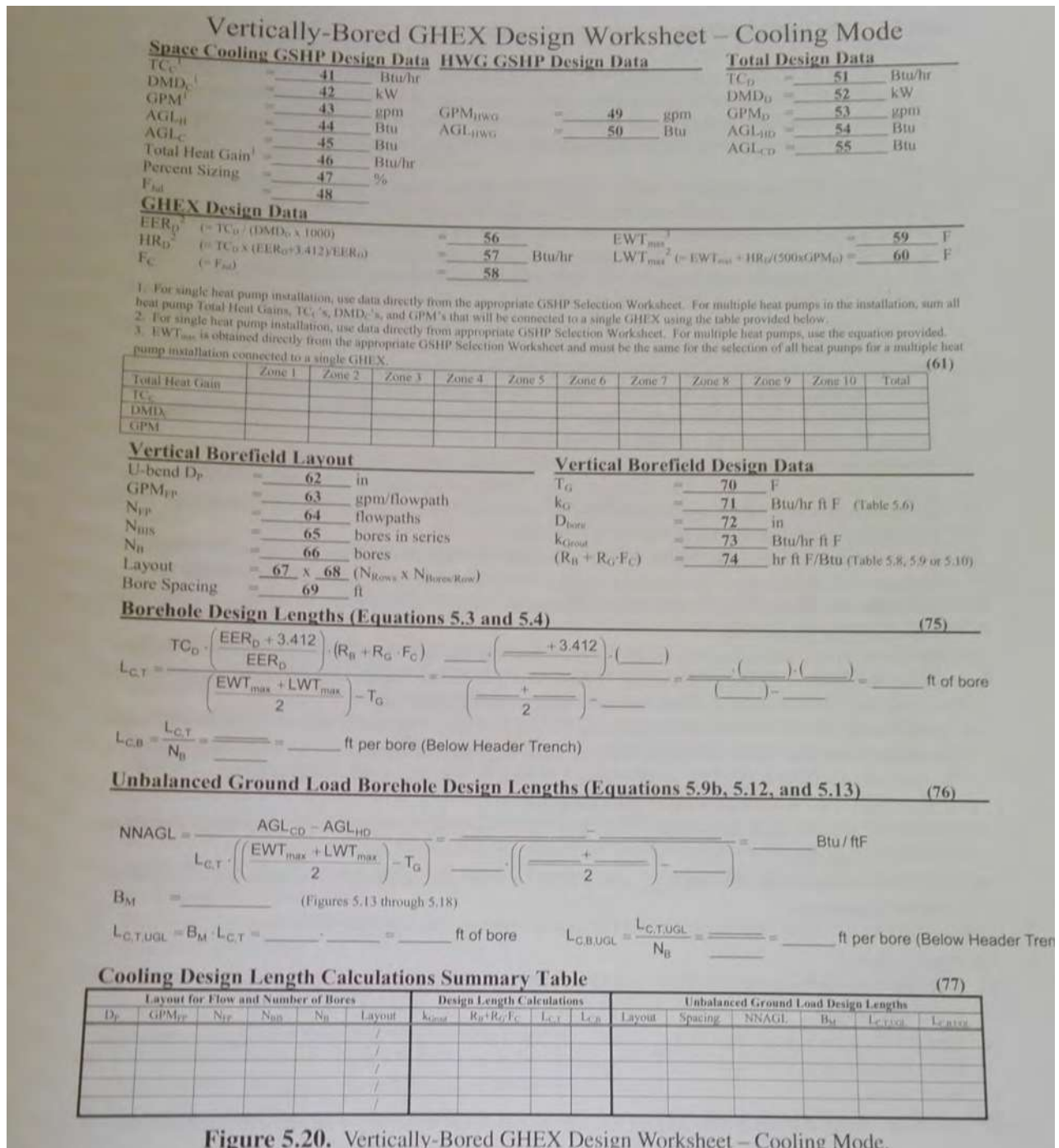


Figure 5.20. Vertically-Bored GHEX Design Worksheet – Cooling Mode.

