

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA



**“ESTUDIO DE ADAPTACION DE LAS BOMBAS DE CALOR
GEOTERMICAS DE BAJA ENTALPIA, A LAS CONDICIONES
DE MEDIO AMBIENTE DE LA ZONA ORIENTAL DE EL
SALVADOR”**

PRESENTA:

CARLOS MANUEL ROMERO ARGUETA

PARA OPTAR AL TITULO DE:

INGENIERO MECÁNICO

FEBRERO DE 2014

SAN MIGUEL, EL SALVADOR, CENTROAMÉRICA.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

AUTORIDADES

ING. MARIO ROBERTO NIETO LOVO
RECTOR

MSc. ANA MARIA GLOWER DE ALVARADO
VICE-RECTORA ACADEMICA

DRA. ANA LETICIA ZA VALETA DE AMAYA
SECRETARIA GENERAL

LIC. FRANCISCO CRUZ LETONA
FISCAL GENERAL

**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL
AUTORIDADES**

**LIC. CRISTOBAL HERNAN RIOS BENITEZ
DECANO**

**LIC. CARLOS ALEXANDER DIAZ
VICE-DECANO**

**LIC. JORGE ALBERTO ORTEZ HERNANDEZ
SECRETARIO**

**ING. LUIS CLAYTON MARTINEZ RIVERA
JEFE DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**

**ING. MILAGRO DE MARIA ROMERO DE GARCIA
COORDINADORA DE PROYECTOS DE GRADUACIÓN
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**

TRABAJO DE GRADUACION APROBADO POR:

Docente Asesor de Trabajo de Graduación:

ING. FRANCISCO ALFREDO DE LEÓN TORRES.

Tribunal Calificador:

ING. RIGOBERTO VELASQUEZ PAZ

ING. JUAN ANTONIO FLORES DIAZ

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

INGENIERO MECÁNICO

Título:

**“ESTUDIO DE ADAPTACION DE LAS BOMBAS DE CALOR
GEOTERMICAS DE BAJA ENTALPIA, A LAS CONDICIONES DE
MEDIO AMBIENTE DE LA ZONA ORIENTAL DE EL
SALVADOR”.**

Presentado por:

CARLOS MANUEL ROMERO ARGUETA

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor de Trabajo de Graduación:

ING. FRANCISCO ALFREDO DE LEÓN TORRES

SAN MIGUEL, FEBRERO DE 2014.

AGRADECIMIENTOS

A Dios Todopoderoso, Cristo Negro de Esquipulas y la Virgen María, por haber depositado en mí habilidades y destrezas que han sido de gran utilidad en mi vida para el cumplimiento de mis metas, al mismo tiempo de poner en mi camino las oportunidades y condiciones favorables para el logro de las mismas.

Especialmente a mis padres José Manuel y Janett Esmeralda; ya que sin el apoyo que ellos me brindan estoy seguro que todo fuera diferente. A mis hermanos José Javier y Brenda Cristina porque son parte importantísima en mi vida, esperando que ellos sigan cumpliendo sus metas propuestas.

Al resto de mi querida y apreciada familia, por permitirme compartir con ellos mis penas y alegrías y darme palabras de aliento cuando fueron necesarias.

Y a todas aquellas personas que de una u otra manera han aportado y han hecho posible el desarrollo y culminación de este trabajo de graduación.

CARLOS MANUEL ROMERO.

INDICE GENERAL

INTRODUCCION.....	I
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	III
OBJETIVO GENERAL.....	IV
OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	IV
ALCANCES	V
LIMITANTES	V
JUSTIFICACION	VI

CAPÍTULO 1.0: GENERALIDADES DE LAS BOMBAS DE CALOR GEOTÉRMICAS

GSHP.	1
1.1 Generalidades.....	1
1.2 Principio de funcionamiento de las bombas de calor geotérmicas (GSHP) de baja entalpia..	2
1.3 Ciclos de funcionamiento de las bombas de calor	6
1.4 Tipos de bombas de calor.....	8
1.4.1 Según tipo de proceso	8
1.4.2 Según origen y medio de energía.....	9
1.4.3 Según su Funcionamiento	12
1.4.4 Según su Construcción.....	12
1.5 Rendimiento de las Bombas de Calor Geotérmicas de Baja Entalpia.....	13
1.5.1 Eficiencia de las Bombas de Calor.....	13
1.5.2 Eficiencia de las Bombas de Calor en Modo de Enfriamiento.	14
1.5.3 Eficiencia de las Bombas de Calor en Modo de Calefacción	15
1.6 Análisis de las Bombas de Calor Geotérmicas tipo Tierra/Aire.	16
1.6.1 Ventajas de la Bombas de Calor Geotérmicas	16
1.6.2 Principio de Funcionamiento	17
1.6.3 Arreglo Externo de las Tuberías.	18
1.7 Consideraciones Técnicas de Instalación para ambos tipos de Arreglos Vertical y Horizontal del Intercambiador de Calor enterrado en el Suelo.....	26
1.7.1 Material de las Tuberías del Sistema	28
1.7.2 Cantidad y Profundidad de las Perforaciones	29

1.7.3 Fluido de Trabajo.....	32
1.7.4 Determinación de las Temperaturas Máximas y Mínimas de Entrada del Fluido a la Bomba de Calor Geotérmica.....	33
1.7.5 Flujo de Trabajo.....	35
1.7.6 Profundidad para el Arreglo del Tipo Horizontal.....	35
1.7.7 Área de Terreno.....	36
1.7.8 Tipos de Arreglos Verticales.....	37
1.7.9 Acabados de las Perforaciones Verticales.....	39
1.8 Análisis de la Eficiencia Energética de los Sistemas de Bomba de Calor Geotérmicos.....	40
1.9 Análisis de las Bombas de Calor Geotérmicas en Climas Tropicales.....	42
1.10 Instalaciones a Nivel Mundial con Sistemas Geotérmicos.....	43
1.11 Impacto Medio Ambiental y Social de los Sistemas Geotérmicos GSHP.....	44
CAPTULO 2.0 CONDICIONES AMBIENTALES Y GEOLOGICAS DE LA ZONA ORIENTAL DE EL SALVADOR.....	
2.1 Condiciones Climáticas y Ubicación del Estudio.....	46
2.1.1 Zonas Térmicas.....	48
2.2 Condiciones Geológicas del Estudio.....	48
2.2.1 Definición.....	48
2.2.2 Generalidades.....	49
2.2.3 Elementos Geológicos de la Zona de Estudio.....	50
2.3 Tipos de Suelos Ciudad de San Miguel.....	51
2.3.1 Latosol Arcillo Rojizo, (llamado Alfisoles y Molisoles).....	52
2.3.2 Andisoles (llamados Andepts).....	52
2.3.3 Suelos esqueléticos o Litosoles.....	53
2.3.4 Grumosoles, (llamados también Vertisoles).....	53
2.4 Propiedades Térmicas del Suelo.....	54
2.4.1 Conductividad Térmica.....	54
2.4.2 Capacidad Térmica.....	55
2.4.3 Difusividad.....	55
2.5 Datos Climáticos a Utilizar en la Simulación.....	56
2.5.1 Generalidades.....	56
2.5.2 Conclusiones de Datos Climáticos de la Zona de Estudio.....	58
CAPITULO 3.0 ANÁLISIS AL CASO DE ESTUDIO DEL SISTEMA GEOTÉRMICO GSHP.....	
3.1 Planteamiento del Problema al caso de Estudio de Sistema Geotérmico a Edificio de Biblioteca de la Facultad Multidisciplinaria Oriental de Universidad de El Salvador.....	60

3.2 Descripción de la Instalación.....	62
3.3 Orientación del Edificio de Estudio.....	62
3.4 Sistemas de Aire Acondicionado y Controles de la Instalación.....	64
3.5 Sistemas de Luminarias, y Horarios de Ocupación.....	70
3.6 Consumo de Energía Eléctrica y Tarifas de Servicio Eléctrico de la Instalación.....	73
CAPITULO 4: SIMULACION DE EFICIENCIA ENERGETICA DE SISTEMA	
GEOTERMICO.....	77
4.1 Planteamiento del Problema.....	77
4.2 Consideraciones para la Simulación de los Modelos e Introducción al Software eQuest. ...	78
4.2.1 Características Propias del Software de Simulación eQuest.....	80
4.2.2 Requerimientos Técnicos.....	81
4.2.3 Fundamentos Necesarios para Simulación Energética a través de eQuest.....	82
4.2.3.1 Información de Datos de Sitio y Datos Climáticos.....	82
4.2.3.2 Envolverte del Edificio, Materiales y Sombreamientos.....	82
4.2.3.3 Operación del Edificio y Horarios de Ocupación.....	83
4.2.3.4 Especificaciones de los Sistemas de Aire Acondicionado y Ventilación.....	83
4.2.3.5 Tarifas Eléctricas.....	84
4.3 Objetivos del Análisis de Simulación.....	84
4.4 Suposiciones de Análisis de Simulación del Sistema.....	85
4.4.1 Consideración General para la Simulación HVAC.....	85
4.4.2 Consideraciones Generales para la Simulación del Sistema Geotérmico.....	86
4.5 Primer Simulación Bajo las Condiciones del Edificio Actual.....	88
4.5.1 Desarrollo del Modelo.....	88
4.5.2 Introducción Datos Climáticos.....	88
4.5.3 Definición de Horarios de Ocupación de Edificio.....	90
4.5.4 Definición de Tarifas de Servicio Eléctrico.....	91
4.5.5 Sección Tipo de Edificio (General Shell Information).....	92
4.5.6 Sección Contorno de Edificio (Building Footprint).....	93
4.5.7 Sección Envolverte del Edificio (Building Envelope Construction).....	94
4.5.8 Construcción al Interior de Edificio (Building Interior Construction).....	95
4.5.9 Sección Puertas Exteriores (Exterior Doors).....	96
4.5.10 Sección Ventanas Exteriores (Exterior Windows).....	97
4.5.11 Sección de Techo y Tragaluces (Roof Skylights).....	98
4.5.12 Sección Horarios de Ocupación (Building Operation Schedules).....	99
4.5.13 Sección Áreas de Edificio (Activity Areas Allocation).....	100
4.5.14 Definición de Aire Acondicionado por Zonas (Zone Group Definition).....	102
4.5.15 Sección Tipo de ganancia de Calor (NonHVAC Enduses to Model).....	103

4.5.16	Sección de Iluminación Interna (Interior Lighting Loads and Profile).....	104
4.5.17	Sección de Equipos de Oficina (Office Equipment Loads and Profile).....	106
4.5.18	Sección Iluminación Exterior (Exterior Lighting Loads and Profile).....	108
4.5.19	Definición de Sistema HVAC de Edificio (Air-Side System Type).....	109
4.5.20	Horarios de Accionamientos de Aires Acondicionado (HVAC System #1 fan Schedule).....	112
4.5.21	Sección de Economizadores y Modo Calefacción de HVAC (Zone Heating, Vent and Economizer).	113
4.6	Primer Modelo Generado (Edificio Real).....	114
4.6.1	Tablas y Graficas de Reportes Generados del Primer Modelo Generado por eQuest.	117
4.6.2	Análisis de Resultados de Primer Modelo (Edificio de Biblioteca en Condiciones Real).....	118
4.6.3	Tablas y Graficas de la Simulación de Segundo Modelo (Modelo Base) Generado por eQuest.	122
4.6.4	Análisis de Resultados de Segundo Modelo y Línea Base (Edificio con todas sus Áreas Acondicionada).....	122
4.7	Simulación de Tercer Modelo de Sistema Geotérmico por eQuest.	126
4.7.1	Introducción de los Parámetros de Entrada de Sistema Geotérmico.	127
4.7.2	Definición de los Sistemas HVAC del Edificio de Sistema Geotérmico.....	127
4.7.3	Definición de las Variables de Entrada para el Intercambiador Geotérmico y Bomba de calor de Sistema Geotérmico (GSHP).....	131
4.7.4	Remoción de Sistema de Calefacción Asignado por Default	133
4.8	Resultados de Simulación de Tercer Modelo GSHP.	136
4.9	Conclusiones de Modelos Simulados.	138
CAPITULO 5.0 ESTUDIO DE ANALISIS ECONOMICO DE SISTEMA GEOTERMICO..		140
5.1	Valor Actual Neto (VAN).....	141
5.2	Tiempo de Recuperación Simple (SPB)	142
5.3	Tasa Interna de Retorno (TIR)	142
5.4	Suposiciones al Análisis Económico del Sistema Geotérmico.	144
5.4.1	Factores Económicos a Evaluar	145
5.5	Costos Asociados a Sistema Geotérmico.....	146
5.5.1	Costo del intercambiador de calor geotérmico.....	146
5.5.2	Costo de las bombas de calor.....	147
5.5.3	Costo anual de mantenimiento.....	147
5.6	Depreciación del Equipo a Considerar.....	148
5.6.1	Sistema Mini-Split	148

5.6.2 Sistema Geotérmico GSHP	148
5.7 Detalle de los Costos y Ahorros de los Modelos Simulados.	149
5.7.1 Intercambiador de Calor Geotérmico.....	149
5.7.2 Bombas de Calor.....	150
5.7.3 Sistema Mini-Split	150
5.7.4 Costo Anual de Mantenimiento	151
5.7.5 Por Menores Mantenimientos Requeridos	152
5.7.6 Por Tiempo de Vida Útil.....	152
5.8 Parámetros de Entrada a Evaluar en Análisis Económico.	153
5.9 Desarrollo de Análisis Económico sin Financiamiento.	153
CAPITULO 6.0 CONCLUSIONES GENERALES.....	159
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	162
GLOSARIO DE TERMINOS TECNICOS	164
ANEXOS	169

INTRODUCCION

El presente trabajo de graduación es un estudio de adaptación a los sistemas geotérmicos específicamente de las bombas de calor de baja entalpia para el acondicionamiento de espacios; sus características, comportamiento y beneficios.

Con este estudio se espera crear un precedente para que futuros profesionales, profesionales, investigadores se motiven a desarrollar este sistema e introducirlos localmente, trayendo consigo beneficios de ahorro energético y ambiental.

En el primer capítulo, se presenta una recopilación de información acerca del principio de funcionamiento de estos sistemas, tipos, características, etc.

Posteriormente se presenta toda una información necesaria, de las condiciones climáticas del lugar se refiere; haciendo énfasis en condiciones de temperatura, suelos, radiación solar, las cuales afectan al rendimiento del sistema geotérmico en estudio.

En el tercer capítulo se presenta una serie de información energética y descriptiva del edificio de Biblioteca de la Facultad Multidisciplinaria Oriental de la Universidad de El Salvador; el cual fue seleccionado para estudiar el comportamiento y análisis de las bombas de calor geotérmicas a las condiciones de ambiente, del departamento de San Miguel y obtener así un sistema sustituto a lo que son los equipos tradicionales de aire acondicionado.

En el cuarto capítulo, se presenta un análisis energético mediante una simulación a través de software de simulaciones para estos tipos de sistemas; con los cuales se compara el consumo energético del sistema geotérmico de baja entalpía y el sistema de un aire acondicionado tradicional, a fin de determinar los costos y ahorros energéticos.

En el quinto y último capítulo, se hace un estudio de viabilidad económica del sistema que se está analizando; de una manera global; tomando en cuenta los costos de estos equipos el mantenimiento, el cual fue considerado tomando de referencia a países Europeos y Norteamérica, ya que en estos ya se cuenta con más experiencia en el uso de estos sistemas.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Parte del interés que se tiene es poder determinar la factibilidad; desde el punto de vista energético y económico, que tiene la utilización de un sistema GSHP aplicando el recurso de software, para adecuar y suplir las necesidades de enfriamiento de espacios habitados en El Salvador específicamente en la zona oriental. Se propone tomar en cuenta un edificio piloto, que sirva como estudio de la investigación; dicho edificio a considerar es la biblioteca de la Facultad Multidisciplinaria Oriental de la Universidad de El Salvador.

Con ello se esperaría aportar información valiosa, acerca del desempeño de estos sistemas en climas como el de El Salvador; ya que hasta el día de hoy, la información disponible acerca del desempeño de estos equipos; en este tipo de climas es muy limitada.

También se esperaría que esto sirva de motivación a instituciones y personas particulares, para que profundicen el estudio de estos sistemas y la gama de posibilidades que existen, para ser utilizados con otros sistemas pasivos de enfriamiento; conocidos como sistemas híbridos; a fin de obtener de ellos el máximo provecho, los cuales aún no han sido explotados en su totalidad.

OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un modelo aplicando el recurso de software de simulación energética, para adecuar el tipo de sistema de Bombas de Calor Geotérmicas, a las condiciones climáticas de la zona oriental de El Salvador comparando sus características de operación con un sistema de aire acondicionado tradicional aplicado al edificio de la Biblioteca de la Facultad Multidisciplinaria Oriental de la Universidad de El Salvador.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- ✓ Simular un sistema de aire acondicionado que utiliza una bomba de calor geotérmica de baja entalpia tipo tierra/aire, utilizando un software de simulación.
- ✓ Determinar el coeficiente de operación de un sistema de aire acondicionado geotérmico reversible en relación a un sistema aire acondicionad tradicional tipo mini Split, sometidas a las condiciones o factores ambientales de la zona oriental de El Salvador.
- ✓ Establecer la factibilidad financiera al utilizar un sistema de bomba de calor geotérmica en relación a un sistema tradicional tipo mini Split a fin de determinar el ahorro de consumo energético asociado al uso de los sistemas.
- ✓ Identificar y familiarizarse con las herramientas de análisis de simulación para apropiarse de conocimientos de esta tecnología energética.
- ✓ Finalmente elaborar el modelo simulado a través de un análisis energético usando el sistema de bomba de calor geotérmico tipo tierra/aire en configuración vertical como también dejando abierta la posibilidad de análisis en forma horizontal.

ALCANCES

- ✓ Proponer este modelo y abrir las vías para que se siga desarrollando la tecnología de uso de las bombas de calor geotérmica de baja entalpia
- ✓ Se llegará a comparar la eficiencia energética de un sistema de aire acondicionado tradicional con otro sistema de aire que utiliza bomba de calor geotérmica de baja entalpia.
- ✓ Los resultados obtenidos del estudio dependerá de las posibilidades del software de simulación que se usara, y a partir de ahí serán las conclusiones del estudio.

LIMITANTES

Por ser una nueva tecnología aplicadas en regiones de Europa y EEUU, y no han sido explotadas en climas tropicales como nuestro país, no se cuentan con material bibliográfico, pero si se cuentan con herramientas de software para la simulación de los sistema y con ello dar un aporte significativo a futuras investigaciones o proyectos.

JUSTIFICACION

El estudio de las bombas de calor geotérmicas ofrece las siguientes ventajas:

- ✓ Alta eficiencia energética
- ✓ Es renovable y relativamente de temperatura constante, esto significa que no es un combustible que pueda agotarse, como el petróleo o carbón.
- ✓ Reducción de las emisiones de CO₂
- ✓ Es integral, significa que la instalación puede utilizarse para producir calefacción, aire acondicionado o agua caliente.
- ✓ Permite aprovechar todo tipo de fuente de calor (suelo, agua, aire).
- ✓ Larga Duración
- ✓ Es confortable
- ✓ Ahorro energético de la instalación

CAPÍTULO 1.0: GENERALIDADES DE LAS BOMBAS DE CALOR GEOTÉRMICAS GSHP.

1.1 Generalidades

Una bomba de calor geotérmica o bomba de calor con intercambiador enterrado es una bomba de calor convencional a la cual se le acopla un intercambiador bajo tierra para mejorar las condiciones de operación de la máquina.

Esta tecnología representa, en la mayoría de los casos, la única posibilidad de aprovechamiento de los recursos de muy baja entalpía ($T < 30\text{ °C}$), asociados a la denominada geotermia somera; el cual consiste en la climatización eficiente de edificio y espacios habitados utilizando el calor del suelo a través de un conjunto de tuberías enterradas. Es una tecnología respetuosa con el medio ambiente, reduciendo el consumo de energía eléctrica y las emisiones de CO_2 . Que son los que mejor se adaptan a las necesidades de climatización de edificios.

Las bombas de calor, a diferencia de los aires acondicionados; nos permiten muchas posibilidades, en cuanto a la forma en que estará acondicionado el espacio; así por ejemplo, es posible utilizar bombas de calor del tipo tierra/aire, agua/aire, aire/aire; que entreguen directamente aire al espacio a condicionado (conocidos como sistemas de expansión directa, o por su siglas en inglés DX); o también podrían ser utilizadas,

bombas de calor del tipo; tierra/agua, aire/agua, agua/agua, junto con un sistema de tuberías ensamblado ; ya sea en las paredes, piso o techos del espacio acondicionado (conocidos como sistemas del tipo radiante); e incluso, se podrían utilizar bombas de calor del tipo tierra/agua, aire/agua, agua/agua; junto con fan-coils; estos últimos serían los encargados de acondicionar el espacio, a través de agua fría que circule en los tubos del intercambiador de calor. Gracias a su rango de aplicaciones y a que son sistemas de alta eficiencia, las bombas de calor; en sus distintos tipos de configuraciones, son una alternativa a la que muchos países están apuntando hoy en día para la climatización de viviendas y edificios.

Para seleccionar el sistema más adecuado para una instalación determinada, se deben considerar los siguientes aspectos: geología e hidrogeología del terreno, dimensiones y uso de la superficie disponible, existencia de fuentes potenciales de calor y características de los edificios, en lo que a calefacción y refrigeración respecta. El objetivo es diseñar un sistema que permita obtener un óptimo rendimiento con los mínimos costos posibles.

1.2 Principio de funcionamiento de las bombas de calor geotérmicas (GSHP) de baja entalpia.

Antes de definir lo que es una bomba de calor se van a definir algunos conceptos necesarios para comprender el funcionamiento de una bomba de calor. El principio de Carnot explica la eficiencia térmica de máquinas térmicas reversibles e irreversibles:

- La eficiencia térmica de una máquina térmica irreversible es siempre menor que la eficiencia térmica de una máquina térmica totalmente reversible que funciona entre los mismos depósitos de calor.
- Las eficiencias térmicas de dos máquinas térmicas totalmente reversibles que funcionan entre los mismos dos depósitos de calor son iguales.

Ahora sí se puede definir una bomba de calor como una máquina térmica que permite transferir energía en forma de calor de un foco a otro, y según se requiera. Según el ciclo de Carnot se puede transferir calor, de forma ideal, desde un foco caliente a uno frío de forma espontánea, generando trabajo, pero para transferir una cierta cantidad de calor desde un foco frío a un foco caliente, se requiere un aporte de energía. Esto se conoce como el ciclo inverso de Carnot.

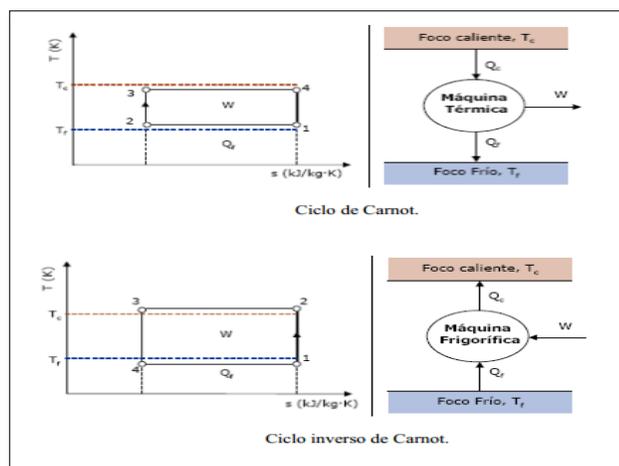


Figura 1-1 Esquema de Principio de Funcionamiento de una bomba de calor.

En el proceso del ciclo inverso de Carnot se tienen las siguientes fases o procesos:

- 1-2: Compresión adiabática y reversible: isentrópica.
- 2-3: Evacuación de calor isoterma.
- 3-4: Expansión adiabática y reversible: isentrópica.
- 4-1: Absorción de calor isoterma.

Este proceso se realiza generalmente por medio de compresión de gases refrigerantes. El calor se transporta a través de un fluido en el interior del ciclo de Carnot en sistemas de calefacción (ciclo inverso de Carnot en sistemas de refrigeración). Este fluido circula por la acción de un compresor a través de un circuito cerrado. El fluido llamado refrigerante tiene la propiedad de cambiar de fase absorbiendo o cediendo calor, propiedad que se utiliza para intercambiar calor entre una zona y otra a través de este fluido. Cuando el refrigerante pasa de líquido a gas absorbe calor, y cuando pasa de gas a líquido lo cede. Las bombas de calor tienen una particularidad con respecto a las máquinas de refrigeración, y es que poseen una válvula capaz de intercambiar los focos frío y caliente, por lo que hace posible tanto la refrigeración como la calefacción.

El tipo más común de bombas de calor, es una bomba de calor del tipo aire/aire; éstos son sistemas que funcionando bajo el modo de enfriamiento, absorben calor del aire del espacio acondicionado y lo rechazan al aire del exterior; mientras que en modo calefacción, el ciclo es revertido; es decir absorben calor del aire exterior y lo inyectan al interior. El tipo de bombas de calor, de última tecnología; a pesar de ser un sistema que

ya se conocía desde hace mucho tiempo, pero que no había sido explotado todo su potencial, son las bombas de calor geotérmicas, también conocidas por sus siglas en inglés GSHP (Ground Source Heat Pumps).

Este tipo de bombas de calor, al ser sistemas de alta eficiencia y eco-amigables, están siendo últimamente utilizadas; a medida que suben los precios de la energía y la mayor conciencia ecológica. El principio de funcionamiento de las bombas de calor geotérmicas, dependiendo del modo de funcionamiento; es extraer/ rechazar calor de la tierra o de aguas subterráneas, para calentar/enfriar espacios habitados. Los dos principales tipos de bombas de calor geotérmicas, son las bombas de calor del tipo tierra/aire y tierra/agua; ambas poseen la misma fuente de absorción/rechazo de calor (depende del modo de funcionamiento).

La bomba de calor geotérmica del tipo tierra/aire, se diferencia de la del tipo tierra/agua; en que entrega aire directamente al espacio (similar a los aires acondicionados, únicamente se diferencian; en que el condensador, no es del tipo enfriado por aire, sino del tipo enfriado por agua); en cambio las bombas de calor geotérmicas, del tipo tierra/agua; acondicionan el espacio, a través de un circuito secundario; sea este sistema radiante o fan-coils.

1.3 Ciclos de funcionamiento de las bombas de calor

Cabe mencionar que las bombas de calor pueden funcionar bajo tres modos/ ciclos de operación entre ellos:

- A. Ciclo de calefacción
- B. Ciclo de enfriamiento
- C. Ciclo de descongelación

Es importante considerar que entre los tipos de ciclos de operación de las bombas de calor, el ciclo de descongelación se utiliza en aquellos países donde en el invierno es muy severo. Por lo que los ciclos de calefacción y descongelación no nos interesan en este estudio ya que nuestro clima es tropical y nos interesaría únicamente el ciclo de enfriamiento.

Sin embargo para tener un conocimiento general del funcionamiento del ciclo que nos interesa en este estudio, se procederá a explicar de manera breve el funcionamiento de dicho ciclo de enfriamiento.

A. Ciclo de Enfriamiento

Para poder refrigerar el espacio habitado durante el verano, el sistema toma calor del aire interior y lo rechaza hacia el exterior. Es exactamente el mismo ciclo de calefacción; pero invertido, es decir el que actuaba como evaporador, ahora actúa como condensador.

El calor que logra absorber el evaporador del espacio acondicionado, es ahora rechazado por medio del condensador al exterior. Algo a tomar en cuenta, es que durante el ciclo de enfriamiento; la bomba de calor también deshumidifica el aire interior.

La humedad en el aire, que pasa a través del serpentín interior; se condensa en la superficie del serpentín y es recolectada en una bandeja que se encuentra en la parte de debajo de este; donde un tubo conecta esta bandeja al drenaje de aguas, del espacio que es acondicionado.

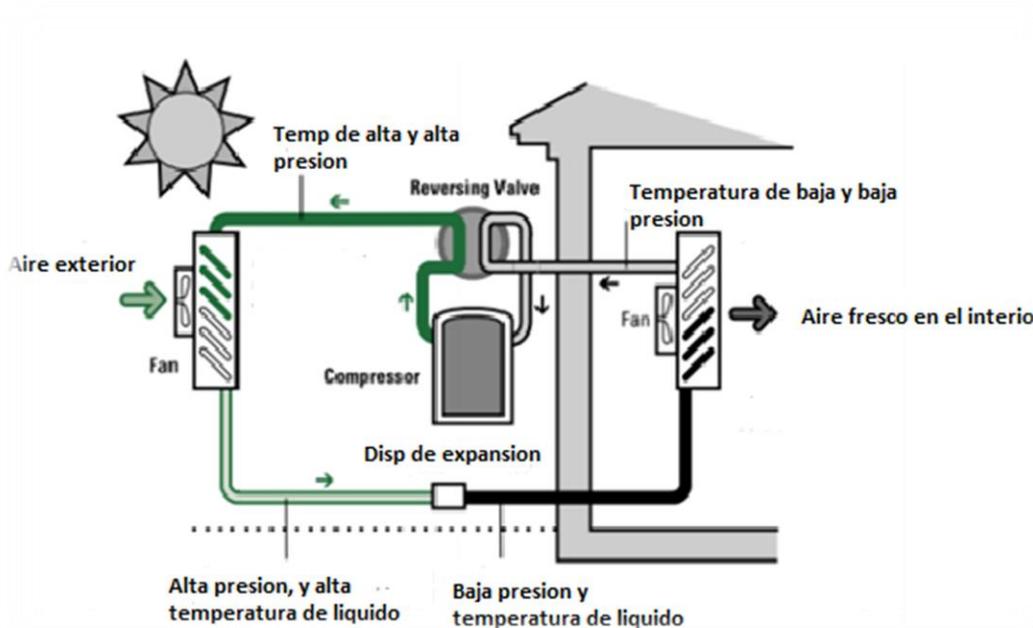


Figura 1-2. Esquema de funcionamiento de una bomba de calor en modo de enfriamiento.

Fuente: Canada's Natural Resources, 2004 p. 13.

1.4 Tipos de bombas de calor

Las bombas de calor se pueden clasificar según diversos criterios, los cuales se detallan a continuación:

1.4.1 Según tipo de proceso

Las bombas de calor según el tipo de proceso se clasifican en:

- 1) Bombas de calor en ciclo de compresión cerrado.
- 2) Bombas de calor de absorción.

En las bombas de calor en ciclo de compresión cerrado, la elevación de presión y temperatura; entre el evaporador y condensador, se logra mediante compresión mecánica del vapor, es decir de igual manera que en un sistema de refrigeración común; que es accionado por un compresor. Dicha compresión, se puede realizar mediante un compresor; el cual puede ser accionado ya sea por un motor eléctrico o un motor a gas. Por otro lado, las bombas de calor que funcionan bajo el ciclo de absorción; son accionadas térmicamente. Es decir la energía aportada al ciclo, es térmica y no mecánica, como en los sistemas de compresión en ciclo cerrado.

Un sistema de absorción, se basa en la capacidad que tienen ciertas sales y líquidos; para absorber fluido refrigerante.

Los sistemas de bombas de calor, de compresión en ciclo cerrado; son utilizados para la climatización de espacios habitados, ya que no son requeridas elevadas temperaturas.

En cambio los sistemas de absorción, son utilizados en procesos industriales; donde son requeridas elevadas temperaturas; por ejemplo, en procesos de pasteurización.

1.4.2 Según origen y medio de energía

Una bomba de calor, se denomina mediante dos palabras; la primera, corresponde al circuito conocido como lado del agua/lado exterior; este circuito, para el caso de sistemas que se utilizan para enfriar espacios; vendría a ser el condensador, es decir; el medio en el cual se está rechazando el calor, proveniente del espacio que está siendo enfriando.

La segunda, se refiere al circuito conocido como lado del aire/lado interior. Este circuito, para un sistema que está operando bajo el modo de enfriamiento, vendría a ser el evaporador; es decir, es el medio del cual se está rechazando calor, en otras palabras el que se está enfriando.

Según la clasificación de las bombas de calor, a continuación se presenta los diferentes tipos de bombas de calor en la tabla 1.

Tabla 1. Clasificación de las bombas de calor según su origen y medio de energía.

Fuente: <http://enerxia.wordpress.com/>

Medio de Extracción de la Energía (Primer Palabra)	Medio al que ceden Energía (Segunda Palabra)
Aire	Aire
Aire	Agua
Agua	Aire
Agua	Agua
Tierra	Aire
Tierra	Agua

- 1) Bombas de calor aire/aire: Son las más utilizadas, principalmente en climatización. En este tipo de sistemas, el aire interior del espacio habitado es removido y se hace ingresar aire del exterior.
- 2) Bombas de calor aire/agua: Se utilizan para producir agua fría para refrigeración y/o agua caliente para calefacción, también pueden ser utilizadas para la generación de agua sanitaria.
- 3) Bombas de calor agua/aire: Permiten aprovechar la energía contenida en el agua de los ríos, mares, aguas residuales, etc. Producen mayores rendimientos energéticos que las que utilizan aire exterior, debido a la mayor uniformidad de la temperatura del agua a lo largo del año.

- 4) Bombas de calor agua/agua: Similares a las anteriores, excepto que los emisores y receptores son radiadores o intercambiadores de calor (por ejemplo fan-coils). También son conocidos como sistemas del tipo radiante, éstos consisten en una serie de tubos dispersos a lo largo del espacio acondicionado; a través del cual circula un refrigerante que comúnmente es agua. Dicha agua es removida de los tubos y es rechazada en un arroyo, río o lago.
- 5) Bombas de calor tierra/aire y tierra/agua: Son bombas de calor geotérmicas, es decir aprovechan el calor contenido en la tierra o en aguas subterráneas. Este proceso se realiza por medio de intercambiadores de calor de diseño horizontal o vertical, los cuales se encuentran enterrados fuera del lugar que es acondicionado. A través de dichos intercambiadores, circula un refrigerante que absorbe energía y transfiere el calor resultante; al espacio habitado. Debido a su costo inicial y a la necesidad de disponer de grandes superficies de terreno, son instalaciones poco habituales; aunque últimamente están teniendo un nuevo impulso, ya que de todas las bombas de calor que existen; son las más eficientes; lo que las llevan a ser muy rentables y además son sistemas eco-amigables, ya que permiten reducir drásticamente las emisiones de dióxido de carbono (CO₂).

1.4.3 Según su Funcionamiento

A partir de su principio de funcionamiento, las bombas de calor se clasifican en:

- 1) Reversibles: pueden funcionar tanto en ciclo de calefacción, como en ciclo de refrigeración; invirtiendo el sentido de flujo del fluido refrigerante, gracias a una válvula especial de cuatro vías.
- 2) No reversibles: únicamente funcionan en ciclo de calefacción o refrigeración; no ambos.

1.4.4 Según su Construcción

Este punto cabe mencionar que los equipos de aire acondicionado tradicional, residencial comercial podemos mencionar la clasificación en tres tipos de bombas de calor:

- 1) Tipo Compacta: todos los elementos que constituyen la bomba de calor se encuentran alojados dentro de una misma carcasa.
- 2) Tipo-Split: están constituidas por dos unidades separadas, una exterior donde se aloja el compresor, válvula de expansión y una unidad interior. De esta manera se evitan los ruidos en el interior local.
- 3) Tipo Multi-Split: están constituidas por una unidad exterior, donde se aloja el compresor, válvula de expansión y varias unidades interiores.

1.5 Rendimiento de las Bombas de Calor Geotérmicas de Baja Entalpia

1.5.1 Eficiencia de las Bombas de Calor

La eficiencia de las bombas de calor se expresa mediante un coeficiente internacionalmente aceptado conocido como COP (Coeficiente de Operación)¹ y que se define como el cociente entre la energía útil obtenida de la máquina y la energía de todo tipo que dicha maquina ha consumido en el proceso. Si se considera la bomba como productora de frio, determinaremos su eficiencia frigorífica, mientras si la consideramos productora de calor se obtendrá una eficiencia térmica.

$$\text{COP frigorífico: } \text{COP}_f = P_E/P_e$$

$$\text{COP térmico: } \text{COP}_t = P_C/P_e$$

Dónde:

P_E : Potencia Frigorífica (Calor extraído del exterior)

P_e : Potencia eléctrica consumida en la operación de los equipos

P_C : Potencia Térmica (Calor cedido al exterior)

¹ Guía de la Energía Geotérmica www.fenercom.com

1.5.2 Eficiencia de las Bombas de Calor en Modo de Enfriamiento.

Para el caso de un sistema diseñado para proporcionar refrigeración, existe un coeficiente que permite conocer su desempeño; el cual es el índice de eficiencia energética (EER), éste mide la eficiencia de enfriamiento en estado estacionario ; y es determinada dividiendo la capacidad de enfriamiento de la bomba de calor, entre la entrada total de energía; a una determinada temperatura. Entre más alto es el EER, más eficiente es el sistema.

El factor que existe con EER y el coeficiente de refrigeración, el cual es de mucha utilidad cuando uno de estos dos se conoce es:

$$EER = 3.413 * COP_{\text{refrigeración}}$$

De similar manera que para el modo de calefacción, otro parámetro de eficiencia muy utilizado, para indicar el rendimiento de las bombas de calor; que operan bajo el modo de enfriamiento, es el Factor de Eficiencia Energética Estacional (SEER); el cual relaciona la capacidad de enfriamiento total del equipo, expresado en BTU; durante una temporada, en la cual el equipo está funcionando en modo enfriamiento, entre la energía requerida por el compresor en Wh; durante este mismo período; dicha fórmula se muestra a continuación :

$$SEER = \frac{C_{TEMPORADA}}{E_{TEMPORADA}}$$

Dónde:

$C_{TEMPORADA}$: Efecto total de enfriamiento en BTU

$E_{TEMPORADA}$: Energía requerida por el compresor en Wh.

Casi siempre, los vendedores utilizan este coeficiente; el SEER, para indicar la eficiencia de sus equipos y muchas veces no presentan el EER; o por lo menos no a simple vista. Es decir que podría encontrarse en el catálogo, pero no en la viñeta de venta.

1.5.3 Eficiencia de las Bombas de Calor en Modo de Calefacción

Cabe mencionar que para nuestro estudio nos interesa el modo de enfriamiento ya que como lo mencionamos anteriormente por ser un clima tropical de nuestro país El Salvador, pero vale la pena mencionar de manera general la eficiencia de las bombas en modo calefacción.

Un parámetro de eficiencia muy utilizado, para indicar el rendimiento de las bombas de calor; que operan bajo el modo de calefacción, es el Factor de Rendimiento de Calefacción Estacional (HSPF); el cual relaciona la capacidad de calentamiento total del equipo, expresado en BTU (unidad térmica inglesa); durante una temporada, en la cual el equipo está funcionando en dicho modo; entre la energía requerida por el compresor en Wh; durante este mismo período. Dicha fórmula se muestra a continuación:

$$HSPF = \frac{H_{TEMPORADA}}{E_{TEMPORADA}}$$

$H_{TEMPORADA}$: Efecto total de calentamiento en BTU

$E_{TEMPORADA}$: Energía requerida por el compresor en Wh.

Muchas veces, a la hora de comprar un equipo de este tipo; únicamente se nos presenta el HSPF, en la viñeta de especificaciones técnicas; teniendo que recurrir al catálogo del equipo, para conocer el $COP_{CALEFACCION}$, el cual muchas veces no está a la mano.

1.6 Análisis de las Bombas de Calor Geotérmicas tipo Tierra/Aire.

La energía geotérmica de baja entalpía; basa su principio de funcionamiento, en la capacidad que tiene la tierra para acumular el calor procedente del sol; a la vez que mantiene una temperatura prácticamente constante a lo largo del año a partir de determinada profundidad.

Una bomba de calor geotérmica, básicamente; es un sistema que cede y absorbe calor del terreno, a través de un conjunto enterrado de tuberías; que actúan como un intercambiador de calor y se encuentran en el exterior del espacio acondicionado.

1.6.1 Ventajas de la Bombas de Calor Geotérmicas

Actualmente la energía geotérmica se considera rentable, de alta eficiencia y fiable. Estudios ajenos al que ocupa este proyecto aseguran que la energía geotérmica en combinación con bombas de calor para uso en climatización aumenta la eficiencia

energética hasta en un 50%. Estos datos nos llevarían a determinar que las bombas de calor geotérmicas sean económicamente ventajosas, existiendo además subvenciones que podrían llegar hasta el 40% de la inversión. Además se afirma que los costos de mantenimiento se reducen frente a los sistemas convencionales.

El intercambiador enterrado es generalmente el componente más caro del sistema geotérmico y es altamente dependiente del costo de mano de obra y las condiciones de perforación según el emplazamiento.

Las bombas de calor acopladas a tierra son más fiables que las convencionales en el sentido de que al intercambiador enterrado no se tiene acceso desde el exterior y por lo tanto está más preservado, en cambio puede verse atacado por animales y agentes químicos del subsuelo.

Además al no estar en contacto con el aire exterior mantiene el aire dentro de los edificios más limpio y libre de polen, contaminantes externos, esporas de hongos y otros alérgicos.

1.6.2 Principio de Funcionamiento

Las bombas de calor del tipo tierra/aire, y en general las bombas de calor geotérmicas; son sistemas de intercambio geotérmico, conocidos comúnmente por sus siglas en inglés GSHP (Ground Source Heat Pumps). Dichos sistemas, funcionando bajo el modo de calefacción, remueven el calor de la tierra usando un líquido; el cual puede ser agua o algún tipo de refrigerante; la temperatura del líquido es elevada por la bomba de calor y

el calor es transferido del exterior, al aire en el interior del espacio acondicionado. Bajo el modo de enfriamiento, el proceso es revertido; el calor es tomado del aire interior del espacio acondicionado y es transferido a la tierra por el agua o por el refrigerante. El rechazo de calor, se logra a través de un circuito externo de tuberías; el cual puede ser del tipo vertical u horizontal.

1.6.3 Arreglo Externo de las Tuberías.

Como ya se indicó anteriormente, los sistemas que conectan la bomba de calor geotérmica con el subsuelo y permiten la extracción del calor del terreno o su inyección en él son las tuberías, y básicamente pueden ser, **abiertos o cerrados**, si bien existen otros tipos que también serán objeto de consideración en el presente documento.

A. SISTEMA ABIERTOS. Se caracterizan porque el portador del calor el agua subterránea fluye libremente en el subsuelo y actúa, además de como fuente de calor, como medio para el intercambio del mismo. El principal aspecto técnico de este tipo de sistemas es el relativo a los sondeos perforados para explotar la capa freática o los recursos de acuíferos poco profundos situados por debajo de ésta. En la mayoría de los casos, son necesarios dos sondeos explotación mediante doblete de sondeos, uno para extraer el agua subterránea y otro para reinyectarla en el mismo manto acuífero de la que se obtuvo.

El sondeo de captación, equipado con una bomba sumergible, conduce el agua subterránea hasta la bomba de calor, desde donde, una vez enfriada tras extraer su energía, se devuelve al acuífero de origen o se vierte a un cauce superficial (Figura 1-3). Con el fin de evitar el enfriamiento continuo del agua subterránea, los sondeos de producción e inyección deben situarse, respectivamente, aguas arriba y aguas abajo del flujo subterráneo, y a la distancia adecuada, de acuerdo con los modelos de transmisión de calor.

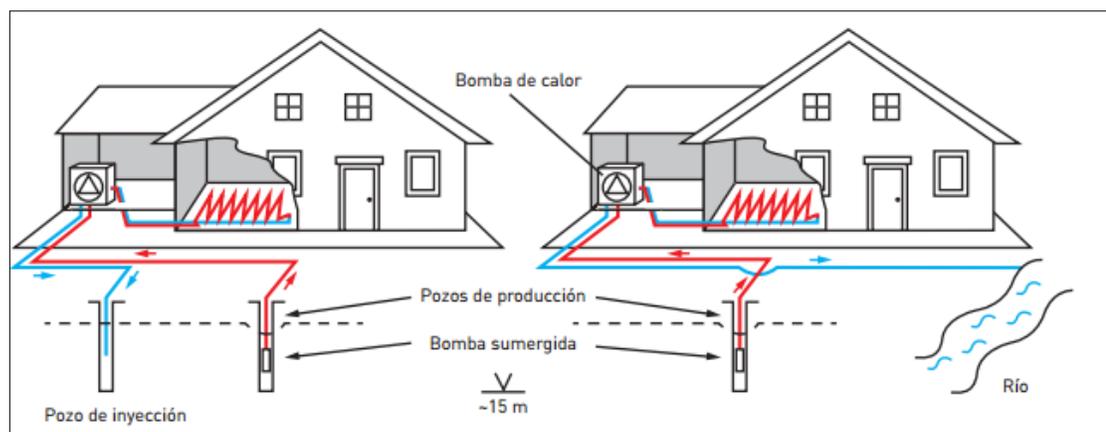


Figura 1-3. Diagrama de funcionamiento de una bomba de calor geotérmica con sondeos de captación de agua.²
Fuente: Tecnologías para el aprovechamiento de los recursos geotérmicos.