11.3 Tablas del modelado en Autodesk Revit 2015. Cálculo de las cargas térmicas.

Resumen del proyecto

Ubicación y clima	
Proyecto	Casa de Interés Social
Dirección	Morelia Michoacan, Mexico
Tiempo de cálculo	lunes, 4 de julio de 2016 01:12 p. m.
Tipo de informe	Detallado
Latitud	19.70°
Longitud	-101.19°
Temp. seca verano	23 °C
Temp. húmeda verano	21 °C
Temp. seca invierno	15 °C
Oscilación media diaria	23 °C

Resumen de construcción

Entradas	
Tipo de edificio	Unifamiliar
Área (m ²)	52
Volumen (m ³)	156.45
Resultados calculados	
Valor máximo de carga total de refrigeración (W)	1,412
Valor máximo de refrigeración (mes y hora)	Junio 04:00 p. m.
Valor máximo de carga sensible de refrigeración (W)	1,095
Valor máximo de carga latente de refrigeración (W)	317
Capacidad máxima de refrigeración (W)	1,412
Valor máximo de flujo de aire de refrigeración (L/s)	66.4
Valor máximo de carga de calefacción (W)	419
Valor máximo de flujo de aire de calefacción (L/s)	125.5
Sumas de comprobación	
Densidad de la carga de refrigeración (W/m ²)	27.08
Densidad del flujo de refrigeración (L/(s·m ²))	1.27
Flujo/carga de refrigeración (L/(s·kW))	47.04
Área/carga de refrigeración (m ² /kW)	36.93
Densidad de la carga de calefacción (W/m ²)	8.04
Densidad del flujo de calefacción (L/(s·m ²))	2.41

Resumen de nivel - Ground Floor

Entradas	
Área (m ²)	52
Volumen (m ³)	156.45
Resultados calculados	
Valor máximo de carga total de refrigeración (W)	1,389
Valor máximo de refrigeración (mes y hora)	Junio 04:00 p. m.
Valor máximo de carga sensible de refrigeración (W)	1,072
Valor máximo de carga latente de refrigeración (W)	317
Valor máximo de flujo de aire de refrigeración (L/s)	66.4
Valor máximo de carga de calefacción (W)	419
Valor máximo de flujo de aire de calefacción (L/s)	125.5
Sumas de comprobación	
Densidad de la carga de refrigeración (W/m ²)	26.63
Densidad del flujo de refrigeración (L/(s·m ²))	1.27
Flujo/carga de refrigeración (L/(s·kW))	47.82
Área/carga de refrigeración (m ² /kW)	37.55
Densidad de la carga de calefacción (W/m ²)	8.04
Densidad del flujo de calefacción (L/(s·m ²))	2.41

Resumen de zona - Por defecto

Entradas	
Área (m ²)	52
Volumen (m ³)	156.45
Posición de ajuste de refrigeración	23 °C
Posición de ajuste de calefacción	21 °C
Temperatura de suministro de aire	12 °C
Número de personas	5
Infiltración (L/s)	20.8
Tipo de cálculo de volumen de aire	Bomba de calor por bucle de agua
Humedad relativa	46.00% (Calculated)
Psicometría	
Mensaje psicométrico	None
Serpentín de refrigeración ingresando en el intervalo de temperatura seca	28 °C
Serpentín de refrigeración ingresando en el intervalo de temperatura húmeda	19 °C
Serpentín de refrigeración abandonando el intervalo de temperatura seca	12 °C
Serpentín de refrigeración abandonando el intervalo de temperatura húmeda	12 °C
Temperatura seca de mezcla de aire	28 °C

Resultados calculados	
Valor máximo de carga total de refrigeración (W)	1,412
Valor máximo de refrigeración (mes y hora)	Junio 04:00 p. m.
Valor máximo de carga sensible de refrigeración (W)	1,095
Valor máximo de carga latente de refrigeración (W)	317
Valor máximo de flujo de aire de refrigeración (L/s)	66.4
Valor máximo de carga de calefacción (W)	419
Valor máximo de flujo de aire de calefacción (L/s)	125.5
Valor máximo de flujo de aire de ventilación (L/s)	0.0
Sumas de comprobación	
Densidad de la carga de refrigeración (W/m ²)	27.08
Densidad del flujo de refrigeración (L/(s·m ²))	1.27
Flujo/carga de refrigeración (L/(s·kW))	47.04
Área/carga de refrigeración (m ² /kW)	36.93
Densidad de la carga de calefacción (W/m ²)	8.04
Densidad del flujo de calefacción (L/(s·m ²))	2.41
Densidad de ventilación (L/(s·m ²))	0.00
Ventilación/persona (L/s)	0.0