Para la aplicación de estos sistemas se requiere una permeabilidad suficientemente elevada del terreno, que permita obtener la cantidad necesaria de agua subterránea a poca profundidad, y una cierta calidad de esta última, circunstancia que supone el control de ciertos parámetros, como el contenido de hierro y el potencial redox³, para

² Fuente: Tecnologías para el aprovechamiento de los recursos geotérmicos.

³ El proceso redox, es muy importante para la prevención de la corrosión en los metales.

evitar problemas de corrosión, precipitación y obstrucción de conducciones, que, a largo plazo, podrían afectar al funcionamiento de la instalación.

B. SISTEMAS CERRADOS: Se basan en el empleo de intercambiadores enterrados, con un fluido termoportador en su interior que cede la energía del subsuelo a la bomba y viceversa. Por tanto, es el fluido que circula por el intercambiador en circuito cerrado el que se lleva a la bomba de calor y no el agua subterránea, como sucedía en el caso de los sistemas abiertos. Los sistemas cerrados ofrecen la posibilidad de aprovechar el calor acumulado en los materiales de los niveles más externos de la corteza terrestre, en las situaciones en que la impermeabilidad del terreno o la profundidad de los niveles no permiten explotar la energía de las aguas del subsuelo. Son de dos tipos, **horizontales y verticales**, en función de cómo se sitúen los intercambiadores en el terreno.

1. HORIZONTALES

Los captadores horizontales son generalmente captadores recorridos por refrigerante. Este tipo de captadores se instalan a una profundidad superior a 1,5m e inferior a 5m, entre las fuentes consultadas se observan discrepancias en este dato, siendo el mostrado el que engloba a todos los demás intervalos propuestos. A diferencia de los verticales, requieren una gran superficie de implantación, entre 1,5 y 2 veces la superficie a climatizar. Al estar a poca profundidad, los sistemas horizontales deben tener la superficie exterior libre para evitar la saturación del terreno y por lo tanto mantener una buena transferencia de calor entre el colector y el terreno, ya que el flujo térmico irá en

dirección radial al colector y, por lo tanto, en dirección vertical. Debido a la poca profundidad, los captadores pueden verse influenciados por la temperatura exterior.

Debido a que el costo de excavación es una fracción muy alta del costo total de la instalación geotérmica, obviando los elementos comunes entre la instalación geotérmica y la convencional, el sistema de colectores horizontal es en gran medida más barato que el sistema vertical, que se comentará en el próximo punto.

Los sistemas horizontales pueden estar compuestos de sondas lineales formando un lazo cerrado, o de sondas espirales, formando igualmente un lazo cerrado.

Los intercambiadores geotérmicos pueden estar compuestos de más de un lazo en su configuración. En el caso de instalarse varios lazos, deben situarse a más de 60cm de distancia unos de otros, evitándose así influencias entre lazos.

Los sistemas horizontales son de uso doméstico, empleándose en viviendas unifamiliares, residencias y locales que dispongan de terreno para evitar la saturación anteriormente mencionada.

El ejemplo de las casas unifamiliares ilustra bien el uso del jardín como superficie libre de disipación. El calor disipado por los colectores horizontales es del orden de 10W por metro de captador⁴.

⁴ Según ASHRAE Handbook — HVAC Applications.

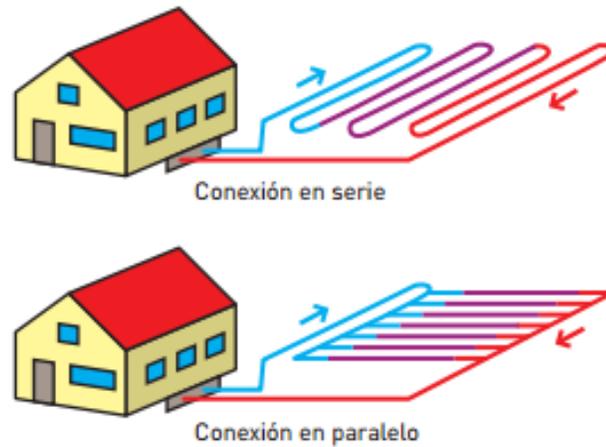


Figura 1-4. Sistema Cerrado con arreglo de tubería en forma horizontal.⁵
Fuente: MANDS, E.; SANNER, B. Shallow Geothermal Energy. UBeG GbR, Zum Boden 6, D-35580 Wetzlar

Para solventar los problemas de espacio que se plantean con este tipo de colectores, se han desarrollado unos intercambiadores de calor especiales para ubicar en el terreno, que resultan ser los más adecuados para sistemas que trabajan con bombas de calor para usos en calefacción y refrigeración.

Un tipo de estos intercambiadores, conocido como slinky, se basa en la colocación de bobinas de polietileno en el terreno, extendiendo las sucesivas espiras e intercalando tierra seleccionada o arena (Figura 1-5). Dichas espiras pueden disponerse horizontalmente, en una zanja ancha, o verticalmente, en una zanja estrecha.

⁵ Fuente: MANDS, E.; SANNER, B. Shallow Geothermal Energy. UBeG GbR, Zum Boden 6, D-35580 Wetzlar

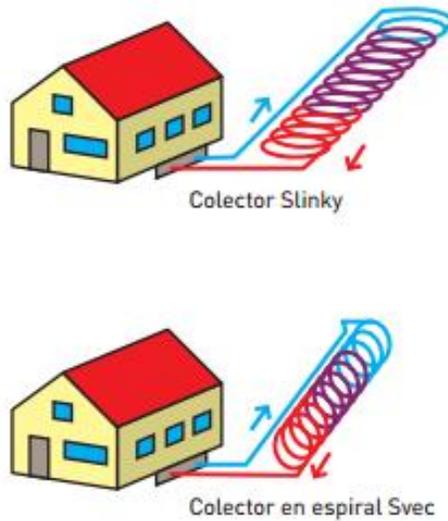


Figura 1-5. Esquema de arreglo de un sistema cerrado tipo Slinky.⁶
Fuente: MANDS, E.; SANNER, B. Shallow Geothermal Energy. UBeG GbR, Zum Boden 6, D-35580 Wetzlar

2. VERTICALES.

En una instalación, que se encuentran limitada por la cantidad de terreno disponible; la opción de utilizar un arreglo del tipo horizontal, queda prácticamente descartada; debido a la cantidad de espacio que éste requeriría. La profundidad de instalación de estos sistemas varía desde los 50 a los 150 metros de profundidad. Esta profundidad relativamente alta permite el uso del suelo que cubre el sistema de captación ya que, en este caso, la dispersión del flujo térmico no irá en dirección vertical, sino en dirección horizontal, no encontrándose obstáculo y no saturando así el terreno. La profundidad elevada evita la influencia de la temperatura exterior en el captador. Las sondas son en

⁶ Fuente: MANDS, E.; SANNER, B. Shallow Geothermal Energy. UBeG GbR, Zum Boden 6, D-35580 Wetzlar

forma de U de un material polimérico como el polietileno de alta densidad (Figura1-6). En sistemas compuestos con más de una sonda, debe haber una separación mínima entre ellas de al menos 4,5 metros.

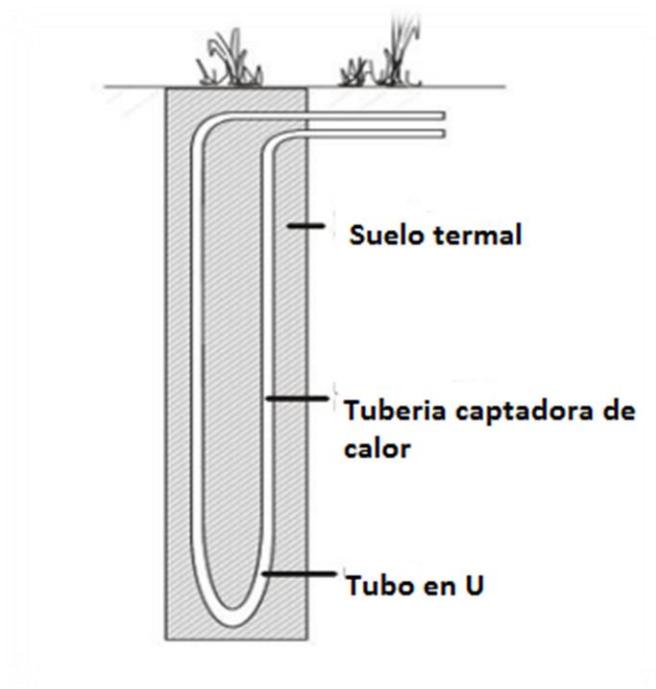


Figura 1-6. Esquema de un tubo en forma de U en arreglo vertical.
Fuente: <http://www.geologicboreholes.co.uk>.

En contraposición a los sistemas horizontales, estos son de un coste elevado, por lo que se emplean en edificaciones de nueva construcción, insertando los colectores a la vez que los cimientos, reduciendo el costo de instalación del sistema de climatización. El calor disipado por los colectores verticales es del orden de 50W por metro de captador⁷.

⁷ Según ASHRAE Handbook — HVAC Applications.

Es importante asegurarse, que la tubería de suministro y la tubería de retorno; de un mismo tubo en U, no entren en contacto a lo largo de todo su recorrido, para así minimizar la interferencia térmica; entre ellas, lo cual se logra colocando separadores al comienzo de ellas; conocidos como shanks.

Además, cada perforación debe está recubierta casi siempre; de un material especial, conocido como grout (otras soluciones, también son posibles; las cuales son explicadas más adelante); a fin de evitar problemas de contaminación a la tierra, ocasionados por ejemplo, por alguna ruptura de una de las tuberías y más que todo; para proteger al sistema del contacto directo con la tierra y así evitar posibles deterioros en éste, ocasionados por ejemplo; tubería inadecuada para el tipo de tierra, posibles infiltraciones de agua al sistema (agua retenida por la tierra), e incluso para protegerlos contra posibles rupturas; ocasionadas por ejemplo, durante un movimiento sísmico; entre otras cosas. Dicho material, grout⁸; debe poseer dos características principales que son:

- 1) Alta conductividad térmica: esto para asegurar una correcta transferencia de calor, de la tierra a la tubería.
- 2) Baja conductividad hidráulica/alta permeabilidad: con el objetivo de evitar posibles contaminaciones, tanto de la tierra para el sistema; como viceversa.

⁸ Grout: es un relleno estructural, para la instalación de maquinaria, anclajes, estructura y el relleno de espacios, y así evitar la contracción o expansión de las piezas.

1.7 Consideraciones Técnicas de Instalación para ambos tipos de Arreglos Vertical y Horizontal del Intercambiador de Calor enterrado en el Suelo.

Es de mencionar que las consideraciones que a continuación se detallan, son solo una guía y que no excluye el uso de software de simulación del diseño.

Estas son algunas de las consideraciones técnicas que se deben tomar en cuenta para el diseño de estos sistemas:

1) En caso de un arreglo geométrico, del tipo horizontal; el área de terreno que se necesitará, para su instalación es considerablemente mayor, que la requerida por un arreglo del tipo vertical; por lo que los arreglos horizontales se recomienda únicamente en zonas rurales; es decir en zonas donde existe espacio suficiente para su instalación o en hogares pequeños, donde la capacidad instalada es baja.

2) Para capacidades instaladas mayores, los arreglos verticales son preferidos; así pues, son utilizados para aplicaciones comerciales e industriales; tales como: edificios públicos, colegios, universidades, centros comerciales; entre otros; los cuales se encuentran instalados en zonas urbanas; en donde como esperamos, es muy común que el espacio disponible sea limitado.

3) La tierra en donde va a ser instalado el circuito externo de tuberías, debe ser adecuada para el tipo de tubería que se va utilizar; así pues será necesario realizar ciertas pruebas, como por ejemplo; verificar la alcalinidad de la tierra (pH), para ver si ésta no podría corroer la tubería; en caso de que se desee utilizar cobre.

4) El contacto entre la tierra y la tubería, deberá ser térmicamente eficiente; para asegurar una correcta conductividad, la cual entre más alta; mejor será el desempeño de todo el equipo.

5) El material de la tubería deberá ser seleccionado en base a dos criterios principales que son durabilidad y conductividad térmica.

6) El fluido que esté circulando, deberá garantizar una eficiente transferencia de calor de la tierra a éste. Por lo que deberá ser seleccionado en base a cuatro criterios principales:

- ✓ **Viscosidad:** deberá ser la más baja posible, esto para garantizar un flujo turbulento que asegure una eficiente transferencia de calor.
- ✓ **Temperatura mínima de operación:** ésta indicará, si será necesario utilizar una solución anticongelante con el agua; a fin de evitar que se congele y esté dentro de las capacidades de bombeo.
- ✓ **Punto de congelación de la solución anticongelante:** en caso de que sea necesario utilizar un anticongelante con el agua, éste deberá poseer un punto de congelación por debajo de la temperatura mínima de operación.
- ✓ **Distancia arreglos continuos adecuados:** como es de esperarse, entre más cerca estén las tuberías; el intercambio térmico entre las tuberías aumenta, es decir se produce una interferencia térmica y al afectarse mutuamente, el desempeño de estos equipos se ve considerablemente disminuido.
- ✓ **Baja toxicidad:** es requerida, en caso de que se utilice un anticongelante con el agua.

- ✓ **De preferencia no inflamable:** esto pues a fin de evitar explosiones e incendios, así como todos los demás peligros relacionados al uso de este tipo de sustancias; es decir las inflamables.
- ✓ **De preferencia biodegradable:** esto para que pueda ser absorbida por la tierra, en caso de que se produjese una fuga.

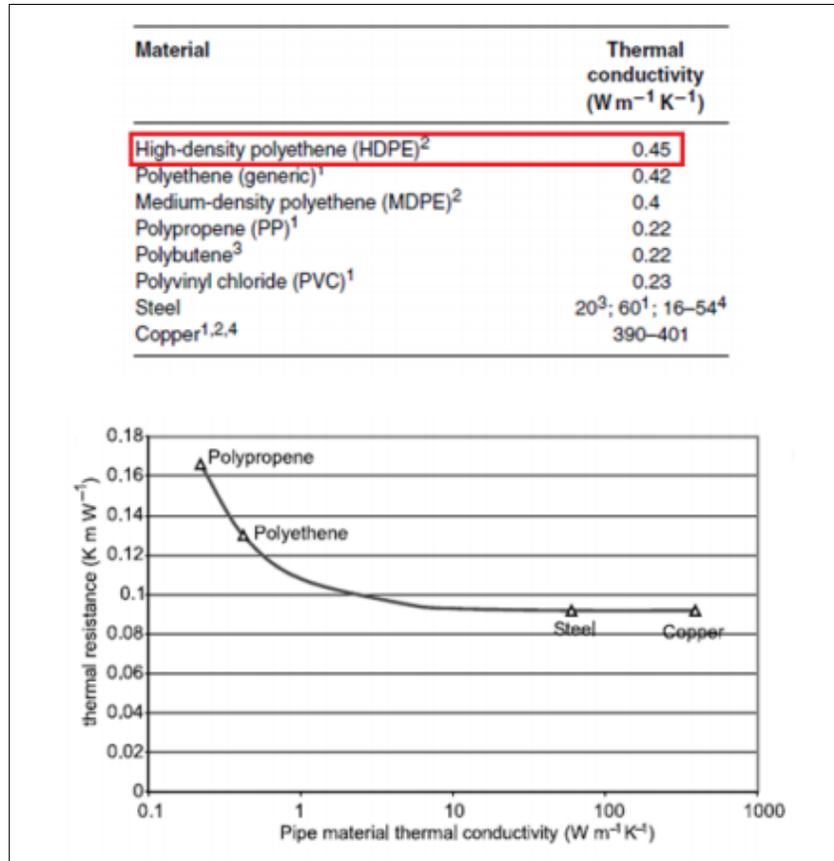
1.7.1 Material de las Tuberías del Sistema

Hay una gran cantidad de materiales que pueden ser utilizados en la construcción del intercambiador geotérmico, como ya se mencionó anteriormente el material ideal para dicho propósito, sería el cobre; pero este además de corroerse rápidamente y no ser tan resistente, resulta ser demasiado caro y por dichas razones casi ya no es utilizado.

Hoy en día se prefiere utilizar tuberías de polipropileno (PP) y polietileno (PE). El polipropileno, es muy similar al polietileno (PE), pero éste se diferencia en que es más duro, menos flexible y no soportan tan bajas temperaturas; sino más bien, altas temperaturas.

A pesar de que el polipropileno (PP), posee una conductividad térmica un poco más alta que el poli etileno (PE), tomando en cuenta lo anterior; se prefiere utilizar polietileno (PE) de media (MDPE) y alta (HDPE) densidad, que de igual manera poseen altas conductividades térmicas.

Tabla 1.2. Conductividades térmicas de diferentes tipos de material de tuberías de sistema y distintos tipos de materiales para tuberías en U. Fuente: Banks 2008.⁹



1.7.2 Cantidad y Profundidad de las Perforaciones

Según los valores obtenidos de la práctica en otras regiones de la utilización de este tipo de arreglos; alrededor del mundo, la capacidad instalada por perforación; varía entre 2–25 kW donde la de 2 kW es para sistemas con perforaciones que tienen un aproximado de 30 m de profundidad; mientras que la 25 kW o más es para sistemas con perforaciones que tienen un aproximado de 180 m de profundidad.

⁹ Fuente: "An Introduction to Thermogeology, Ground Source Heating and Cooling" de David Banks

Estos valores en la realidad, varían de acuerdo a la conductividad térmica del tipo de grout utilizado, a la conductividad térmica del tipo de tierra de la zona, además de obviamente al clima, las condiciones de operación; entre otros factores a considerar. Al hacer una relación entre la capacidad de extracción y la profundidad de perforación, se obtiene una relación más lineal; para valores de extracciones que oscilan entre 50 –140 W/m con un promedio de 75 W/m (por metro de perforación).

Sin embargo, no existe una regla o limitación que nos indique cual es la máxima profundidad que puede tener una perforación. En otras palabras, por ejemplo: dos perforaciones de 50 m de profundidad; cada una, proveerá aproximadamente la misma capacidad que una perforación de 100 m de profundidad. Sin embargo, como es de esperarse; el costo monetario que implica realizar dos perforaciones en vez de una, es mayor (mover el equipo, comenzar la perforación, interconexión entre perforaciones, área requerida, etc.). Como resulta obvio pensar, debe existir un punto; en el cual resulta más barato, comenzar una nueva perforación; que continuará aumentando la profundidad de la que ya se tiene. De la práctica y pruebas realizadas a equipos existentes, se ha obtenido que este valor oscila para profundidades de entre 70 –120 m tomando en cuenta esto, generalmente se suelen trabajar con perforaciones que tiene alrededor de 100 m de profundidad; teniendo así en promedio capacidades de extracción de alrededor de 9-15 kW por cada perforación; de 100 m de profundidad.

El número de perforaciones requeridas por un sistema geotérmico de este tipo, deberá ser determinado mediante el uso de herramientas de diseño utilizadas para dicho fin; los

valores que acá se recomienda utilizarlos sólo, como primeras aproximaciones; a fin de que el software seleccionado para su diseño, sea capaz de ajustar dicho valor. Un primer aproximado de la cantidad de perforaciones requeridas, se obtiene al conocer la carga pico del sistema en estudio, es decir el punto a lo largo de un año en el cual la demanda de potencia fue máxima; y a la vez utilizando los valores acá recomendados (cada perforación de 100 m puede obtener alrededor de 9 kW de capacidad instalada).

Al igual que para los arreglos horizontales, no existe limitación alguna en cuanto al tipo de geometría del arreglo se refiere.

Cada vez se va inventando nuevos tipos de arreglos verticales, que vienen a cumplir principalmente dos objetivos; los cuales son:

- 1) Minimizar el área requerida.
- 2) Maximizar la cantidad de calor extraída por arreglo geométrico.

Con el objetivo de minimizar el área requerida, también es posible, incluso; instalar más de un tubo en U, en una misma perforación (Doble U), aunque como es de esperarse el diámetro de la misma deberá ser mayor; a fin de evitar el contacto entre tubos, además; como es de esperarse, al ser un diámetro de perforación mayor; es de considerar también, que los costos de instalación; de la misma aumentan y también que la introducción de las sondas (Tubos en U) se dificulta considerablemente.

Es por ello que los más utilizados son los tubos U, en perforaciones individuales distribuidos mediante algún tipo de arreglo geométrico.

Como es de esperarse, dependiendo del tipo de arreglo seleccionado; el desempeño del sistema; a lo largo de toda su vida útil varía considerablemente. En el caso del intercambiador de calor, generalmente se consideran que pueden durar hasta más de 40 años.¹⁰

1.7.3 Fluido de Trabajo

El fluido de trabajo preferentemente es agua, sin embargo; esto es cierto si y solo si el sistema está diseñado para rechazar calor a la tierra, es decir para enfriar un espacio habitado.

No obstante, en muchos países; que deben soportar fuertes inviernos, la calefacción es algo indispensable; siendo necesario extraer el máximo calor posible de la tierra para lograr dicho propósito.

En estos casos, es ideal que el fluido entre al intercambiador geotérmico; a temperaturas por debajo de 0°C; para que así, el diferencial de temperaturas ΔT ; entre éste y la tierra, sea lo suficientemente grandes como para lograr que se produzca un adecuado intercambio de calor, del cuerpo más caliente (tierra); al cuerpo más frío (fluido).

Por ende al ser temperaturas de trabajo, por debajo del punto de congelación del agua; es necesario utilizar con ésta algún tipo de anticongelante, siendo las más utilizadas

¹⁰ <http://www.greenspec.co.uk/html/energy/GSHP.html>, Junio 2010.

soluciones de alcohol o glicol (metanol, etanol, etilenglicol, propilenglicol; entre otras), soluciones de sales orgánicas (generalmente acetato de potasio) y sales inorgánicas (tales como cloruro de sodio, cloruro de magnesio, cloruro de calcio y carbonato de potasio); de preferencia el fluido deberá ser biodegradable, no inflamable y de baja toxicidad.

1.7.4 Determinación de las Temperaturas Máximas y Mínimas de Entrada del Fluido a la Bomba de Calor Geotérmica.

Un parámetro clave que tiene que elegir el diseñador del sistema es la temperatura del fluido que circule por el intercambiador de calor enterrado. Debe encontrarse el compromiso óptimo entre dos consideraciones:

- Cuanto más baja sea la temperatura en invierno (más alta en verano), mayor será la diferencia con la temperatura del suelo, y menor tendrá que ser el intercambiador enterrado para el mismo intercambio de calor, por lo que los costos de inversión serán menores.
- Cuanto más alta sea la temperatura en invierno (más baja en verano), mayor será el COP del sistema, por lo que el ahorro energético será mayor.

Con esas premisas y las curvas de temperatura de la bomba de calor, el diseñador fijará sus temperaturas máximas y mínimas de trabajo (T_{MAX} , T_{MIN}).

Por ejemplo, para una bomba de calor de las siguientes características:

Potencia bomba calor calefacción: (P_c) 21.8 kW

Potencia consumida calefacción: (P_a) 4.29 kW

Potencia bomba calor refrigeración: (P_f) 17.8 kW

Potencia consumida refrigeración: (P_a) 4.27 kW

Caudal 3,300 l/h

Rango $T_{\text{entrada,c}}$ [9-12] °C

Rango $T_{\text{entrada,f}}$ [30-35] °C

Las temperaturas de salida del agua en los modos fríos y calor, se pueden determinar a partir de las siguientes expresiones:

$$T_{\text{salida,c}} = T_{\text{entrada,c}} - \frac{1.00 P_c \frac{COP_c - 1}{COP_c}}{C_p \left(\frac{Q}{3.6000} \right)}$$

$$T_{\text{salida,f}} = T_{\text{entrada,f}} + \frac{1.00 P_f \frac{COP_f + 1}{COP_f}}{C_p \left(\frac{Q}{3.6000} \right)}$$

Es decir:

$$T_{\text{salida,c}} = 12 - \frac{1.000 \times 21.8 \frac{5-1}{5}}{4.185 \left(\frac{3.300}{3.600} \right)} = 7.454^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{salida,f}} = 30 + \frac{1.000 \times 17.8 \frac{4+1}{4}}{4.185 \left(\frac{3.300}{3.600} \right)} = 35.8^\circ\text{C}$$

Con lo que las temperaturas máximas y mínimas de entrada son:

$$T_{\min} = \frac{1}{2} (12 + 7.454) = \mathbf{9.727^{\circ}\text{C}}$$

$$T_{\max} = \frac{1}{2} (30 + 35.8) = \mathbf{32.9^{\circ}\text{C}}$$

1.7.5 Flujo de Trabajo

El flujo en las tuberías, para ambos tipos de arreglos; debe ser turbulento dentro del intercambiador geotérmico, es decir en las tuberías enterradas; a fin de aumentar la transferencia de calor de ésta al mismo; a la vez que laminar; fuera de la tierra, a fin de que éste no pierda calor con el ambiente e incluso pueden aislarse las tuberías; similar al caso de los equipos de aire acondicionado.

Se considera que el punto crítico; en el cual un fluido pasa de ser laminar a turbulento; es alrededor de un número de Reynolds (Re) mayor a 3000 ($\text{Re} > 3000$).

En cuanto al flujo de circulación para este tipo de sistemas, se manejan flujos de entre 3-3.5 L/min por kW instalado.

1.7.6 Profundidad para el Arreglo del Tipo Horizontal

Para este tipo de arreglos geométricos, se suele construir zanjas (Trench), a una profundidad de entre 1.2 -2.0 m a partir del nivel del suelo.

Son un tipo de sistemas, donde usualmente se prefiere utilizar una circulación indirecta; de una solución agua-anticongelante, la cual se encuentran fluyendo en condiciones turbulentas para asegurar una correcta transferencia de calor.

Habrá que tomar en cuenta lo siguiente:

1) El circuito de tuberías, se encuentre aislado; y no se ve afectado por las fluctuaciones diurnas de temperatura.

2) En lugares que poseen inviernos marcados, donde las temperaturas alcanzan valores por debajo de a esta profundidad, se garantiza que las tuberías están lejos de las capas de hielo que pudiesen formarse en la superficie; las cuales podrían afectar el desempeño del sistema.

3) A esta profundidad, también se garantiza que el circuito de tuberías; est  lo bastante cerca de la superficie, como para asegurar un flujo de calor adecuado de la superficie a toda la tierra del alrededor; durante la época de verano, lo cual es ideal para volver a calentar el reservorio térmico y así ser éste utilizado en época de invierno; sin que este calor disperso por la superficie llegue a afectar el suministro de enfriamiento durante el verano.

1.7.7  rea de Terreno

Si bien pareciera, que podemos obtener más calor por metro cuadrado; de una zanja de un sistema del tipo slinky, que de una zanja de un sistema de tuberías individuales; la cantidad de calor que puede ser removida de un área delimitada, se encuentra limitado a fin de cuentas por la radiación solar incidente (W/m^2). Considerando lo anterior, de la práctica de otros países se ha obtenido que:

1) Para tuberías individuales, éstas pueden soportar capacidad de instalación entre 15-30 W/m (medido por metro de zanja) y en zanjas paralelas separadas, no menos 1 m de distancia.

2) Para sistemas múltiples en una misma zanja se recomienda una distancia entre 0.9-1.2 m para el arreglo más superficial y para los subsiguientes una distancia ente 1.5 -1.8 m; en cuanto a las capacidades esta varían entre 20 -50 W/m.

3) Para sistemas del tipo slinky en zanjas separadas entre 3-5 m, pueden soportar alrededor de 100 W/m (por metro de zanja); los diámetros de la espirales varía entre 0.6 -1m.

1.7.8 Tipos de Arreglos Verticales

Al igual que para los arreglos horizontales, no existe limitación alguna en cuanto al tipo de geometría del arreglo se refiere. Cada vez se va inventando nuevos tipos de arreglos verticales, que vienen a cumplir principalmente dos objetivos; los cuales son:

1) Minimizar el área requerida.

2) Maximizar la cantidad de calor extraída por arreglo geométrico.

Con el objetivo de minimizar el área requerida, también es posible, incluso; instalar más de un tubo en U, en una misma perforación (Doble U), aunque como es de esperarse el diámetro de la misma deberá ser mayor; a fin de evitar el contacto entre tubos, además; como es de esperarse, al ser un diámetro de perforación mayor; es de considerar

también, que los costos de instalación; de la misma aumentan y también que la introducción de las sondas (Tubos en U) se dificulta considerablemente. Es por ello que los más utilizados son los tubos U, en perforaciones individuales distribuidos mediante algún tipo de arreglo geométrico.

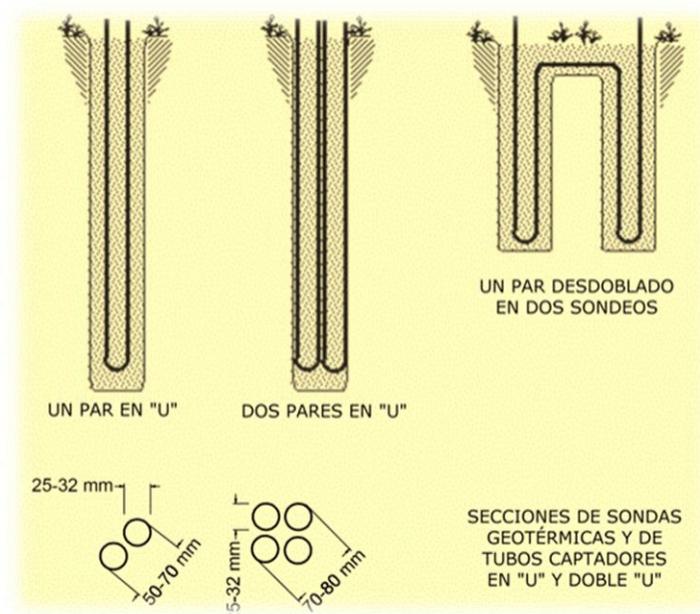


Figura 1-7. Diversos tipos de instalación de tubos captadores verticales.¹¹
Fuente: Geothermal Applications Climate.

En cuanto al espaciado entre perforaciones continuas, para un mismo tipo de arreglo geométrico; como resulta obvio pensar, entre mayor sea el espaciado entre las perforaciones continuas; menor será la interferencia térmica entre ellas, y por ende se esperaría un mejor desempeño de todo el sistema.

¹¹Fuente: Geothermal Applications Climate Master 2006.

Dicho espaciado suele ser de entre 4 –15 m sin embargo, si existe una considerable limitación; en cuanto al área de terreno disponible, se prefiere considerar espaciados de hasta 10 m entre perforaciones continuas.¹²

1.7.9 Acabados de las Perforaciones Verticales

Pueden existir varias razones que desaconsejen la instalación de sistemas horizontales como fuente de alimentación geotérmica de baja entalpia para una bomba de calor. Desde una imposibilidad de disponer de suficiente terreno para extender las tuberías horizontales, pasando por la posible inexistencia de un suelo macizo rocoso, hasta la presencia de mejores condiciones de captación del terreno. Por lo que en estos casos se opta por el arreglo vertical.

El entubado de los sistemas verticales, será necesario en los primeros metros para garantizar su estabilidad ya que se trata de la zona más alterada e inestable. Si se trata de terrenos rocosos, bastara de entubar un par de metros a lo sumo.

Por el contrario, si se perfora en terreno sueltos de poca consistencia al momento de perforar, habrá que asegurar la estabilidad del sondeo por lo cual se deberá trabajar con lodo de perforación que lo mantengan estable.

En cualquier caso, el sondeo, ha de ser rellenado con algún material que permita una fluida transmisión de calor a los tubos captadores que están en su interior y una circulación del agua que pluviométricas; por ello en caso de no existir agua en el sondeo,

¹² Fuente: An Introduction to Thermogeology, Ground Source Heating and Cooling'' de David Banks 2008.

un relleno de grava o arenas permeables es lo más aconsejable para mejorar la conductividad térmica.

1.8 Análisis de la Eficiencia Energética de los Sistemas de Bomba de Calor Geotérmicos.

La energía geotérmica, a pesar de venir siendo utilizada con algunos fines térmicos desde hace siglos, baños turcos, curas balnearias, etc. es una gran desconocida, pero no por ello está carente de un gran potencial. A diferencia de la mayoría de las fuentes de energía renovables, la geotérmica no tiene su origen en la radiación del Sol sino en la diferencia de temperaturas que existe entre el interior de la Tierra y su superficie.

Las ventajas de la energía geotérmica son tanto ambientales como económicas, por lo que es preciso profundizar en su conocimiento y extender sus aplicaciones sobre todo en climatización de edificios, tal como desde hace años se está haciendo en otros países europeos y hoy por hoy se están haciendo estudios como este para la utilización de climatizar edificios a condiciones de ambientes tropicales como nuestro país.

Según el departamento de energía de los Estados Unidos (DOE), el coeficiente de eficacia energética (EER); para sistemas GSHP del tipo lazo abierto es de $EER=16.2$, y con un coeficiente de desempeño para calefacción alrededor de $COP_{CALEFACCION}=3.6$ estos son los valores mínimos recomendados.

En el caso de los Sistemas GSHP del tipo lazo cerrado, recomienda un EER=14.1 y $COP_{CALEFACCION}=3.3$ habiendo equipo de éste tipo; de EER hasta de 25.8 y $COP_{CALEFACCION}$ de 4.9.

A continuación se presenta un resumen de dicha información:

Tabla 1.3. Eficiencias de los sistemas geotérmicos de lazo abierto y cerrado.¹³

Fuente: <http://www.eere.energy.gov/>

EFICIENCIAS RECOMENDADAS				
TIPO	RECOMENDADA		OPTIMO	
	EER	COP	EER	COP
LAZO CERRADO	14.1	3.3	25.8	4.9
LAZO ABIERTO	16.2	3.6	31.1	5.5

La alta eficiencia de los sistemas GSHP, se debe al hecho de que las temperaturas bajo tierra; son más estables que las del exterior, tanto en época de invierno, como en verano. Como consecuencia un sistema GSHP; puede proporcionar más calor a lo largo del invierno con el uso de mucho menos energía, que la requerida por una bomba de calor tradicional. Por otra parte, para época de verano; la temperatura subterránea, se mantiene más fría y constante a lo largo del año, lo cual beneficia el rendimiento de dichos sistemas.

¹³Fuente: (<http://www.eere.energy.gov/>, Junio 2010)

1.9 Análisis de las Bombas de Calor Geotérmicas en Climas Tropicales.

Para el análisis de las bombas de calor geotérmicas en climas tropicales como el de nuestro país, según las investigaciones realizadas hasta la fecha son muy limitadas; ya que esta tecnología ha sido utilizada normalmente en países europeos y Estados Unidos donde el clima es mucho más crudo que en nuestro país de modo tal se da la utilización de los tres modos que anteriormente mencionamos que son: modo de descongelación, modo enfriamiento, modo calefacción.

Para nuestro estudio y como sabemos de nuestras condiciones de medio ambiente de la zona oriental; específicamente la ciudad de San Miguel, este tipo de tecnología nos interesa nada más el modo enfriamiento, mediante los cuales se realizara un análisis de un sistema de bombas de calor geotérmicas del tipo vertical, en base a simulaciones de eficiencia energética, y económica; mediante el uso de software a fin de determinar si estos resultan ser factibles, para su aplicación en el acondicionamiento de espacios en El Salvador; específicamente al edificio de la Biblioteca de la Facultad Multidisciplinaria Oriental de la Universidad de El Salvador, por lo que se espera aportar información útil que pueda incentivar a más personas e instituciones y estudiantes a fines a estas áreas; a estudiar el desempeño de dichos sistemas en climas tropicales, a fin de ampliar la información disponible actualmente.

De tal manera para respaldar nuestro análisis resulta obvio pensar en el análisis del desempeño de una máquina térmica de Carnot; que se presentó anteriormente ; que entre

menor sea la temperatura exterior; es decir la del medio al cual rechaza calor, el sistema; el esfuerzo que tiene que hacer el compresor es menor; es decir el consumo energético se ve reducido; ya que a medida que el diferencial de temperaturas (T), entre el foco emisor y receptor de calor es menor; el coeficiente de rendimiento COP será mayor.

También conociendo, que la tierra al poseer una gran superficie (una gran masa); puede mantener una temperatura prácticamente constante, a lo largo de todo el año; a determinadas profundidades, sin importar las condiciones climáticas exteriores; resulta lógico pensar, que al no ser el aire exterior; el foco, con el cual se intercambia el calor, donde nuestro país alcanza fácilmente temperaturas exteriores entre 30°C a 37°C y en ocasiones han alcanzado hasta los 40°C en la zona oriental del país, según las bases de datos q se posee del comportamiento de temperatura de la zona oriental.

Por lo que con esto se esperar comprobar y determinar el comportamiento que un aire acondicionado tradicional y la reducción o ahorro considerable de energía.

1.10 Instalaciones a Nivel Mundial con Sistemas Geotérmicos.

A) Centro de control aéreo del aeropuerto de Frankfurt, Alemania

Este centro tiene 57,800 m² de espacio donde laboran 1200 empleados. Su sistema de BCG consiste de 154 pozos divididos en 2 campos de pozos de 70 m de profundidad con una temperatura de 4°C, y su capacidad es de 340 kW para A/C y 330 kW para calefacción. Las BCG se usan para calefacción, mientras que el agua del subsuelo se usa directamente del pozo para enfriamiento. Las demandas pico se complementan con otras

fuentes de energía. El sistema tiene ahorros por concepto de energía de 200,000 USD/año.

B) Ball State University, de Muncie, Indiana, EUA

Esta aplicación está en construcción y su capacidad estimada es de 5 mil toneladas para enfriamiento, A/C y calefacción. La instalación consta de más de 40 edificios, dos áreas con 4000 pozos de 122 m de profundidad, tiene un costo total estimado de \$65-70 millones USD y permitirá ahorros operacionales por 2 millones de USD/año. Asimismo, reducirá las emisiones de gases de invernadero en un 50%, equivalentes a 80 mil toneladas de carbón al año.

C) Estación Pacífico del metro de Madrid

En esta estación funciona un sistema de BCG para climatizar 1090 m² (A/C y calefacción) de los andenes de la línea 1 del metro madrileño, los cuartos técnicos y los locales comerciales. La inversión fue de 700,000 €, y permite ahorros de energía de 50 a 75% y una reducción de 50% en las emisiones de CO₂.

1.11 Impacto Medio Ambiental y Social de los Sistemas Geotérmicos GSHP.

En general, las bombas de calor geotérmicas tienen **beneficios económicos** porque permiten ahorrar dinero a lo largo de su vida útil; **beneficios tecnológicos** porque representan una tecnología probada que se usa en 43 países para confort en todo tipo de edificios, con una vida útil es de 25 años para la bomba de calor propiamente dicha y de

50 años para el circuito de conexión a tierra; **beneficios energéticos** porque permiten ahorros de 33 a 75% de energía y reducen la demanda de electricidad, contribuyendo a la seguridad energética nacional; **beneficios ambientales** porque reducen la emisión de gases de invernadero entre 33 y 75% al usar menos electricidad y evitar el uso de combustibles fósiles; y **beneficios sociales** porque mejoran la calidad de vida de todos los involucrados con la construcción, el uso y el mantenimiento de la instalación, y por la creación de empleos.

De hecho, las bombas de calor geotérmicas constituyen la mejor tecnología disponible para calefacción y aire acondicionado: su potencial impacto ambiental benéfico se ha estimado en que pueden evitar 1.2 billones de toneladas de CO₂ por año, que equivalen a un 6% de la emisión global de CO₂.¹⁴

Cabe mencionar que el impacto ambiental de los sistemas geotérmicos, tomando en cuenta los aspectos del lugar de estudio; podemos mencionar que debido a su disponibilidad de terreno y por el impacto visual que puede ocasionar un circuito de tuberías horizontales, se optó a desarrollar el circuito vertical; ya que por consideraciones de diseño son recomendables ejecutarlos en lugares de zona urbana, para gran demanda, y mejores capacidades y operación de los equipos.

¹⁴ Según Fridleifsson *et al.*, 2008.

CAPTULO 2.0 CONDICIONES AMBIENTALES Y GEOLOGICAS DE LA ZONA ORIENTAL DE EL SALVADOR.

2.1 Condiciones Climáticas y Ubicación del Estudio.

La ciudad de San miguel, en el departamento de San Miguel de la República de El Salvador, está limitado de la siguiente forma: al norte, por la República de Honduras; al este, por los departamentos de Morazán y La Unión; al sur, por el océano pacifico y el departamento de Usulután, al oeste por los departamentos de Usulután, San Vicente y Cabañas. Se localiza entre las coordenadas geográficas siguientes: 13°55'04"LN (extremo septentrional); 13°09'58" LN (extremo meridional); 88°01'10" LWG (extremo oriental) y 88°31'44" LWG (extremo occidental). Nuestra área de estudio está enfocada a la Ciudad de San Miguel, la cual está dentro del Municipio. Dicha cabecera departamental y municipal fue fundada el 8 de mayo de 1,530 por el capitán don Luis de Moscoso.

Está limitada como se puede ver en el mapa de ubicación por los cantones siguientes: al norte por el cantón El Sitio; al nororiente por el cantón El Zamorán; al oriente por el cantón Hato Nuevo, Las Delicias; al sur por El Papalón y El Jute; al sur poniente por Las Lomitas y al poniente, por los cantones Jalacatal, El Amate, San Andrés y El Volcán. La Ciudad de San Miguel, está situada en la sub cuenca del Río Grande de San Miguel, la cual abarca una superficie aproximada de 2,050 Km².

La ciudad se ubica al noreste del volcán Chaparrastique y a 132.5 Km. al oriente de la ciudad de San Salvador. El municipio mide 593.98 Km² y su perímetro es de 105 Km., contando este con un área rural de 560.1 Km² y un área urbana de 33.88 Km²; dicha área urbana será nuestro límite de estudio para la propuesta para el desarrollo estratégico de la protección de aguas subterráneas y caracterización de acuíferos de la ciudad de San Miguel.

El clima típico de El Salvador, es el clima tropical seco y húmedo; con dos estaciones climáticas bien marcadas; una lluviosa, entre Mayo y Octubre, y otra seca, entre Noviembre y Abril. No obstante, debido a la gran vegetación con la que cuenta el país, se provocan zonas climáticas más suaves que las del clima zonal; en la meseta interior, es decir donde vive la mayor parte de la población el clima es más templado; que en otras zonas poco habitadas.

De acuerdo con la altitud sobre el nivel del mar, existe en el departamento los siguientes tipos de clima: de 0 a 800.0 metros, sabanas tropicales calientes o tierra caliente, clima que abarca la mayor parte del territorio migueleño, de 800 a 1,200 metros, clima tropical caluroso o tierra templada, estos climas pueden observarse en la parte central del departamento ya que en esta zona se encuentran los volcanes de San Miguel o Chaparrastique y de Chinameca; de 1,800 a 2,700 metros clima tropical de altura o tierra fría. El monto pluvial anual oscila entre 1,400 a 2,000 milímetros.

2.1.1 Zonas Térmicas.

De acuerdo con la altura sobre el nivel del mar se pueden notar las siguientes zonas térmicas:

De 0 – 800 m.s.n.m. Sabana Tropical Caliente, clima que abarca la mayor parte del territorio migueleño.

800 – 1200 m.s.n.m. Clima tropical caluroso o de tierra templada; estos climas pueden observarse en la parte central del departamento, ya que en esta zona se encuentran las cordilleras que comprenden los volcanes de Tecapa y Chinameca. Volcán de San Miguel de 1300 a 2700 m.s.n.m. Clima tropical de altura o tierra fría.

La Ciudad de San Miguel se encuentra a una altura promedio de 110 m.s.n.m. Como todo el país, el clima en la zona de estudio pertenece a la región climática de los trópicos semihúmedos y clasificados como Sabana Tropical o Tierra Caliente¹⁵.

2.2 Condiciones Geológicas del Estudio

2.2.1 Definición

La geología es la ciencia que estudia la composición, estructura y evolución de la tierra a lo largo de los tiempos geológicos.