Cooling Components	Total (W)	Percentage	Norte (W)	Sur (W)	Este (W)	Oeste (W)	Nordeste (W)	Sudeste (W)	Noroeste (W)	Sudoeste (W)
Muro	-361	-25.54%	-82	-294	23	-9	0	0	0	0
Ventana	170	12.01%	4	0	-25	191	0	0	0	0
Puerta	-23	-1.62%	-35	0	12	0	0	0	0	0
Cubierta	691	48.95%	-	-	-	-	-	-	-	-
Claraboya	0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Partición	0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Filtración	87	6.15%	-	-	-	-	-	-	-	-
Ventilación	0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Iluminación	328	23.26%	-	-	-	-	-	-	-	-
Potencia	198	14.02%	-	-	-	-	-	-	-	-
Personas	298	21.12%	-	-	-	-	-	-	-	-
Plénium	0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Calor del ventilador	23	1.64%	-	-	-	-	-	-	-	-
Recalentamiento	0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	1,412	100%	-112	-294	10	182	0	0	0	0
Heating Components	Total (W)	Percentage	Norte (W)	Sur (W)	Este (W)	Oeste (W)	Nordeste (W)	Sudeste (W)	Noroeste (W)	Sudoeste (W)
Muro	626	30.26%	210	247	78	90	0	0	0	0
Ventana	149	7.23%	30	0	60	60	0	0	0	0

Puerta	126	6.09%	87	0	39	0	0	0	0	0
Cubierta	207	9.99%	-	-	-	-	-	-	-	-
Claraboya	0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Partición	0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Filtración	136	6.57%	-	-	-	-	-	-	-	-
Ventilación	0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Iluminación	- 328	- 15.88%	-	-	-	-	-	-	-	-
Potencia	- 198	-9.57%	-	-	-	-	-	-	-	-
Personas	- 298	- 14.42%	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	419	100%	327	247	178	150	0	0	0	0

Por defecto Espacios

Nombre de espacio	Área (m ²)	Volumen (m ³)	Valor máximo de carga de refrigeración (W)	Flujo de aire de refrigeración (L/s)	Valor máximo de carga de calefacción (W)	Flujo de aire de calefacción (L/s)
1 Space	12	36.40	195	9.3	189	33.4
2 Space	7	20.03	169	8.1	106	21.5
3 Space	6	18.43	316	15.1	28	17.9
4 Space	11	32.75	362	17.3	40	26.5
5 Space	7	21.71	122	5.8	2	10.0
6 Space	5	16.33	102	4.9	-7	2.2
7 Space	4	10.81	122	5.9	62	14.0

Resumen del espacio: 1 Space

Datos de entrada	
Área (m ²)	12
Volumen (m ³)	36.40
Área de muro (m ²)	26
Área de cubierta (m ²)	14
Área de puerta (m ²)	4
Área de partición (m ²)	0
Área de ventana (m ²)	2
Área de claraboya (m ²)	0
Carga de iluminación (W)	131
Carga de potencia (W)	131
Número de personas	1
Incremento de calor sensible/persona (W)	73
Incremento de calor latente/persona (W)	59
Flujo de aire de infiltración (L/s)	5.0
Tipo de espacio	Unifamiliar (heredado de tipo de construcción)
Resultados calculados	
Valor máximo de carga total de refrigeración (W)	195
Valor máximo de carga sensible de refrigeración (W)	120
Valor máximo de carga latente de refrigeración (W)	75
Valor máximo de flujo de aire de refrigeración (L/s)	9.3
Valor máximo de carga de calefacción (W)	189
Valor máximo de flujo de aire de calefacción (L/s)	33.4