¹⁵ (Clasificación climatológica según Koppen, Almanaque Salvadoreño 2003, División de Meteorología e Hidrología del SNET.)

Quizás, nos podríamos preguntar por qué nos interesa en este estudio conocer un poco acerca de las condiciones geológicas de El Salvador así también sin olvidar el lugar de estudio como lo es la zona oriental del país; la respuesta a esta pregunta, es que los sistemas de bombas de calor geotérmicos, al ser un sistema que está en contacto directo con la tierra; pues es en ésta donde se está rechazando/absorbiendo calor (depende si se está enfriando/calentando un espacio habitado); es de suma importancia conocer qué tipo de tierra posee el lugar en estudio, pues dependiendo del tipo de tierra; la eficiencia del sistema varía, ya que cada tipo de tierra; posee una capacidad específica de transmitir calor; es decir su conductividad térmica varía.

Además, a la hora del diseño de un sistema de este tipo (GSHP); el tipo de tierra del lugar en estudio, así como sus propiedades térmicas; es un parámetro de entrada que es requerido; por la mayoría de los programas de simulación energética, que son capaces de simular dichos sistemas.

2.2.2 Generalidades

Geológicamente hablando El Salvador es un país extremadamente joven. Una cuarta parte del territorio nacional es de edad pleistocénica y tres cuartas partes están cubiertas por rocas de edad terciaria, predominando la época pliocénica. Por eso, las capas de edad cretácica, que cubren aproximadamente un 5% del territorio salvadoreño no juegan un papel importante para la constitución geológica total de la República. Solamente estas últimas capas son de origen sedimentario marino, todas las demás rocas, con pocas

excepciones, están originadas por fenómenos volcánicos. En otros lugares se conocen además rocas intrusivas que pertenecen a la época miocénica, es decir también son terciarias¹⁶.

2.2.3 Elementos Geológicos de la Zona de Estudio.

Para nuestra investigación, únicamente nos interesa tener una idea de qué tipo de suelo existen en la zona oriental del país, siendo más específico al lugar de estudio que es la zona del departamento de san miguel; a fin de poder determinar la conductividad térmica del suelo, ya que para esta investigación no es considerado hacer pruebas de campo de estudio de suelos; debido al tiempo y falta de equipo.

Por lo que nos basaremos en los estudios recientes de personas experta, así también respaldarnos de la información del centro de servicio nacional de estudios territoriales SNET. Por lo que a continuación se describe brevemente de los tipos de suelos que conforma el departamento de san miguel.

En el municipio de San Miguel se distinguen dos formaciones geológicas bien diferenciadas como se puede apreciar en el mapa de formaciones, las formaciones de: San Salvador y Cuscatlán. La formación Cuscatlán la cual es la más antigua, de la edad pliocénica, formada por estratos de tobas de granulometría fina a gruesa, alternando con algunos flujos de lavas andesíticas y lavas basálticas las cuales afloran al norte, nororiente y oriente de la ciudad de San Miguel.

¹⁶ Fuente:<http://www.snet.gob.sv/ver/geologia/geologia+de+el+salvador/>

La formación San Salvador, la más reciente, cuya edad va del pleistoceno hasta el cuaternario reciente, está constituida por Piroclástos sueltos intercalados con flujos de lavas, los que se han originado como consecuencia de las erupciones del Volcán Chaparrastique. Todos estos materiales afloran al poniente, norponiente y sur poniente de la Ciudad de San Miguel, desde el cono del Volcán de San Miguel.

2.3 Tipos de Suelos Ciudad de San Miguel

Los tipos de suelo predominante en el municipio de San Miguel de acuerdo al mapa pedológico lo representan:

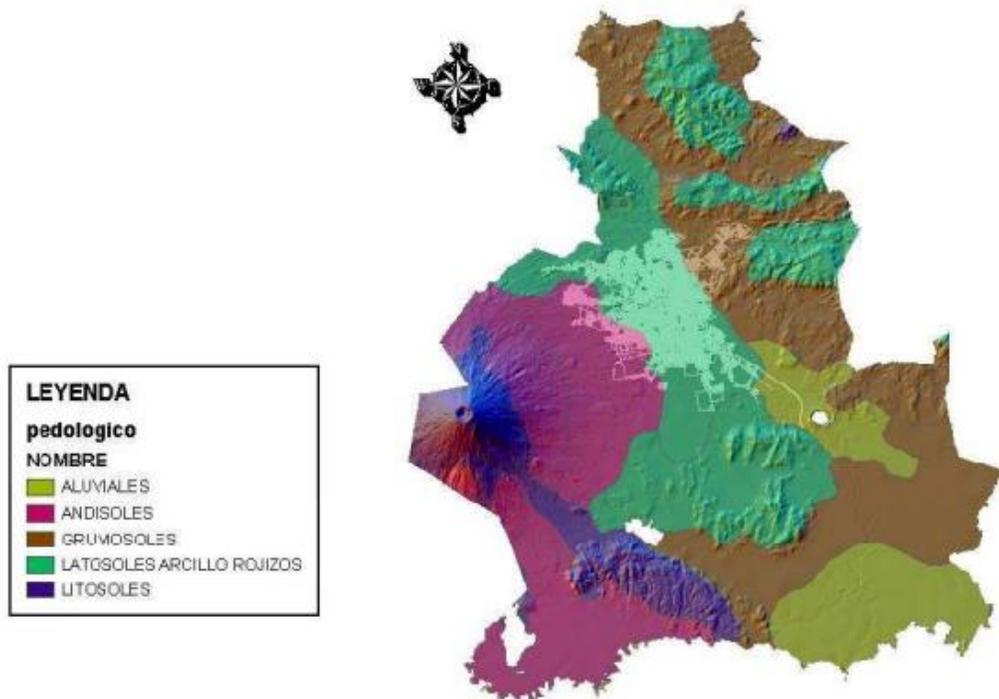


Figura 2-1. Tipos de suelos del municipio de San Miguel.

2.3.1 Latosol Arcillo Rojizo, (llamado Alfisoles y Molisoles)

Estos suelos cubren la mayor extensión dentro de la Ciudad de San Miguel; como su nombre lo indica se reconocen por su color rojo con algunas variaciones en su tonalidad y por su textura arcillosa. Cuando han estado algo protegidos de la erosión, poseen un horizonte superficial de color café rojizo oscuro, de poco espesor (20 cms), y poseen textura franco-arcillosa con estructura de bloque pequeños, descansando sobre subsuelos rojizos o café rojizos, de textura arcillosa, con estructura fuerte en bloques o prismática de tamaño grande.

2.3.2 Andisoles (llamados Andepts)

Ubicados al poniente de la ciudad en las faldas del volcán de San Miguel. Estos suelos se han desarrollado de materiales piroclásticos (cenizas volcánicas). Se encuentran en la región del volcanismo reciente, principalmente en las faldas y tierras altas de los volcanes y macizos volcánicos. Además, éstos poseen un horizonte superficial con alto contenido de materia orgánica; en algunos casos pueden mostrar horizontes en el subsuelo con desarrollo incipiente, de color pardo rojizo y textura más fina. Tienen características muy particulares como alta capacidad de retención de humedad, baja densidad, sensación jabonosa o de talco al tacto.

2.3.3 Suelos esqueléticos o Litosoles

Que se localizan en la parte alta del volcán de San Miguel; estos en muchos casos son suelos que han estado sujetos a severa erosión. También comprende esta clase aquellas áreas en las cuales los suelos inician su formación, a partir de la desintegración o intemperización de la roca.

2.3.4 Grumosoles, (llamados también Vertisoles)

Son encontrados en menor cantidad al nor-orientado de la Ciudad. Estos son suelos arcillosos muy pesados, muy plásticos y muy pegajosos cuando están mojados y muy duros cuando están secos. Tienen gran poder de expansión cuando se humedecen y de gran contracción cuando se secan, condición que provoca la rajadura de los mismos. Son de color negro en la superficie y grises en el subsuelo. A pesar de su color oscuro son de moderado contenido de materia orgánica que se supondría alta, debido a su color, pero esto es debido a una interacción de arcilla humus o una formación orgánico mineral.

Dada esta información de los diferentes suelos que conforman la zona de estudio del departamento de San Miguel, es de recordar que lo que nos interesa en esta investigación es el tipo de suelo, y la conductividad térmica, ya que de esta propiedad dependerá que tanto calor pueda intercambiar el sistema de bomba de calor geotérmica con la tierra.

Es de mencionar que la propiedad térmica, es un parámetro indispensable de entrada para la simulación pertinente de eficiencia energética en cualquier software comercial que se utilice.

Para la realización de esta investigación, como ya se mencionó, no se llevaron a cabo estudios de suelos, sino que parte del estudio, se realizó mediante investigación bibliográfica e información organismo gubernamental de SNET.

2.4 Propiedades Térmicas del Suelo.

2.4.1 Conductividad Térmica

La conductividad térmica es una propiedad característica de cada material que indica su capacidad para conducir calor. Se puede expresar según la ley de Fourier como el calor que atraviesa en la dirección x un espesor de 1 m del material como consecuencia de una diferencia de 1 grado entre los extremos opuestos. Se expresa en $W/m^{\circ}C$ o W/mK .

Para los materiales usuales en el terreno existen estudios que demuestran que la conductividad térmica aumenta normalmente con el grado de humedad del mismo hasta alcanzar los valores de conductividad correspondientes a un terreno saturado, si bien no es fácil establecer la dependencia entre ambos factores con carácter general.

Algunos de los valores más usuales para la conductividad térmica de acuerdo al tipo de terreno se recogen en la tabla 2.1.

El cálculo de la conductividad térmica para el diseño de un sistema de bomba de calor geotérmica se puede estimar a partir de tablas, medir en laboratorio mediante pruebas de conductividad sobre parte de terreno recogido o determinar realizando un test de respuesta térmica del suelo (Thermal Response Test, TRT).

2.4.2 Capacidad Térmica

Se denomina capacidad térmica o calorífica al cociente entre el calor que se suministra a un sistema y la variación de temperatura provocada.

La capacidad térmica del terreno expresa el calor que es capaz de almacenar un volumen de terreno al incrementarse su temperatura, de ahí que se denomine “capacidad” a esta magnitud, pero también de la oposición a dicho cambio de temperatura en la medida en que cuanto mayor sea la capacidad térmica mayor habrá de ser el calor suministrado para lograr la misma variación de temperatura pudiendo hablarse así de cierta “inercia térmica”. Sus unidades son $J/m^3\text{°K}$.

2.4.3 Difusividad

La difusividad térmica se define como el ratio entre la capacidad de conducción del terreno y la capacidad térmica del terreno. Se mide en m^2/s . El rango de valores para la difusividad térmica, de acuerdo con los trabajos de Labs y Harrington (1982), va desde $0,36 \cdot 10^{-6} m^2/s$ hasta $0,8 \cdot 10^{-6} m^2/s$, según sea el suelo seco o húmedo, mientras que

Givoni y Katz seleccionaron como valores límites $0,4 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ para suelo seco y $1,08 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ para suelo húmedo.

Tabla 2.1: Valores de conductividad y capacidad térmica para distintos tipos de materiales

	Thermal conductivity ($\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$)	Volumetric heat capacity ($\text{MJ m}^{-3} \text{K}^{-1}$)
Rocks and sediments		
Coal	0.3	1.8
Limestone	1.5–3.0 (2.8, massive limestone)	1.9–2.4 (2.3)
Shale	1.5–3.5 (2.1)	2.3
Wet clay	0.9–2.2 (1.6)	2.4
Basalt	1.3–2.3 (1.7)	2.4–2.6
Diorite	1.7–3.0 (2.6)	2.9–3.3
Sandstone	2.0–6.5 (2.3)	2.0–2.1
Gneiss	2.5–4.5 (2.9)	2.1–2.6 (2.1)
Arkose	2.3–3.7 (2.9)	2.0
Granite	3.0–4.0 (3.4)	1.6–3.1 (2.4)
Quartzite	5.5–7.5 (6.0)	1.9–2.7 (2.1)

Fuente: Banks, David. 2008. *An Introduction To Thermogeology, Ground Source Heating And Cooling*. (Blackwell Publishing ed.). Newcastle-upon-Tyne, Reino Unido (UK) : s.n., 2008.

2.5 Datos Climáticos a Utilizar en la Simulación.

2.5.1 Generalidades

Esta parte de la investigación se llevara a cabo teniendo la información necesaria y registros de una base de datos climáticos de la zona oriental o lugar de estudio, para tal es el caso del departamento de San Miguel principalmente; aquellos datos correspondiente a temperaturas exterior, temperatura de la tierra, velocidades del viento, humedad relativa y radiación solar de la zona.

Para tal efecto se ha hecho valer de la información climática de la unidad meteorológica instalada al interior de la Facultad Multidisciplinaria Oriental de la Universidad de El Salvador en la ciudad de San Miguel.

Algo importante que hay que mencionar es que los programas de simulación de eficiencia energética utilizan una base de datos obtenida del departamento de energía de los Estados Unidos por su siglas DOE, el cual puedes ser obtenida de (<http://www.eere.energy.gov/>) es el caso de estación meteorológica de Acajutla e Ilopango.

Una manera de estar seguro en la investigación que se realiza, es de que no exista mucha variación en cuanto a la base de datos del lugar de estudio tal es el caso de la información que las autoridades del Centro Nacional de Estudios Territoriales SNET nos proporcionó y la obtenida por el departamento de energía de Estados Unidos, que no sobrepase un error de 5 a 7% para así determinar de la utilización de la base de datos que los programas de simulación requieren y así llevar a cabo el análisis.

Un dato de análisis que más importancia tiene en nuestra investigación es por ahora la temperatura de la tierra.

El análisis que se tomó para tener en cuenta la temperatura promedio de la tierra de la zona oriental del país, se mantiene alrededor de $(30^{\circ}\text{C}/\text{km}$, o sea $0.3^{\circ}\text{C}/\text{m}$)¹⁷.

¹⁷ Fuente: LAGEO en estudios correspondiente a perforaciones de pozos geotérmicos en Chinameca departamento de San Miguel.

Por lo que este valor es el que será utilizado como temperatura de la tierra bajo condición de no perturbación, ya que es un parámetro de entrada requerido para el diseño de un sistema de bomba de calor geotérmica de baja entalpia; por cualquier software de simulación de eficiencia energética que se vaya a utilizar.

2.5.2 Conclusiones de Datos Climáticos de la Zona de Estudio

Mediante la investigación bibliográfica y consulta con instituciones afines al proyecto, se ha podido obtener que para este correspondiente año 2013 hasta el momento del mes de agosto la temperatura promedio máxima absoluta fue el mes de marzo con un valor de 41.1°C y que los valores alcanzados durante los otros meses de enero a agosto oscilan en 39.4°C.

Para el caso de análisis de la humedad relativa se determinó que esta fue máxima en el mes de junio con 81% de humedad relativa.

El análisis de velocidad de viento, se pudo observar mediante la información proporcionada que los vientos predominantes en la zona oriental en el periodo de enero a agosto del correspondiente año 2013 fueron de 1.3 en escala Beaufort de Norte y Noreste.

En cuanto a la radiación solar incidente, se observa que esta es máxima; como es de esperarse al mediodía, ya que en ese momento el sol alcanza su punto más alto.

Aunque en manera de cuantificar el valor de la radiación solar en la zona de estudio es de aproximadamente de $(5.0 \text{ Kw/m}^2/\text{día})^{18}$ ver Figura 2-2.

Es importante mencionar que los valores acá mencionados son parte de la investigación bibliográfica y de la base de datos de la estación meteorológica ubicada en la zona de estudio, mientras que en los programas de simulación de eficiencia energética bastara con introducir los valores de la base de datos analizada por el departamento de energía de los Estados Unidos.



Figura 2-2. Mapa de Radiación Solar en El Salvador.
Fuente: El potencial de América Latina con referencia a las energías renovables. Diciembre 2009.

¹⁸ El potencial de América Latina con referencia a las energías renovables. Diciembre 2009.

CAPITULO 3.0 ANÁLISIS AL CASO DE ESTUDIO DEL SISTEMA GEOTÉRMICO GSHP.

3.1 Planteamiento del Problema al caso de Estudio de Sistema Geotérmico a Edificio de Biblioteca de la Facultad Multidisciplinaria Oriental de Universidad de El Salvador.

Para iniciar el estudio de comportamiento de un sistema geotérmico de bombas de calor y comparar los resultados de la simulación con el comportamiento de los equipos de aire acondicionado tradicional que actualmente tiene el edificio y comparar los resultados de desempeño y de consumo, se utilizara el edificio de la Biblioteca de la Facultad Multidisciplinaria Oriental de la Universidad de El Salvador. Dicho edificio es utilizado como oficinas de autoridades de la facultad, centros de cómputos, oficinas, biblioteca, salas de conferencias etc.

Para describir mejor las instalaciones, se presentara una serie de especificaciones técnicas, obtenidas del trabajo de campo, investigaciones y entrevistas con autoridades realizado a dicho edificio; las cuales serán de gran valor para la utilización de la simulación que se llevara a cabo más adelante. La información que se presenta en este trabajo de graduación, ha sido recopilada, y con ayuda de departamentos internos de la universidad, el cual ha sido de llevar ciertas entrevistas y correspondencias para que puedan ser autorizadas y obtener toda la información requerida.

Se recomienda ver con más detalles los anexos posteriores, el cual será adjuntada al final del documento.



Fotografía 3.1 Entrada Principal de Edificio Biblioteca de FMO-UES.



Fotografía 3.2 Edificio de estudio, biblioteca de la Facultad Multidisciplinaria de Oriente UES.

3.2 Descripción de la Instalación.

La Facultad Multidisciplinaria de Oriente de la Universidad de El Salvador se localiza en el km 144 carretera San Miguel- Cantón El Delirio de la Ciudad de San Miguel.

Cabe mencionar que el edificio de la Biblioteca de la Facultad Multidisciplinaria de Oriente UES, es utilizado por personas de todas las carreras que ofrece la Facultad y consta de dos niveles, con un área de construcción de 2048 m² según los planos arquitectónicos de la Facultad.

Para comprender mejor las zonas o lugares que comprende el edificio, se presentara una serie de tablas correspondiente a cada sección del edificio de estudio de esta investigación, así como también una serie de fotografías y planos arquitectónicos; a fin de ilustrar de mejor manera de lo que está estableciendo en este documento.

3.3 Orientación del Edificio de Estudio.



Figura 3.1 Vista Aérea del edificio de la Biblioteca de FMO-UES. Google Earth.

El edificio de la biblioteca, está orientado $13^{\circ} 26'25.24''N$ Y $88^{\circ}09'30.13''O$ según el software google earth.

Para describir de una manera general el edificio, vale tener una posición franca, el edificio consta de una entrada principal al Norte, el cual sirve de acceso y salida al edificio y son de vidrio común y marco de aluminio.

Todas las paredes del edificio están hechas de bloques tipo saltex y en cuanto a sus divisiones internas del edificio fueron estructurada de tabla roca, así como también en sus dos niveles posee cielo falso.

Con respecto a su techo del edificio cuenta con un tragaluz, que ayuda a disipar el calor y mantener fresca las instalaciones según sea la velocidad del viento en la zona, y en ciertas áreas u oficinas ayuda a no depender del uso de las lámparas eléctricas gracias al aporte de la luz solar del día.

También hay que mencionar el material que compone el techo es de lámina galvanizada sin aislamiento.



Fotografía 3.3 Tragaluz de techo de edificio de la Biblioteca FMO-UES.

El edificio cuenta con ventanas a lo largo de sus fachadas, todas sus ventanas son de vidrio sencillo y con marco de aluminio, referirse a los planos arquitectónicos para tomar nota sobre las medidas.

3.4 Sistemas de Aire Acondicionado y Controles de la Instalación

El edificio de la Biblioteca de la Facultad Multidisciplinaria de Oriente de la Universidad de El Salvador, cuenta con diversas áreas acondicionadas en sus dos niveles que le componen; el cual poseen equipos de techo tipo Split y, estas zonas son:

- Unidad de Proyectos
- Administración Financiera
- Desarrollo Físico
- Unidad de Post Grado
- Administración General
- Sala de reuniones de Decano
- Oficina de Vice Decano
- Secretaria
- Administración General Recursos Humanos
- Centro de Computo
- Sala de Internet
- Área de reparación y mantenimiento de equipos
- Procesos técnicos
- Jefatura Biblioteca
- Sala de conferencias

El cual se detallan a continuación a partir de los planos arquitectónicos de la Biblioteca de la Facultad Multidisciplinaria Oriental de la Universidad de El Salvador, y que se podrán encontrar al final de este documento de una manera más clara.

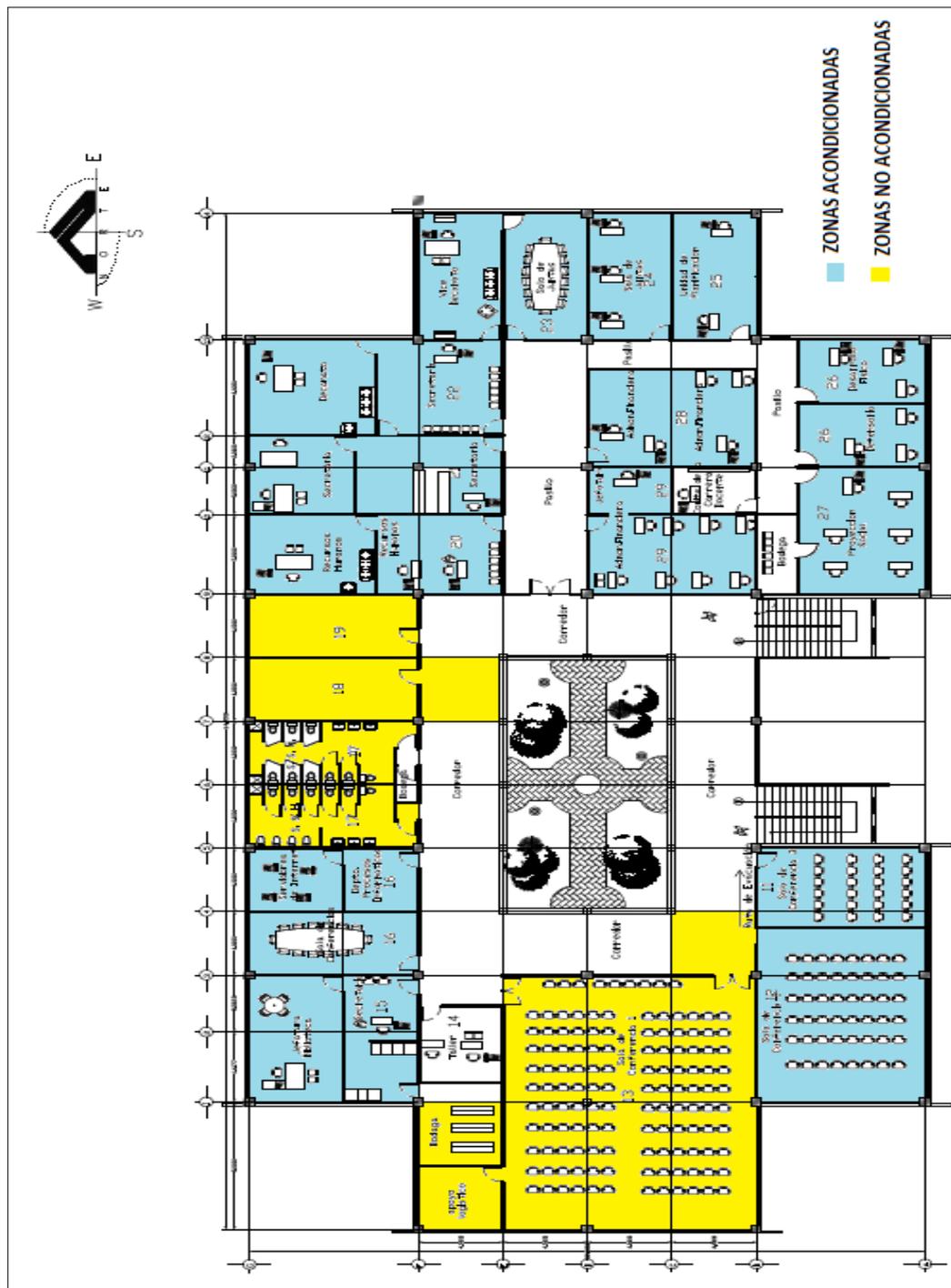


Figura 3.3 Planta Arquitectónica de Segundo Nivel de Biblioteca FMO UES y áreas acondicionadas.



Fotografía 3.4 Sala de Internet de la biblioteca de FMO-UES.

Tabla 3.1 Información de los equipos existentes de AC.

CAPACIDAD DEL EQUIPO	CANTIDAD
5 TON	8
4 TON	8
2 TON	11
SPLIT	2

La temperatura del termostato de los sistemas de aire acondicionado que posee el edificio actualmente, por lo general se mantienen a 75°F es decir 24°C.

Los datos de placa correspondiente a los equipos, podemos verlos en la siguiente tabla 3.2.

Tabla 3.2 Información General de los equipos de AC del edificio de biblioteca de FMO-UES.

Tipo de equipo	Unidad Condensadora
MARCA	YORK
VOLTAJE	240 V
REFRIGERANTE	R22
PRESION DE ALTA	350 PSI
PRESION DE BAJA	300 PSI
I MOTOR	1.7 Amp

Cabe mencionar que todos los equipos de aire acondicionado son marca York en diferentes capacidades que van desde las 2 toneladas a 5 toneladas, el cual condicionan los espacios que anteriormente se mencionó.



Fotografía 3.5 Unidades condensadora de los equipos A/C de oficinas de Decanato y Sala de Reuniones.

3.5 Sistemas de Luminarias, y Horarios de Ocupación.

Todas las zonas que componen el edificio de la biblioteca de la facultad multidisciplinaria de oriente, baños, pasillos, oficinas cuentan con luminarias fluorescentes de tipo F32T86500K de marca Sylvania.

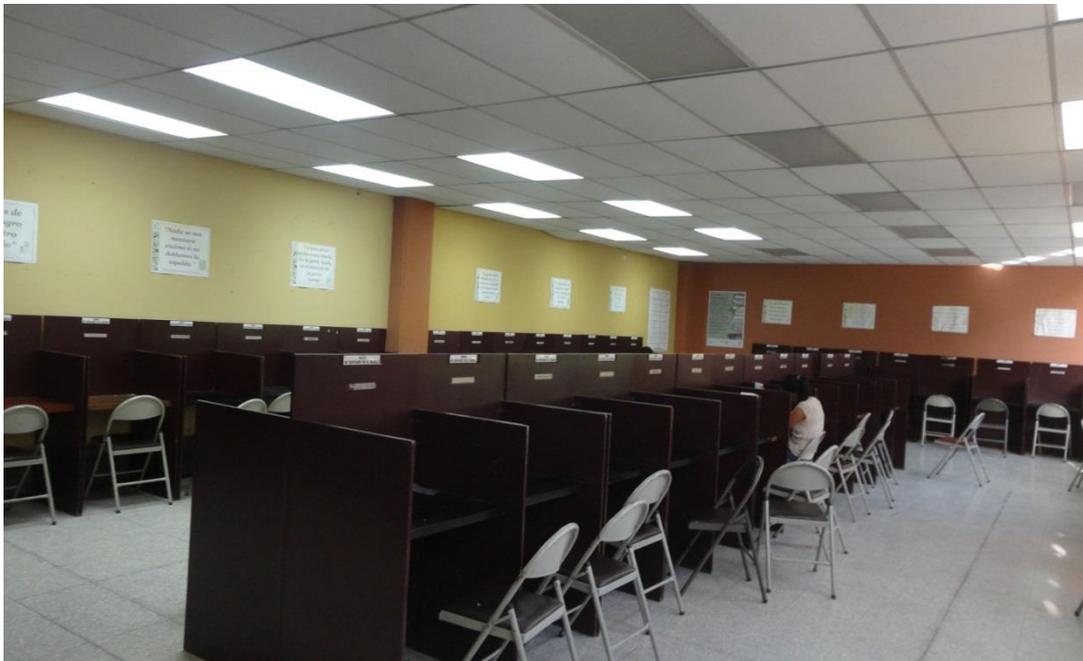


Fotografía 3.6 Lámpara Fluorescente 3x32 W con las que cuenta el edificio de Biblioteca.

En cuanto al equipo eléctrico, con el cual cuentan algunas zonas u oficinas de dicho edificio; en su mayoría es equipo de oficina; entre el cual podemos mencionar: computadoras, impresoras, teléfonos, ventiladores, cafeteras, dispensadores de agua.



Fotografía 3.7 Sala de Lectura Colectiva de edificio de la Biblioteca FMO-UES.



Fotografía 3.8 Sala de Lectura.

El horario de uso de las instalaciones es de 7:00 am a 6:00 pm el cual varía de acuerdo a los horarios de clases impartidas durante el año.

Podemos mencionar o clasificarla en dos temporadas, y nos valdremos del año lectivo 2013, el cual es el año el cual se está realizando la investigación.

- Temporada alta: febrero-junio, julio-noviembre
- Temporada baja: enero, agosto, diciembre.

Ya que en la simulación se consideraran los días festivos del año y según el acuerdo del Consejo Superior Universitario de la Universidad de El Salvador que aprueba el calendario académico del año lectivo 2013.

Tabla 3.3 Días festivos, calendario de actividades de la UES 2013.

MES	DIA
Enero	1-15
Febrero	16
Marzo	24-31
Abril	1
Mayo	1
Junio	-
Julio	-
Agosto	1-6
Septiembre	15
Octubre	-
Noviembre	2
Diciembre	15-31

3.6 Consumo de Energía Eléctrica y Tarifas de Servicio Eléctrico de la Instalación.

Habría que mencionar que el servicio de energía eléctrica del edificio de la Biblioteca de la facultad multidisciplinaria de oriente de la Universidad de El Salvador es igual al servicio a nivel de facultad; la empresa encargada de suministrar el servicio está a cargo de la Empresa Eléctrica de Oriente EEO.

Un dato muy importante que mencionar es que la potencia eléctrica de la facultad multidisciplinaria de oriente es mayor de 50 kw por lo que se considera cliente de mayor demanda¹⁹.

Tabla 3.4 Tarifas de servicio eléctrico de EEO.

CARGO	VALOR
Cargo de Comercialización(\$/mes)	13.884105
CARGO DE ENERGIA	
Punta (\$/Kwh)	0.179798
Resto (\$/Kwh)	0.180523
Valle (\$/Kwh)	0.173721
Cargo de Distribución\$/kw-mes	17.314987

¹⁹ Según el pliego tarifario de la SIGET vigente del 15 de octubre 2013.

Debido a que el edificio no cuenta con medidor de consumo eléctrico independiente, no es posible hacer un análisis de facturas; para poder conocer el consumo real del mismo; a fin de poder construir un modelo confiable.

Por lo que para este caso haremos uso de análisis de todas las cargas que el edificio contiene en sus dos niveles, con el fin de determinar el consumo real en kwh y consumo de energía eléctrica del edificio a través de una visita de campo al edificio que se está analizando.

Por lo que por medio de plantillas de programa Excel se pudo determinar lo siguiente:

Tabla 3.5 Hoja de Cálculo de Kwh en Excel de todas las cargas que compone el Edificio de Biblioteca.

Registro y cálculo del consumo de electricidad								
Nombre:		EDIFICIO DE BIBLIOTECA DE FMO UES						
Objeto de medición:		CONSUMO KWH						
Lugar/ubicación:		SAN MIGUEL						
①	CARGA	N° of Carga ②	Potencia (W) ③	Factor de demanda ④	Horas de funcionamiento por semana			Wh por semana ②x③x④ x⑦
					Horas por día ⑤	Días de uso X semana ⑥	Horas por semana ⑤x⑥ ⑦	
Alumbrado								
▶	Bombilla incandescente 40W		40	1			0	0
▶	Bombilla incandescente 60W		60	1			0	0
▶	Bombilla incandescente 75W		75	1			0	0
▶	Bombilla incandescente 100W	75	100	1	5	6	30	225000
▶	Fluorescente 13W		13	1			0	0
▶	Fluorescente 17W		17	1			0	0
▶	Fluorescente 20W		20	1			0	0
▶	Fluorescente 32W	500	32	1	8	5	40	640000
▶	Fluorescente 40W		40	1			0	0
Aparatos eléctricos								
▶	Aire acondicionado (individual)	25	4500	0.7	8	5	40	3150000
▶	Aire acondicionado	2	3500	0.7	3	5	15	73500
▶	Ventilador pedestal	5	150	0.7	8	5	40	21000
▶	Ventilador de techo	13	50	0.8	8	6	48	24960
▶	Plancha		2000	0.8			0	0
▶	Calentador (50 litros)		1500	0.9			0	0
▶	Motor o bomba			0.3			0	0
▶	Lavadora		2000	0.4			0	0
▶	Lavavajillas		2000	0.7			0	0
▶	Frigorífico	8	250	0.25	24	7	168	84000
▶	Congelador		100	0.25			0	0
▶	Secador de pelo		1800	0.8			0	0
▶	Secadora de ropa		2500	1			0	0
▶	Licuada		300	1			0	0
▶	Batidora		200	1			0	0
▶	Horno microondas		1200	0.9			0	0
▶	Exprimidor		70	1			0	0
▶	Tostadora		900	1			0	0
▶	Aspirador		1800	1			0	0
▶	Cafetera	7	1000	1	3	5	15	105000
▶	Freidora		1500	1			0	0
▶	Manta eléctrica		150	0.9			0	0
▶	Deshumificador		800	0.8			0	0
▶	Acuario		800	0.9			0	0
Aparatos electrónicos								
▶	Ordenador + monitor	100	250	0.9	8	5	40	900000
▶	Radio (stereo)	0	150	0.9	0	0	0	0
▶	Televisión		120	0.9			0	0
▶	Video		60	1			0	0
▶	Ordenador portatil	75	50	0.9	7	5	35	118125
▶	Impresora	20	300	1	2	5	10	60000
▶	Cargador movil	75	5	1	4	5	20	7500
▶	Notebook	75	50	0.9	7	5	35	118125
▶	Extractor		500	0.9			0	0
⑧ TOTAL Wh x semana: 5527210								
Número de semanas al mes = 30/7= 4.3								
⑨ Wh x Mes = ⑧x 4.3 23767003								
⑩ Conversión a kWh x Mes = ⑨/1000 23767.00								
Rango de consumos		Precio electricidad (Residencial):		Sub-total:		Costo total del consumo eléctrico (\$)		
Punta		0.183987\$/kwh						
Resto		0.185839\$/kwh						
Valle		0.180366\$/kwh						

A través de la visita de campo al edificio de la Biblioteca de la Facultad Multidisciplinaria Oriental de la Universidad de El Salvador pudimos constatar esta información para obtener el consumo de energía eléctrica en Kwh de 23,767.00 Kwh.

Tabla 3.6 Horarios de cobros de servicio eléctrico, correspondiente a cada periodo.

PERIODOS	HORAS
Punta	5:00 pm-10:00 pm
Resto	10:00 pm-5:00 am
Valle	5:00 am-5:00 pm

Según los resultados de la visita y de análisis de cada carga que contiene el edificio se puede concluir que; el consumo en kwh al mes de energía eléctrica es de **23,767.00 Kwh/mes**. El cual este parámetro nos servirá para las respectivas conclusiones y recomendaciones de esta investigación según los resultados de la simulación.

CAPITULO 4: SIMULACION DE EFICIENCIA ENERGETICA DE SISTEMA GEOTERMICO.

4.1 Planteamiento del Problema

Parte del interés que se tiene es poder determinar la factibilidad; desde el punto de vista energético y económico, que tiene la utilización de un sistema GSHP aplicando el recurso de software, para adecuar y suplir las necesidades de enfriamiento de espacios habitados en El Salvador específicamente en la zona oriental.

Se propone tomar en cuenta un edificio piloto, que sirva como estudio de la investigación; dicho edificio a considerar es la biblioteca de la facultad multidisciplinaria oriental de la Universidad de El Salvador.

Con ello se esperaría aportar información valiosa, acerca del desempeño de estos sistemas en climas como el de El Salvador; ya que hasta el día de hoy, la información disponible acerca del desempeño de estos equipos; en este tipo de climas es muy limitada.

También se esperaría que esto sirva de motivación a instituciones y personas particulares, para que profundicen más el estudio de estos sistemas y de la gran gama de posibilidades que existen, para ser utilizados con otros sistemas pasivos de enfriamiento; conocidos como sistemas híbridos; a fin de obtener de ellos el máximo provecho, los cuales aún no han sido explotados en su totalidad.

4.2 Consideraciones para la Simulación de los Modelos e Introducción al Software eQuest.

Una auditoría energética es una inspección, estudio y análisis de los flujos de energía en un edificio, proceso o sistema con el fin de reducir la cantidad de energía de entrada al sistema y costos, sin afectar negativamente la productividad.

El estudio a realizarse, en este capítulo tiene como propósito, conocer el desempeño de sistemas GSHP del tipo tierra/aire en climas tropicales; específicamente en El Salvador. Todo ello con el objetivo de poder identificar si existen beneficios en ahorro energético y económico, asociados al uso de estos sistemas; al compararlo con el consumo de un aire tradicional, específicamente el de los sistemas HVAC del tipo mini-Split.

Para mayor información a lo descrito anteriormente, vale mencionar una de tantas razones por la cual se seleccionó el software eQUEST, son descritas a continuación:

1) Debido a que ya ha sido anteriormente utilizado, se está familiarizado con la forma en que deben ser procesados los datos; a fin de llevar a cabo de una forma correcta, una simulación; también esto ha permitido conocer las capacidades y limitaciones de este software para su utilización, en el análisis de proyectos de eficiencia energética.

2) eQuest es uno de los dos software, de simulación energética de mayor potencial; que es gratis y que está disponible en internet para su descarga (<http://www.doe2.com/equest/>, Junio 2010).

3) Actualmente junto con EnergyPlus y TRNSYS, son de los programas de simulación energética con mayor aceptación alrededor del mundo; debido a su gran potencial en el análisis de sistemas de eficiencia energética.

4) Gracias a la gran aceptación que tiene este programa, alrededor del mundo; y que por ende es muy utilizado en el análisis de proyectos de eficiencia energética, constantemente es actualizado.

Estas actualizaciones, permiten que cada vez; se vayan introduciendo muchas mejoras en cuanto a su capacidad en el análisis de nuevas tecnologías de sistemas HVAC y mejoras que vienen a ser más fácil su utilización.

5) A diferencia de EnergyPlus, eQuest cuenta con una interfaz gráfica amigable que hace mucho más rápido y fácil la descripción del modelo; junto con la de los sistemas HVAC asociados al mismo.

6) Quizás en cuanto a su capacidad, comparándolo con EnergyPlus; se encuentra un poco más limitada, pero tomando en cuenta las necesidades que se tienen; para llevar a cabo de una forma aceptable, la simulación; se estima que estas son cubiertas con eQuest.

7) El software de simulación energética eQuest, es totalmente compatible con el software de simulación energética DOE2; en caso de que sea necesario realizar un análisis más riguroso; es posible exportar los archivos generados en eQuest a DOE2, el cual es un software de simulación energética muy similar a EnergyPlus; en cuanto a su capacidad para el análisis de sistemas energéticos.

8) Al igual que para EnergyPlus y TRNSYS; eQuest cuenta con tutoriales, manuales y blogs de soportes técnicos, todos disponibles en internet; que son de gran ayuda a la hora de llevar a cabo el estudio de un proyecto de este tipo.

Para mayor detalle, en cuanto al correcto uso de este programa de simulación energética; se recomienda leer los manuales de usuario que se pueden encontrar en la red o en la página web (<http://www.doe2.com/equest/>).

4.2.1 Características Propias del Software de Simulación eQuest.

- ✓ Quick Energy Simulation Tool
- ✓ Interfaz para DOE-2, veinte años de desarrollo y mejoras fácil de utilizar, gracias a “asistentes de simulación (wizards)”, que proporcionan supuestos “inteligentes”.
- ✓ No requiere experiencia previa en el “arte” de la simulación gracias a los “asistentes”
- ✓ Posee interfaz gráfica básica para visualizar la geometría del edificio

- ✓ Posee un asistente para estudio de mejoras de eficiencia energética y estudios paramétricos.
- ✓ eQUEST calcula el consumo energético de un edificio hora por hora para un período de análisis de un año.
- ✓ Las entradas al programa consisten de una descripción detallada del edificio, incluyendo horarios de utilización de equipos, nivel de termostatos.
- ✓ El programa calcula de forma exacta sombreadamientos, masa térmica y la respuesta dinámica del edificio ante cambios de clima o utilización.
- ✓ El programa permite calcular una diversidad de sistemas de refrigeración y aire acondicionado y calcula iluminación natural y ventilación natural.

4.2.2 Requerimientos Técnicos

- ✓ Windows 98, 2000, XP
- ✓ 64 MB de RAM
- ✓ 100 MB de espacio en disco duro
- ✓ Gratis!, por cortesía del Estado de California
- ✓ <http://www.doe2.com/>

4.2.3 Fundamentos Necesarios para Simulación Energética a través de eQuest.

4.2.3.1 Información de Datos de Sitio y Datos Climáticos.

- ✓ Es importante conocer datos de latitud, longitud y elevación del sitio.
- ✓ Además, se debe identificar posibles estructuras u objetos que producen sombra sobre el sitio.
- ✓ Para los programas de simulación que hacen simulaciones horarias (DOE 2, EnergyPlus, eQUEST, etc.), se necesita una base de datos en formato TMY2 (TypicalmeteorologicalYear Data).
- ✓ Para El Salvador, se cuenta con dos bases de datos: Ilopango y Acajutla.

4.2.3.2 Envoltente del Edificio, Materiales y Sombreamientos.

- ✓ Es necesario conocer la geometría del edificio.
- ✓ Se necesita, además, conocer los materiales que componen las paredes, techo, pisos, divisiones, etc.
- ✓ Hay que conocer también las dimensiones y especificaciones de aleros, cortasoles y otro elemento que produzca sombra en el edificio.

4.2.3.3 Operación del Edificio y Horarios de Ocupación

Un entendimiento claro del horario de operación del edificio nuevo o existente es fundamental para la exactitud de la simulación. Se requiere:

- ✓ Horarios de entrada y salida, (y sus variaciones, días festivos, etc.)
- ✓ Número de empleados, turnos, etc.
- ✓ Configuración de Termostatos
- ✓ Horarios de Operación de Equipos y Aires Acondicionados.
- ✓ Los horarios definen los patrones de utilización de las cargas.
- ✓ Deben definirse horarios diarios, mensuales y anuales o por temporadas.
- ✓ eQUEST incluye librerías de horarios para distintas cargas por defecto.

4.2.3.4 Especificaciones de los Sistemas de Aire Acondicionado y Ventilación.

La información correcta de los sistemas de aire acondicionado y ventilación será fundamental para garantizar la exactitud de los resultados de la simulación.

Algunos aspectos a conocer son:

- ✓ Zonificaciones
- ✓ Datos de equipos (tipo, toneladas de refrigeración, refrigerante)
- ✓ Aire exterior (cfm/persona)
- ✓ Datos de eficiencia de equipos (EER, SEER, IPLV)
- ✓ Estrategias de control de aires acondicionados

4.2.3.5 Tarifas Eléctricas

Conocer la factura eléctrica es importante para interpretar la información suministrada.

Principales variables incluidas en la factura:

- ✓ Energía consumida (kWh)
- ✓ Demanda facturada (kW)
- ✓ Factor de potencia
- ✓ Días facturados
- ✓ Tarifas del período.

4.3 Objetivos del Análisis de Simulación.

En un primer paso, se pretende generar una línea de base de modelos que describan con un grado de aceptación de confianza el consumo energético, tanto de luminarias, equipos de aires acondicionados y equipos misceláneos con lo que cuenta en la realidad el edificio.

Cabe mencionar que por razones de comparación, debido a que el edificio no cuenta con una factura propia de consumo eléctrico real, utilizaremos un parámetro de comparación a lo de la tabla realizada en Excel determinando cada una de las cargas que posee el edificio en estudio. Por lo que se esperaría que los resultados obtenidos en la simulación no varíen más de un 8%, para así considerar que se tiene un modelo bastante aceptable.

Del análisis de todos los tipos que se simulen se tomara el que mejor desempeño tenga, los modelos que se pretenden generar están que todo el edificio posee sistema HVAC, este modelo servirá como línea de base para comparar con el sistema GSHP y determinar los ahorros anuales en energía eléctrica.