Cooling Components	Total (W)	Percentage	Norte (W)	Sur (W)	Este (W)	Oeste (W)	Nordeste (W)	Sudeste (W)	Noroeste (W)	Sudoeste (W)
Muro	-100	-51.41%	-3	-109	11	0	0	0	0	0
Ventana	-13	-6.47%	0	0	-13	0	0	0	0	0
Puerta	-7	-3.70%	-19	0	12	0	0	0	0	0
Cubierta	153	78.21%	-	-	-	-	-	-	-	-
Claraboya	0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Partición	0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Filtración	21	10.72%	-	-	-	-	-	-	-	-
Iluminación	39	20.05%	-	-	-	-	-	-	-	-
Potencia	39	20.05%	-	-	-	-	-	-	-	-
Personas	64	32.55%	-	-	-	-	-	-	-	-
Plénium	0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	195	100%	-21	-109	10	0	0	0	0	0
Heating Components	Total (W)	Percentage	Norte (W)	Sur (W)	Este (W)	Oeste (W)	Nordeste (W)	Sudeste (W)	Noroeste (W)	Sudoeste (W)
Muro	136	28.84%	6	92	38	0	0	0	0	0
Ventana	30	6.32%	0	0	30	0	0	0	0	0
Puerta	87	18.33%	47	0	39	0	0	0	0	0
Cubierta	45	9.60%	-	-	-	-	-	-	-	-
Partición	0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Claraboya	0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Filtración	33	6.92%	-	-	-	-	-	-	-	-
Iluminación	-39	-8.27%	-	-	-	-	-	-	-	-
Potencia	-39	-8.27%	-	-	-	-	-	-	-	-

Personas	-64	-13.44%	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	189	100%	54	92	108	0	0	0	0	0

Resumen del espacio: 2 Space.

Datos de entrada	
Área (m ²)	7
Volumen (m ³)	20.03
Área de muro (m ²)	18
Área de cubierta (m ²)	8
Área de puerta (m ²)	2
Área de partición (m ²)	0
Área de ventana (m ²)	2
Área de claraboya (m ²)	0
Carga de iluminación (W)	72
Carga de potencia (W)	72
Número de personas	1
Incremento de calor sensible/persona (W)	73
Incremento de calor latente/persona (W)	59
Flujo de aire de infiltración (L/s)	3.4
Tipo de espacio	Unifamiliar (heredado de tipo de construcción)
Resultados calculados	
Valor máximo de carga total de refrigeración (W)	169
Valor máximo de carga sensible de refrigeración (W)	109
Valor máximo de carga latente de refrigeración (W)	60

Valor máximo de flujo de aire de refrigeración (L/s)	8.1
Valor máximo de carga de calefacción (W)	106
Valor máximo de flujo de aire de calefacción (L/s)	21.5

Cooling Components	Total (W)	Percentage	Norte (W)	Sur (W)	Este (W)	Oeste (W)	Nordeste (W)	Sudeste (W)	Noroeste (W)	Sudoeste (W)
Muro	-13	-7.92%	-24	0	10	0	0	0	0	0
Ventana	-13	-7.47%	0	0	-13	0	0	0	0	0
Puerta	-16	-9.27%	-16	0	0	0	0	0	0	0
Cubierta	90	53.17%	-	-	-	-	-	-	-	-
Claraboya	0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Partición	0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Filtración	14	8.41%	-	-	-	-	-	-	-	-
Iluminación	22	12.74%	-	-	-	-	-	-	-	-
Potencia	22	12.74%	-	-	-	-	-	-	-	-
Personas	64	37.60%	-	-	-	-	-	-	-	-
Plénium	0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	169	100%	-39	0	-2	0	0	0	0	0
Heating Components	Total (W)	Percentage	Norte (W)	Sur (W)	Este (W)	Oeste (W)	Nordeste (W)	Sudeste (W)	Noroeste (W)	Sudoeste (W)
Muro	95	29.66%	60	0	35	0	0	0	0	0
Ventana	30	9.36%	0	0	30	0	0	0	0	0
Puerta	39	12.29%	39	0	0	0	0	0	0	0
Cubierta	27	8.36%	-	-	-	-	-	-	-	-
Partición	0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Claraboya	0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-

Filtración	22	6.96%	-	-	-	-	-	-	-	-
Iluminación	-22	-6.74%	-	-	-	-	-	-	-	-
Potencia	-22	-6.74%	-	-	-	-	-	-	-	-
Personas	-64	-19.89%	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	106	100%	99	0	65	0	0	0	0	0

Resumen del espacio: 3 Space.