4.4 Suposiciones de Análisis de Simulación del Sistema.

Para nuestro modelo del edificio en estudio se ha asumido que toda la energía es suministrada por la distribuidora EEO, y hemos tomado en cuenta las tarifas de la distribuidora que cada periodo del año cambian y hemos tomado las de considerar las tarifas vigente al mes de octubre del año 2013. También se ha podido observar mediante las visitas de campos que en ciertas secciones del edificio, los materiales de los que están hechas las paredes cambian de una pared a otra; por lo que se ha asumido que todas las paredes externas están hechas del mismo material y que las paredes internas es decir divisiones están hechas de tabla roca.

4.4.1 Consideración General para la Simulación HVAC.

Algo muy importante es que se asumirá que el sistema de aires acondicionado del edificio, son utilizados en los mismos horarios de ocupación; también el control de sus termostatos será igual en cada uno de los equipos.

Se asumirá también que el sistema de acondicionamiento actual del edificio, es decir los del tipo mini-split son utilizados en los mismos horarios de ocupación del edificio.

4.4.2 Consideraciones Generales para la Simulación del Sistema Geotérmico.

En cuanto a la simulación del sistema geotérmico (GSHP), tomado en cuenta todo lo estudiado en el Capítulo 1; y por estudios que se han hecho sobre el comportamiento de las bombas de calor geotérmicas; podemos decir que ambos tipos de sistemas que existen; se analizará un sistema de lazo cerrado del tipo vertical. Esto ha sido decidido así, en base a tres razones principales, las cuales son detalladas a continuación:

- 1) Además de querer estudiar específicamente a los sistemas GSHP, también se ha considerado un sistema de lazo cerrado y no un sistema del tipo lazo abierto; debido a que no existe ninguna fuente de agua subterránea cerca del lugar de estudio, que permita analizar dicho tipo de sistemas geotérmicos.
- 2) Se ha centralizado en el estudio hacia el análisis de un sistema del tipo vertical, tomando en cuenta; que como se ha explicado anteriormente son los ideales en zonas urbanas donde el área de terreno disponible es limitada y para capacidades instaladas grandes.
- 3) Aunque el programa de simulación energética seleccionado, eQuest; es capaz de simular ambos tipos de sistemas GSHP, es decir verticales y horizontales; tal y como se ha explicado en el Capítulo 1, las herramientas de simulación energética disponibles actualmente; para el análisis de sistemas geotérmicos del tipo vertical

son más avanzadas que las que se existen para analizar sistemas del tipo horizontal.

Es importante recalcar que para poder abrir todos los modelos, se debe contar con el software de simulación energética eQuest; el cual puede ser obtenido gratuitamente desde internet, mediante el acceso a su página web.

El link de acceso a dicha página es (<http://www.doe2.com/equest/>, Junio 2010). Además es de considerar, que todos los modelos; han sido generados en base a los datos climáticos obtenidos de la página del Departamento de Energía de los Estados Unidos (DOE), obtenidos de la página del Departamento de Energía de los Estados Unidos (DOE).los cuales deben ser convertidos en formato de trabajo del software eQuest; en formato .BIN. Para mayor comodidad, los archivos utilizados, y ya en formato acorde al programa utilizado; corresponden a la estación meteorológica de Acajutla, ya que se asemeja a las condiciones climáticas de la ciudad de San Miguel.

Por último, para generar el modelo base, se utilizaron plantillas; de las vistas de planta de cada uno de los pisos del edificio en estudio.

Dichas plantillas son requeridas por eQuest en formato DWG, el cual es un formato de trabajo del software AutoCAD. Es de considerar que el software eQuest, sólo acepta formato de trabajo de la versión del año 2000; del software AutoCAD. Dichas plantillas, es en un principio que las requiere el programa (primera vez que se abre el archivo y válido sólo si se considera lo expuesto abajo); lo cual es algo tedioso de ingresar, pero a continuación se detalla paso a paso de como ingresar datos y hacer uso de cada ventana del programa de simulación eQuest.

4.5 Primer Simulación Bajo las Condiciones del Edificio Actual.

4.5.1 Desarrollo del Modelo

Desde un inicio se mencionó que este estudio sirva de guía a otra personas, estudiantes e instituciones interesadas a realizar investigaciones en este tipo de sistemas; de tal manera que los siguientes modelos se han elaborado que cualquier persona que aso lo desee y utilice el programa de simulación eQuest no tenga ningún problema de realizar estudios posteriores.

De tal manera se hará un detalle de cada parámetro de entrada, hasta obtener el modelo final para luego hacer un análisis de los resultados obtenidos.

A continuación se detallan los pasos de simulación:

4.5.2 Introducción Datos Climáticos.

Los datos introducidos en la sección General Information de la pestaña Project/Site/Utility, en el modo avanzado (DD Wizard) del software eQuest. Los datos climáticos son cargados por el software de simulación energética eQuest, a través de un archivo extensión BIN Dichos archivos, pueden ser descargados desde la página oficial del Departamento de Energía de los Estados Unidos de América (DOE).

The screenshot shows the 'General Information' section of the eQUEST DD Wizard. The window title is 'eQUEST DD Wizard: Project and Site Data'. The form contains the following fields and options:

- Project Name:** SIMULACION TESIS EDIFICIO REAL
- Code Analysis:** - none -
- Building Type:** School, College/University
- Building Location and Jurisdiction:**
 - Location Set:** User Selected
 - Weather File:** TMY2\Acajutla.BIN
 - Jurisdiction:** - other -
- Utilities and Rates:**
 - Electric:** - custom -
 - Gas:** - none -
- Other Data:**
 - Analysis Year:** 2014
 - Usage Details:** Hourly Enduse Profile
 - Prevent duplicate model components

At the bottom, the 'Wizard Screen' is '1 of 7'. Navigation buttons include 'Help', 'Previous Screen', 'Next Screen', and 'Return to Navigator'.

Figura 4. Sección General Information eQuest.

The screenshot shows the 'Project Information' section of the eQUEST DD Wizard. The window title is 'eQUEST DD Wizard: Project and Site Data'. The form contains the following fields:

- Building Location:**
 - Address:** BIBLIOTECA UES FMO
 - City, State Zip:** SAN MIGUEL, EL SALVADOR
- Building Owner:**
 - Name:** BIBLIOTECA
 - Phone:** <owner phone>
 - Address:** UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FAC. MULTIDISCI ORIENTAL
 - City, State Zip:** SAN MIGUEL
- Component Name Prefix:** []
- Suffix:** []
- (# of Prefix + Suffix characters cannot exceed 4)

At the bottom, the 'Wizard Screen' is '7 of 7'. Navigation buttons include 'Help', 'Previous Screen', 'Next Screen', and 'Return to Navigator'.

Figura 4.1 Sección Project Information

4.5.3 Definición de Horarios de Ocupación de Edificio.

A parte de estas dos temporadas, se ha tomado en cuenta los días festivos a lo largo del año, se ha considerado los días festivos del calendario UES.

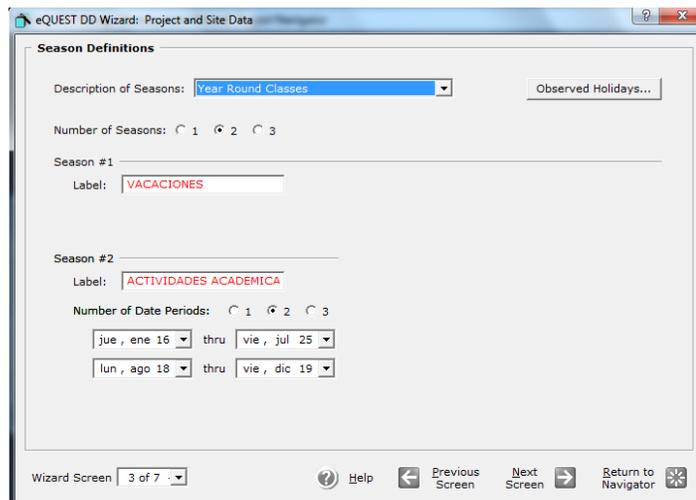


Figura 4.2 Sección Season Definition eQuest.

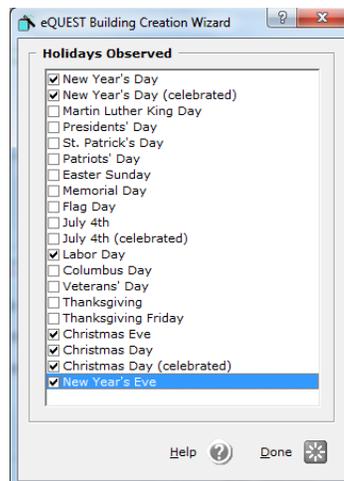


Figura 4.3 Días Festivos; eQuest.

4.5.4 Definición de Tarifas de Servicio Eléctrico.

Las tarifas bajo las cuales se realiza el cobro de la electricidad a la universidad por parte de la distribuidora EEO. Ahí se pudo observar que el cobro se realiza por bloques; es decir se cobra de acuerdo al horario de uso ya sea este punta, resto o valle; las horas que corresponde a cada período de cobro.

	TOU Period	\$ / kW	\$ / kWh
<input type="checkbox"/>	1 Super On-Peak		
<input checked="" type="checkbox"/>	2 On-Peak	17.314	0.179700
<input checked="" type="checkbox"/>	3 Mid-Peak	17.314	0.180500
<input checked="" type="checkbox"/>	4 Off-Peak	17.314	0.173700
<input type="checkbox"/>	5 Super Off-Peak		

Figura 4.4 Electric Utility Charges eQuest.

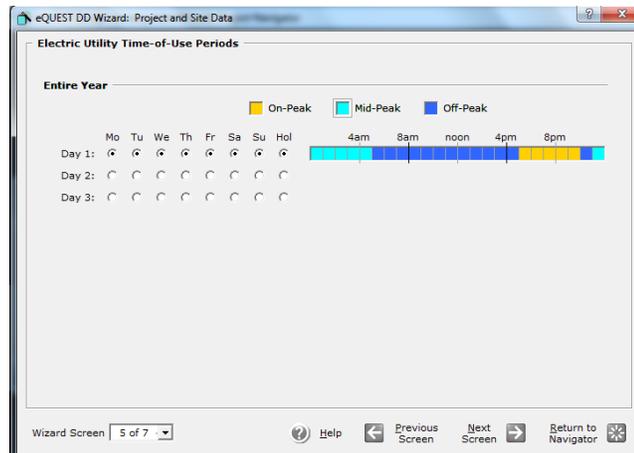


Figura 4.5 Vista de la distribución de acuerdo a los horarios de uso; Electric Utility Time-of Use Periods; eQuest.

A continuación, se presentan la descripción de cada uno de los tres pisos, realizadas en eQuest, en la pestaña Building Shell Components.

4.5.5 Sección Tipo de Edificio (General Shell Information)

En esta sección se describe el tipo de edificio, para este caso se ha seleccionado que es un edificio del tipo School, College University, ubicado en el origen.

The screenshot shows the 'General Shell Information' dialog box for 'piso1'. The 'Shell Name' field contains 'piso1'. The 'Building Type' dropdown is set to 'School, College/University'. The 'Specify Exact Site Coordinates' checkbox is checked, and the X, Y, and Z coordinates are all set to 0.0 ft. Under 'Area and Floors', the 'Building Area' is 2,850 ft², 'Number of Floors: Above Grade' is 1, and 'Below Grade' is 0. In the 'Other Data' section, 'Shell Multiplier' is 1, 'Daylighting Controls' is 'No', and 'Usage Details' is 'Hourly Enduse Profiles'. The 'Prevent duplicate model components' checkbox is checked. The 'Component Name Prefix' is 'EL1' and the 'Suffix' is empty. A note indicates that the total number of characters in the prefix and suffix must be less than or equal to 4. The 'Wizard Screen' indicator shows '1 of 25'.

Figura 4.6 Vista de sección General Shell Information de Piso 1; eQuest.

The screenshot shows the 'General Shell Information' dialog box for 'piso2'. The 'Shell Name' field contains 'piso2'. The 'Building Type' dropdown is set to 'School, College/University'. The 'Shell Location within Site' section is expanded, showing 'Position this Shell' set to 'Immediately Above' of 'Reference Shell' 'piso1', with a 'Distance from Reference Shell' of 0.0 ft. The 'Specify Exact Site Coordinates' checkbox is unchecked. Under 'Area and Floors', the 'Building Area' is 2,675 ft², 'Number of Floors: Above Grade' is 1, and 'Below Grade' is 0. In the 'Other Data' section, 'Shell Multiplier' is 1, 'Daylighting Controls' is 'No', and 'Usage Details' is 'Hourly Enduse Profiles'. The 'Prevent duplicate model components' checkbox is checked. The 'Component Name Prefix' is 'EL2' and the 'Suffix' is empty. A note indicates that the total number of characters in the prefix and suffix must be less than or equal to 4. The 'Wizard Screen' indicator shows '1 of 25'.

Figura 4.7 General Shell Information Piso 2; eQuest.

4.5.6 Sección Contorno de Edificio (Building Footprint)

El contorno del edificio, para cada nivel del edificio; fue generado en plantillas de AutoCAD, por medio de los planos arquitectónicos proporcionados por la universidad.

Dichas plantillas, para cada planta del edificio; fueron introducidas en eQuest, mediante la opción Custom; tanto en la pestaña Footprint Shape, como en la pestaña Zoning Pattern.

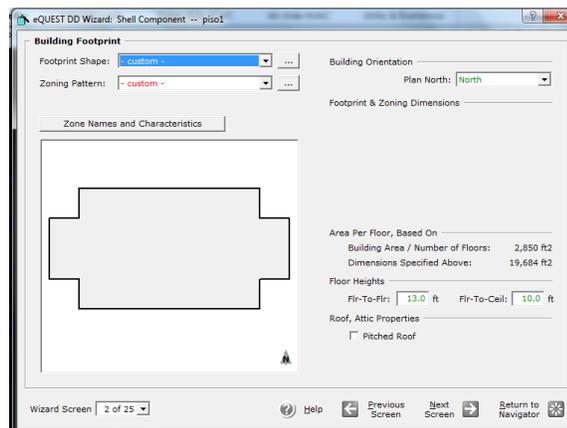


Figura 4.8 Sección Building Footprint Primer Nivel; eQuest.

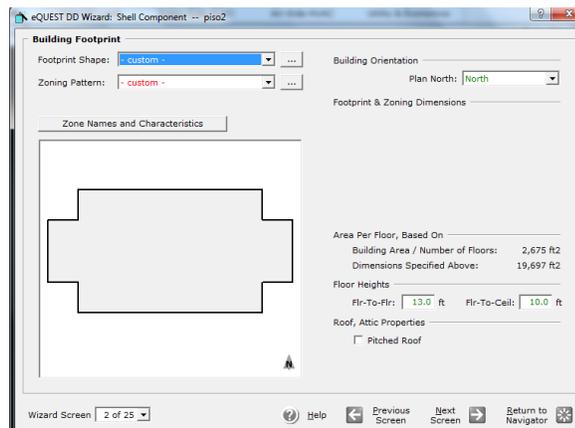


Figura 4.9 Sección Building Footprint Segundo Nivel; eQuest.

4.5.7 Sección Envoltente del Edificio (Building Envelope Construction)

Podemos observar los valores correspondientes al tipo de construcción externa para el primer nivel y segundo nivel del edificio de Biblioteca.

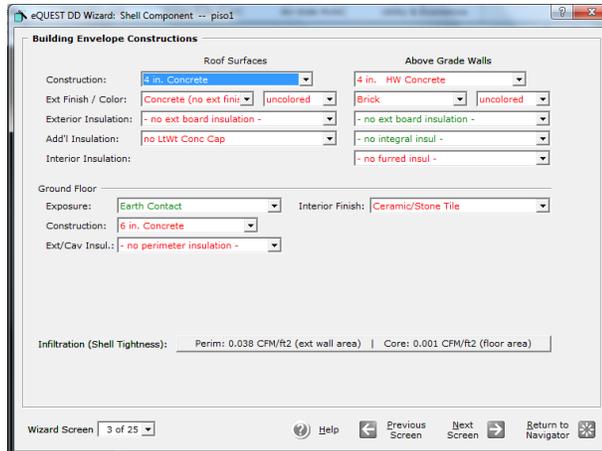


Figura 4.10 Sección de Building Envelope Construction de Primer Nivel; eQuest.

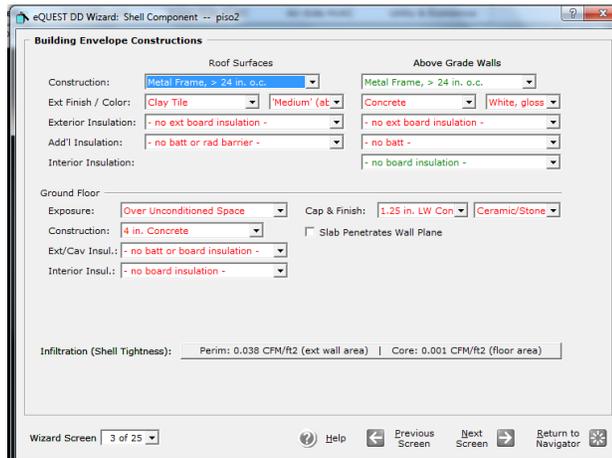


Figura 4.11 Sección Envelope Building Segundo Nivel; eQuest.

4.5.8 Construcción al Interior de Edificio (Building Interior Construction)

Según los planos arquitectónicos, las aulas cuentan con cielo falso del tipo acústico, al igual que las paredes exteriores. En cuanto a las paredes internas, estas no se encuentran aisladas; y al ser divisiones de tabla roca, se ha considerado que éstas sólo son usadas para cerrar el paso de aire; por tanto en el tipo de pared interna se ha seleccionado air (none), que es la que más se asemeja a este tipo de pared.

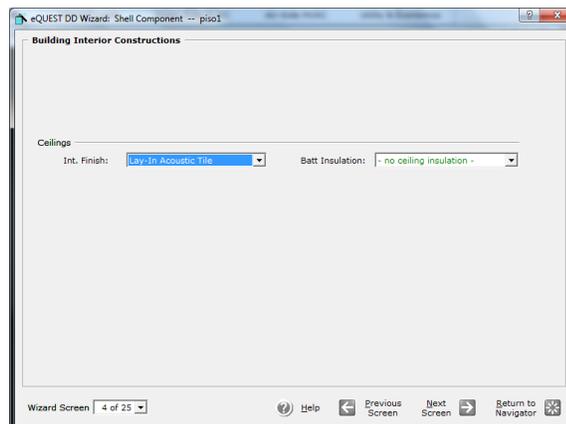


Figura 4.12 Sección Building Interior Constructions Primer Nivel; eQuest.

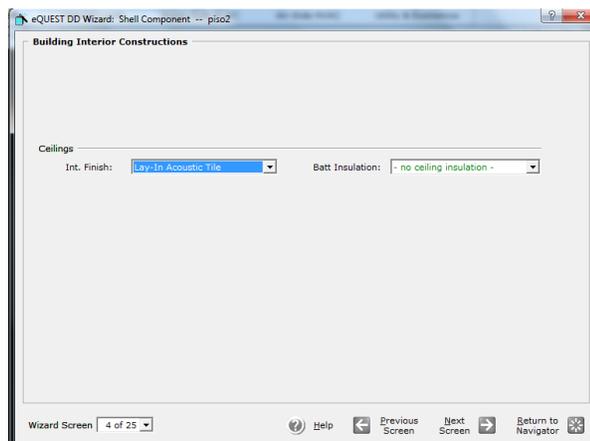


Figura 4.13 Sección Building Interior Constructions Segundo Nivel; eQuest.

4.5.9 Sección Puertas Exteriores (Exterior Doors)

En esta sección, se definen todos los tipos de puertas exteriores con las cuales cuenta el edificio; esto se puede hacer de dos formas, la primera es ingresando la cantidad de puertas por fachadas y la segunda es ingresando las puertas por medio de coordenadas.

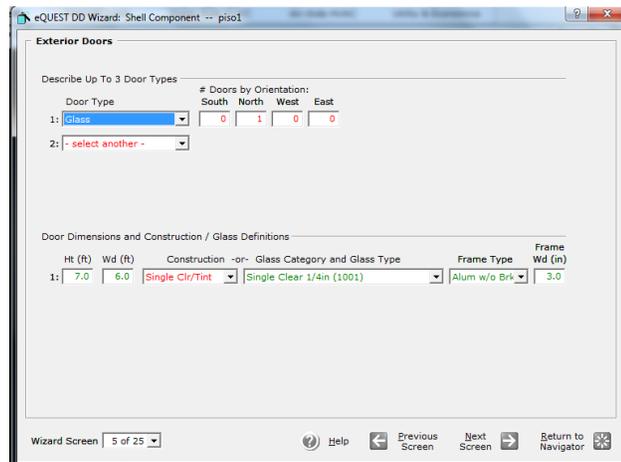


Figura 4.14 Sección Exterior Door Primer Nivel; eQuest.

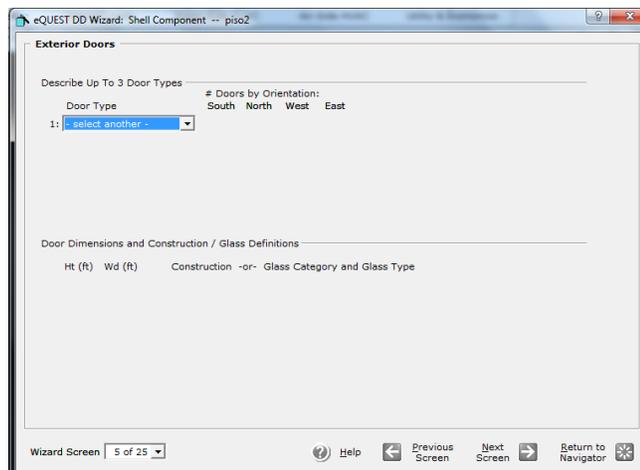


Figura 4.15 Sección Exterior Doors Segundo Nivel; eQuest.

4.5.10 Sección Ventanas Exteriores (Exterior Windows)

Una gran parte de la ganancia de calor se produce a través de la ventanas; es por ello que es de suma importancia definir todas y cada una de ellas con la mayor exactitud posible, tomando en cuenta su configuración y ubicación en cada una de las fachadas del edificio. En el programa eQuest, las ventanas exteriores son definidas en la sección Exterior Windows; el largo y ancho de cada ventana varía dependiendo de cada nivel.