Datos de entrada	
Área (m ²)	6
Volumen (m ³)	18.43
Área de muro (m ²)	17
Área de cubierta (m ²)	8
Área de puerta (m ²)	2
Área de partición (m ²)	0
Área de ventana (m ²)	2
Área de claraboya (m ²)	0
Carga de iluminación (W)	73
Carga de potencia (W)	36
Número de personas	1
Incremento de calor sensible/persona (W)	73
Incremento de calor latente/persona (W)	45
Flujo de aire de infiltración (L/s)	3.3
Tipo de espacio	Dormitorio de residencia
Resultados calculados	

Valor máximo de carga total de refrigeración (W)	316
Valor máximo de carga sensible de refrigeración (W)	264
Valor máximo de carga latente de refrigeración (W)	52
Valor máximo de flujo de aire de refrigeración (L/s)	15.1
Valor máximo de carga de calefacción (W)	28
Valor máximo de flujo de aire de calefacción (L/s)	17.9

Cooling Components	Total (W)	Percentage	Norte (W)	Sur (W)	Este (W)	Oeste (W)	Nordeste (W)	Sudeste (W)	Noroeste (W)	Sudoeste (W)
Muro	-28	-8.90%	-24	0	0	-4	0	0	0	0
Ventana	95	30.13%	0	0	0	95	0	0	0	0
Puerta	0	0.00%	0	0	0	0	0	0	0	0
Cubierta	85	27.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Claraboya	0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Partición	0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Filtración	14	4.29%	-	-	-	-	-	-	-	-
Iluminación	63	19.84%	-	-	-	-	-	-	-	-
Potencia	31	9.64%	-	-	-	-	-	-	-	-
Personas	57	17.99%	-	-	-	-	-	-	-	-
Plénium	0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	316	100%	-24	0	0	92	0	0	0	0
Heating Components	Total (W)	Percentage	Norte (W)	Sur (W)	Este (W)	Oeste (W)	Nordeste (W)	Sudeste (W)	Noroeste (W)	Sudoeste (W)
Muro	101	30.86%	61	0	0	40	0	0	0	0
Ventana	30	9.12%	0	0	0	30	0	0	0	0
Puerta	0	0.00%	0	0	0	0	0	0	0	0

Cubierta	25	7.75%	-	-	-	-	-	-	-	-
Partición	0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Claraboya	0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Filtración	21	6.48%	-	-	-	-	-	-	-	-
Iluminación	-63	-19.14%	-	-	-	-	-	-	-	-
Potencia	-31	-9.31%	-	-	-	-	-	-	-	-
Personas	-57	-17.36%	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	28	100%	61	0	0	70	0	0	0	0

Resumen del espacio: 4 Space.

Datos de entrada	
Área (m ²)	11
Volumen (m ³)	32.75
Área de muro (m ²)	25
Área de cubierta (m ²)	13
Área de puerta (m ²)	2
Área de partición (m ²)	0
Área de ventana (m ²)	2
Área de claraboya (m ²)	0
Carga de iluminación (W)	130
Carga de potencia (W)	63
Número de personas	1
Incremento de calor sensible/persona (W)	73
Incremento de calor latente/persona (W)	45

Flujo de aire de infiltración (L/s)	4.9
Tipo de espacio	Dormitorio de residencia
Resultados calculados	
Valor máximo de carga total de refrigeración (W)	362
Valor máximo de carga sensible de refrigeración (W)	295
Valor máximo de carga latente de refrigeración (W)	67
Valor máximo de flujo de aire de refrigeración (L/s)	17.3
Valor máximo de carga de calefacción (W)	40
Valor máximo de flujo de aire de calefacción (L/s)	26.5

Cooling Components	Total (W)	Percentage	Norte (W)	Sur (W)	Este (W)	Oeste (W)	Nordeste (W)	Sudeste (W)	Noroeste (W)	Sudoeste (W)
Muro	-122	-33.79%	-5	- 112	0	-5	0	0	0	0
Ventana	95	26.34%	0	0	0	95	0	0	0	0
Puerta	0	0.00%	0	0	0	0	0	0	0	0
Cubierta	146	40.30%	-	-	-	-	-	-	-	-
Claraboya	0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Partición	0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Filtración	20	5.62%	-	-	-	-	-	-	-	-
Iluminación	112	30.82%	-	-	-	-	-	-	-	-
Potencia	54	14.98%	-	-	-	-	-	-	-	-
Personas	57	15.72%	-	-	-	-	-	-	-	-
Plénium	0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	362	100%	-5	- 112	0	91	0	0	0	0

Heating Components	Total (W)	Percentage	Norte (W)	Sur (W)	Este (W)	Oeste (W)	Nordeste (W)	Sudeste (W)	Noroeste (W)	Sudoeste (W)
Muro	157	32.41%	13	94	0	50	0	0	0	0
Ventana	30	6.16%	0	0	0	30	0	0	0	0
Puerta	0	0.00%	0	0	0	0	0	0	0	0
Cubierta	43	8.94%	-	-	-	-	-	-	-	-
Partición	0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Claraboya	0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Filtración	32	6.56%	-	-	-	-	-	-	-	-
Iluminación	-112	-23.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Potencia	-54	-11.18%	-	-	-	-	-	-	-	-
Personas	-57	-11.74%	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	40	100%	13	94	0	80	0	0	0	0

Resumen del espacio: 5 Space.

Datos de entrada	
Área (m ²)	7
Volumen (m ³)	21.71
Área de muro (m ²)	9
Área de cubierta (m ²)	8
Área de puerta (m ²)	0
Área de partición (m ²)	0
Área de ventana (m ²)	0
Área de claraboya (m ²)	0
Carga de iluminación (W)	70

Carga de potencia (W)	42
Número de personas	0
Incremento de calor sensible/persona (W)	81
Incremento de calor latente/persona (W)	81
Flujo de aire de infiltración (L/s)	1.8
Tipo de espacio	Zona de comedor
Resultados calculados	
Valor máximo de carga total de refrigeración (W)	122
Valor máximo de carga sensible de refrigeración (W)	106
Valor máximo de carga latente de refrigeración (W)	16
Valor máximo de flujo de aire de refrigeración (L/s)	5.8
Valor máximo de carga de calefacción (W)	2
Valor máximo de flujo de aire de calefacción (L/s)	10.0

Cooling Components	Total (W)	Percentage	Norte (W)	Sur (W)	Este (W)	Oeste (W)	Nordeste (W)	Sudeste (W)	Noroeste (W)	Sudoeste (W)
Muro	-72	-59.06%	0	-72	0	0	0	0	0	0
Ventana	0	0.00%	0	0	0	0	0	0	0	0
Puerta	0	0.00%	0	0	0	0	0	0	0	0
Cubierta	89	72.77%	-	-	-	-	-	-	-	-
Claraboya	0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Partición	0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Filtración	7	6.06%	-	-	-	-	-	-	-	-
Iluminación	61	50.16%	-	-	-	-	-	-	-	-
Potencia	37	30.07%	-	-	-	-	-	-	-	-

Personas	0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Plénium	0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	122	100%	0	-72	0	0	0	0	0	0
Heating Components	Total (W)	Percentage	Norte (W)	Sur (W)	Este (W)	Oeste (W)	Nordeste (W)	Sudeste (W)	Noroeste (W)	Sudoeste (W)
Muro	61	30.94%	0	61	0	0	0	0	0	0
Ventana	0	0.00%	0	0	0	0	0	0	0	0
Puerta	0	0.00%	0	0	0	0	0	0	0	0
Cubierta	27	13.63%	-	-	-	-	-	-	-	-
Partición	0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Claraboya	0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Filtración	12	5.85%	-	-	-	-	-	-	-	-
Iluminación	-61	-30.99%	-	-	-	-	-	-	-	-
Potencia	-37	-18.58%	-	-	-	-	-	-	-	-
Personas	0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	2	100%	0	61	0	0	0	0	0	0

Resumen del espacio: 6 Space

Datos de entrada	
Área (m ²)	5
Volumen (m ³)	16.33
Área de muro (m ²)	0
Área de cubierta (m ²)	7
Área de puerta (m ²)	5
Área de partición (m ²)	0

Área de ventana (m ²)	0
Área de claraboya (m ²)	0
Carga de iluminación (W)	64
Carga de potencia (W)	32
Número de personas	0
Incremento de calor sensible/persona (W)	73
Incremento de calor latente/persona (W)	45
Flujo de aire de infiltración (L/s)	0.0
Tipo de espacio	Zona de vivienda - Residencia
Resultados calculados	
Valor máximo de carga total de refrigeración (W)	102
Valor máximo de carga sensible de refrigeración (W)	102
Valor máximo de carga latente de refrigeración (W)	0
Valor máximo de flujo de aire de refrigeración (L/s)	4.9
Valor máximo de carga de calefacción (W)	-7
Valor máximo de flujo de aire de calefacción (L/s)	2.2

Cooling Components	Total (W)	Percentage	Norte (W)	Sur (W)	Este (W)	Oeste (W)	Nordeste (W)	Sudeste (W)	Noroeste (W)	Sudoeste (W)
Muro	0	0.00%	0	0	0	0	0	0	0	0
Ventana	0	0.00%	0	0	0	0	0	0	0	0
Puerta	0	0.00%	0	0	0	0	0	0	0	0
Cubierta	73	71.69%	-	-	-	-	-	-	-	-
Claraboya	0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Partición	0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-

Filtración	0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Iluminación	19	18.99%	-	-	-	-	-	-	-	-
Potencia	10	9.32%	-	-	-	-	-	-	-	-
Personas	0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Plénium	0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	102	100%	0	0	0	0	0	0	0	0
Heating Components	Total (W)	Percentage	Norte (W)	Sur (W)	Este (W)	Oeste (W)	Nordeste (W)	Sudeste (W)	Noroeste (W)	Sudoeste (W)
Muro	0	0.00%	0	0	0	0	0	0	0	0
Ventana	0	0.00%	0	0	0	0	0	0	0	0
Puerta	0	0.00%	0	0	0	0	0	0	0	0
Cubierta	22	43.42%	-	-	-	-	-	-	-	-
Partición	0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Claraboya	0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Filtración	0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Iluminación	-19	-37.96%	-	-	-	-	-	-	-	-
Potencia	-10	-18.63%	-	-	-	-	-	-	-	-
Personas	0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	-7	100%	0	0	0	0	0	0	0	0

Resumen del espacio: 7 Space.

Datos de entrada	
Área (m ²)	4
Volumen (m ³)	10.81
Área de muro (m ²)	13

Área de cubierta (m ²)	5
Área de puerta (m ²)	2
Área de partición (m ²)	0
Área de ventana (m ²)	2
Área de claraboya (m ²)	0
Carga de iluminación (W)	43
Carga de potencia (W)	21
Número de personas	1
Incremento de calor sensible/persona (W)	73
Incremento de calor latente/persona (W)	45
Flujo de aire de infiltración (L/s)	2.5
Tipo de espacio	Zona de vivienda - Residencia
Resultados calculados	
Valor máximo de carga total de refrigeración (W)	122
Valor máximo de carga sensible de refrigeración (W)	77
Valor máximo de carga latente de refrigeración (W)	46
Valor máximo de flujo de aire de refrigeración (L/s)	5.9
Valor máximo de carga de calefacción (W)	62
Valor máximo de flujo de aire de calefacción (L/s)	14.0

Cooling Components	Total (W)	Percentage	Norte (W)	Sur (W)	Este (W)	Oeste (W)	Nordeste (W)	Sudeste (W)	Noroeste (W)	Sudoeste (W)
Muro	-24	-19.97%	-26	0	1	0	0	0	0	0
Ventana	4	3.44%	4	0	0	0	0	0	0	0
Puerta	0	0.00%	0	0	0	0	0	0	0	0

Cubierta	56	45.44%	-	-	-	-	-	-	-	-
Claraboya	0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Partición	0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Filtración	10	8.55%	-	-	-	-	-	-	-	-
Iluminación	13	10.53%	-	-	-	-	-	-	-	-
Potencia	6	5.17%	-	-	-	-	-	-	-	-
Personas	57	46.85%	-	-	-	-	-	-	-	-
Plénium	0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	122	100%	-22	0	1	0	0	0	0	0
Heating Components	Total (W)	Percentage	Norte (W)	Sur (W)	Este (W)	Oeste (W)	Nordeste (W)	Sudeste (W)	Noroeste (W)	Sudoeste (W)
Muro	75	35.06%	70	0	5	0	0	0	0	0
Ventana	30	13.91%	30	0	0	0	0	0	0	0
Puerta	0	0.00%	0	0	0	0	0	0	0	0
Cubierta	17	7.79%	-	-	-	-	-	-	-	-
Partición	0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Claraboya	0	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Filtración	16	7.61%	-	-	-	-	-	-	-	-
Iluminación	-13	-6.00%	-	-	-	-	-	-	-	-
Potencia	-6	-2.94%	-	-	-	-	-	-	-	-
Personas	-57	-26.69%	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	62	100%	100	0	5	0	0	0	0	0