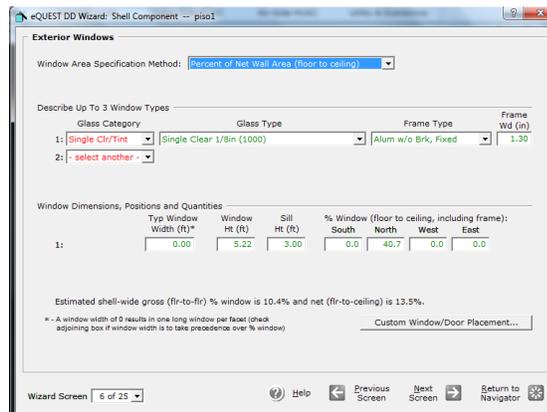


Figura 4.16 Sección Exterior Windows de Primer Nivel; eQuest.

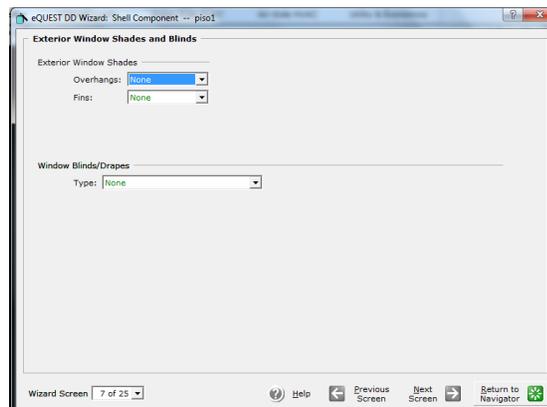


Figura 4.17 Sección Exterior Windows Shades and Blinds Primer Nivel; eQuest.

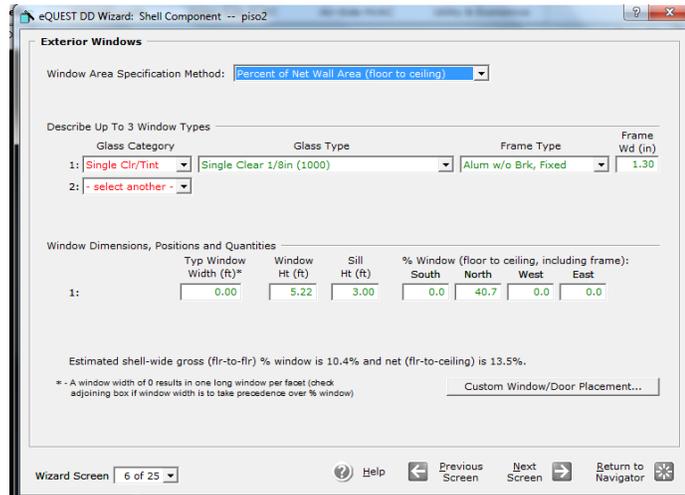


Figura 4.18 Sección Exterior Windows Segundo Nivel; eQuest.

4.5.11 Sección de Techo y Tragaluces (Roof Skylights)

En esta sección se introducen datos de tragaluces si el edificio lo posee.

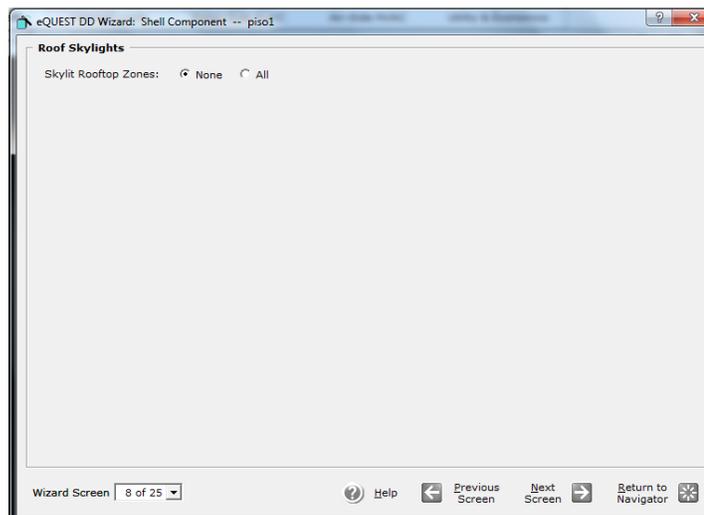


Figura 4.19 Sección Roof Skylights Primer Nivel; eQuest.

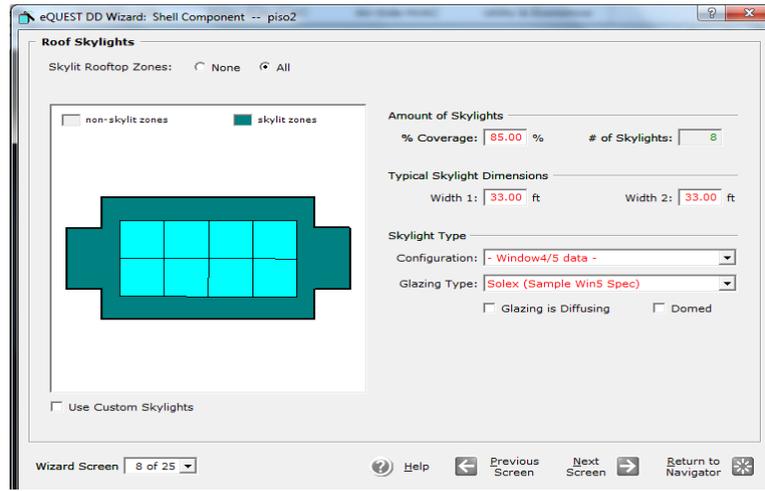


Figura 4.20 Sección Roof Skylight Segundo Nivel; eQuest.

4.5.12 Sección Horarios de Ocupación (Building Operation Schedules)

En esta sección, se definen los horarios de ocupación de edificio; de acuerdo a las temporadas seleccionadas en la sección Season Definitions.

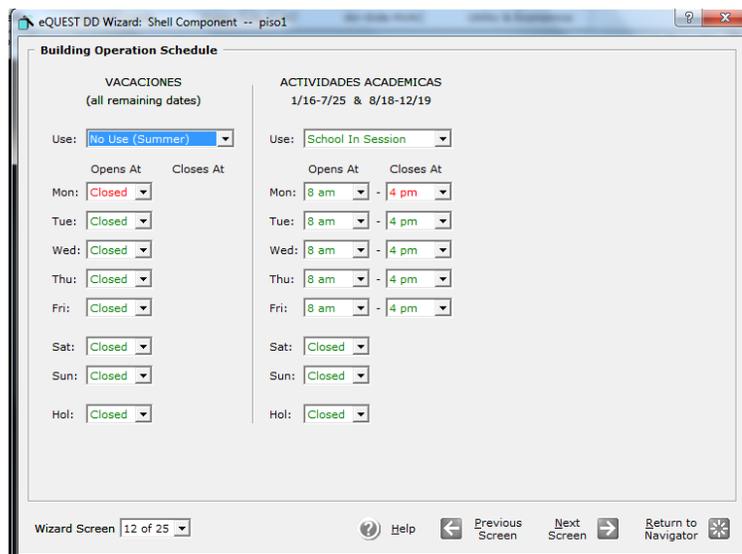


Figura 4.21 Sección Building Operation Schedule Primer Nivel; eQuest.

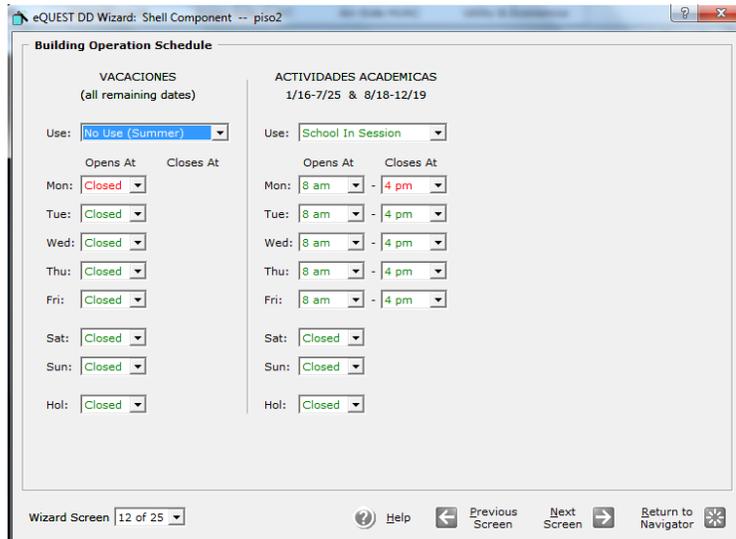


Figura 4.22 Sección Building Operation Schedule Segundo Nivel; eQuest.

4.5.13 Sección Áreas de Edificio (Activity Areas Allocation)

Para cada piso, se ha calculado el porcentaje del área total; que ocupa cada espacio definido.

Dependiendo del tipo de espacio, es necesario definir la cantidad de aire (CFM) que será necesario que el sistema HVAC pueda suplir; eQuest dependiendo del tipo de la aplicación que se le dé al espacio, nos asigna automáticamente un valor estándar; el cual para los propósitos de la tesis, ha sido tomado como default.

eQUEST DD Wizard: Shell Component -- piso1

Activity Areas Allocation

Area Type	Percent Area (%)	Design Max Occup (sf/person)	Design Ventilation (CFM/per)
1: Classroom/Lecture	25.0	50	15.00
2: Office (Executive/Private)	15.0	40	20.00
3: Corridor	5.0	40	50.00
4: Computer Room (Instructional/PC Lab)	25.0	50	15.00
5: Storage (Unconditioned)	25.0	50	75.00
6: - select another -	0.0	0	15.00
7: - select another -	0.0	0	15.00
8: Restrooms	5.0	45	50.00
Percent Area Sum:		100.0	240
			0.246

Show Zone Group Screen

Occupancy Profiles by Season

VACACIONES: EL1 Occup Profile (S1)

ACTIVIDADES ACADEMICAS: EL1 Occup Profile (S2)

Wizard Screen 13 of 25

Help Previous Screen Next Screen Return to Navigator

Figura 4.23 Sección Activity Areas Allocation Primer Nivel; eQuest.

eQUEST DD Wizard: Shell Component -- piso2

Activity Areas Allocation

Area Type	Percent Area (%)	Design Max Occup (sf/person)	Design Ventilation (CFM/per)
1: Classroom/Lecture	30.0	50	15.00
2: Office (Executive/Private)	45.0	40	20.00
3: Corridor	5.0	25	50.00
4: Auditorium	15.0	25	15.00
5: - select another -	0.0	0	15.00
6: - select another -	0.0	0	15.00
7: Restrooms	5.0	30	50.00
8: - select another -			
Percent Area Sum:		100.0	432
			0.443

Show Zone Group Screen

Occupancy Profiles by Season

VACACIONES: EL2 Occup Profile (S1)

ACTIVIDADES ACADEMICAS: EL2 Occup Profile (S2)

Wizard Screen 13 of 25

Help Previous Screen Next Screen Return to Navigator

Figura 4.24 Sección Activity Areas Allocation Segundo Nivel; eQuest.

4.5.14 Definición de Aire Acondicionado por Zonas (Zone Group Definition)

Dependiendo del tipo de sistema HVAC, que se tenga en el edificio; y que haya sido previamente definido en la pestaña Air-Side System Types (esta pestaña se explicará más adelante), se asigna a cada zona; el equipo que esta posea.

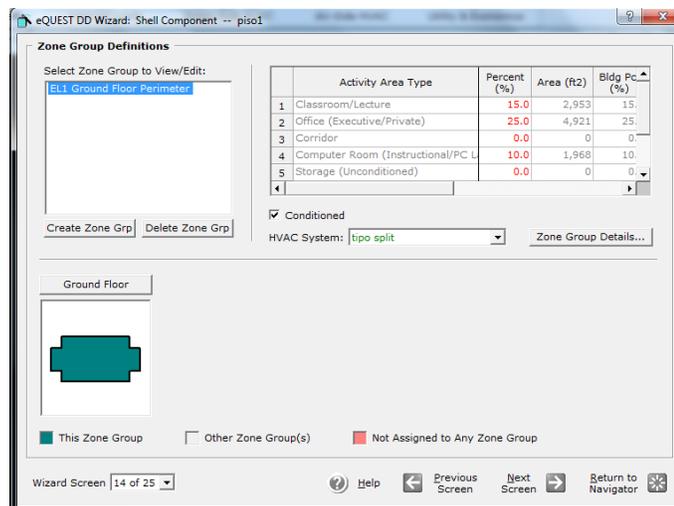


Figura 4.25 Zone Group Definitions Primer Nivel; eQuest.

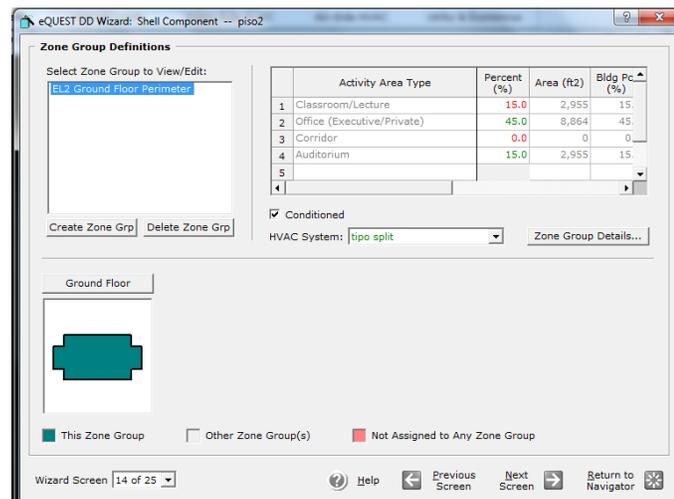


Figura 4.26 Sección Zone Group Definition Segundo Nivel; eQuest.

4.5.15 Sección Tipo de ganancia de Calor (NonHVAC Enduses to Model)

Dependiendo del tipo de ganancias de calor, sean estas por uso de luminaria exterior e interior, equipo de oficina o cualquier otro tipo de equipo; será necesario definir en esta sección los tipos de ganancia de calor a considerar.

Para nuestro caso, se ha tomado en cuenta, la ganancia de calor por luminaria tanto de los pasillos (exterior), como de los espacios (interior); a la vez que se ha tomado en cuenta, en el caso del primer y tercer nivel; el uso de equipo misceláneo.

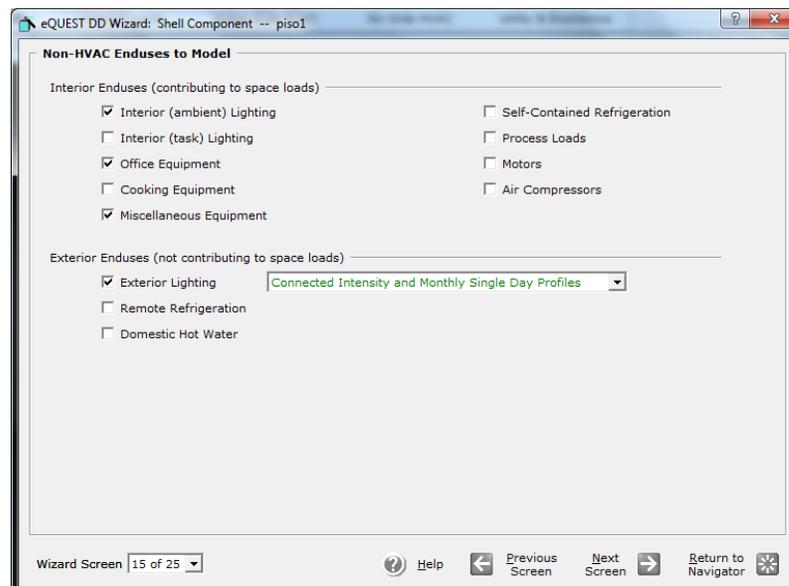


Figura 4.27 Sección Non- HVAC Enduses to Model Primer Nivel; eQuest.

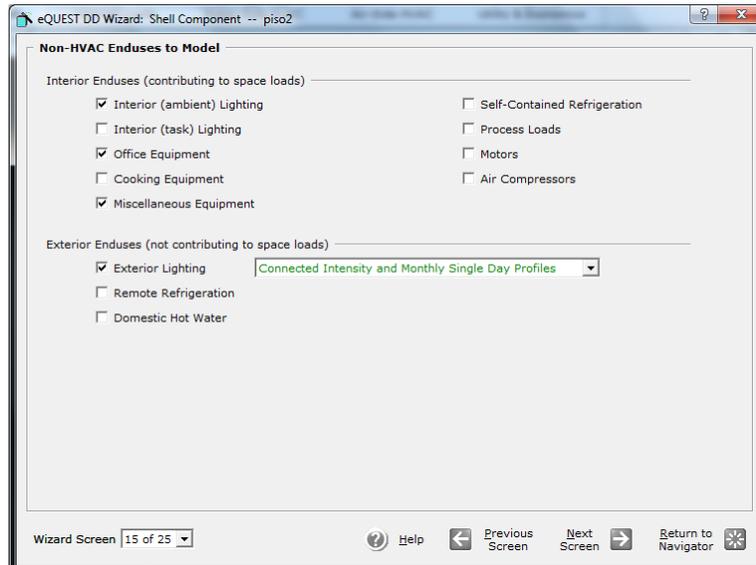


Figura 4.28 Sección Non- HVAC Enduses to Model Segundo Nivel; eQuest.

4.5.16 Sección de Iluminación Interna (Interior Lighting Loads and Profile).

En esta sección, será necesario especificar las potencias por área cubierta (W/pie²), correspondiente al uso de iluminación interna de primer y segundo nivel del edificio de la Biblioteca de la Facultad Multidisciplinaria Oriental; estos valores han sido ingresados de acuerdo a la iluminaria contabilizada en las visitas realizadas y de las existentes en el edificio.

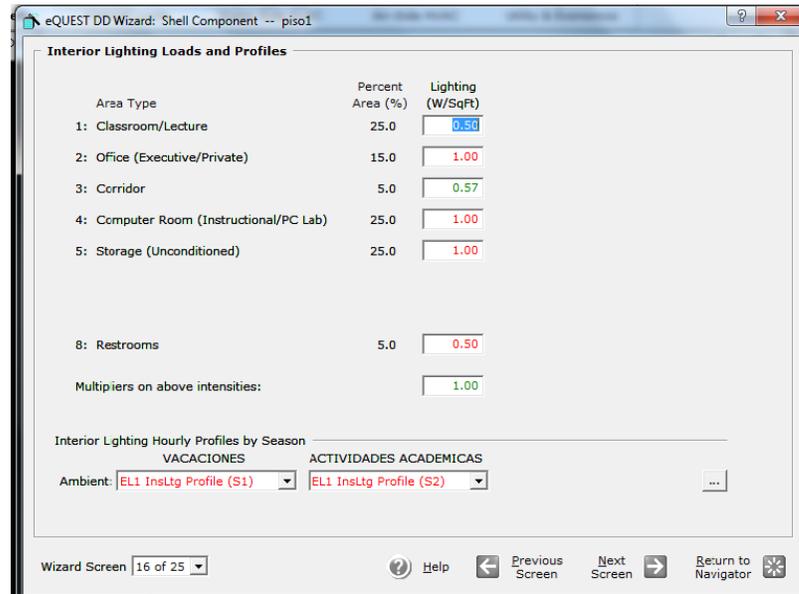


Figura 4.29 Sección Interior Lighting Loads and Profile Primer Nivel; eQuest.

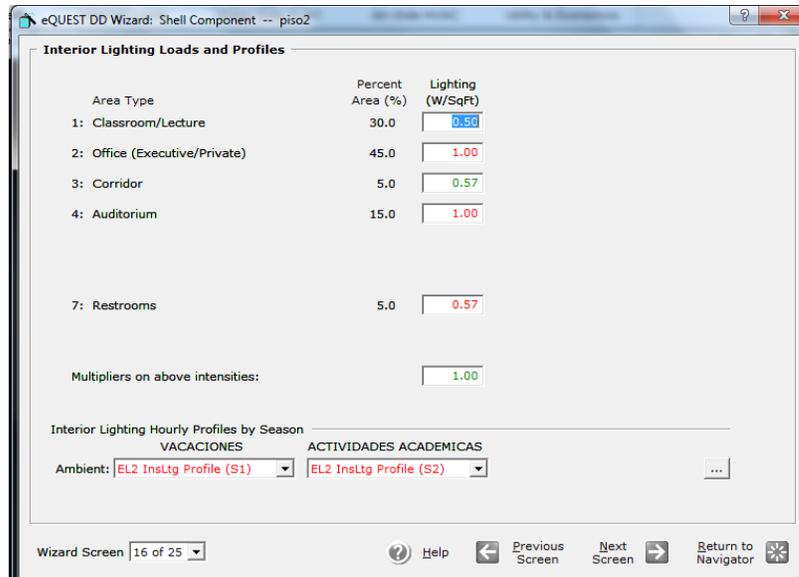


Figura 4.30 Sección Interior Lighting Loads and Profile Segundo Nivel; eQuest.

4.5.17 Sección de Equipos de Oficina (Office Equipment Loads and Profile).

En esta sección, será necesario especificar las potencias por área cubierta (W/pie2), correspondiente al uso de equipo de oficina; estos valores corresponden al equipo de oficina observado en las visitas.

Area Type	Percent Area (%)	Office Eq (W/SqFt)
1: Classroom/Lecture	25.0	0.40
2: Office (Executive/Private)	15.0	0.40
3: Corridor	5.0	1.50
4: Computer Room (Instructional/PC Lab)	25.0	0.40
5: Storage (Unconditioned)	25.0	0.00
8: Restrooms	5.0	1.50

Office Equipment Hourly Profiles by Season

VACACIONES: EL1 OffEq Profile (S1)

ACTIVIDADES ACADEMICAS: EL1 OffEq Profile (S2)

Figura 4.31 Sección Office Equipment Loads and Profiles Primer Nivel; eQuest.

Area Type	Percent Area (%)	Office Eq (W/SqFt)
1: Classroom/Lecture	30.0	0.40
2: Office (Executive/Private)	45.0	0.40
3: Corridor	5.0	0.00
4: Auditorium	15.0	1.25
7: Restrooms	5.0	1.50

Office Equipment Hourly Profiles by Season

VACACIONES: EL2 OffEq Profile (S1)

ACTIVIDADES ACADEMICAS: EL2 OffEq Profile (S2)

Figura 4.32 Sección Office Equipment Loads and Profiles Segundo Nivel; eQuest.

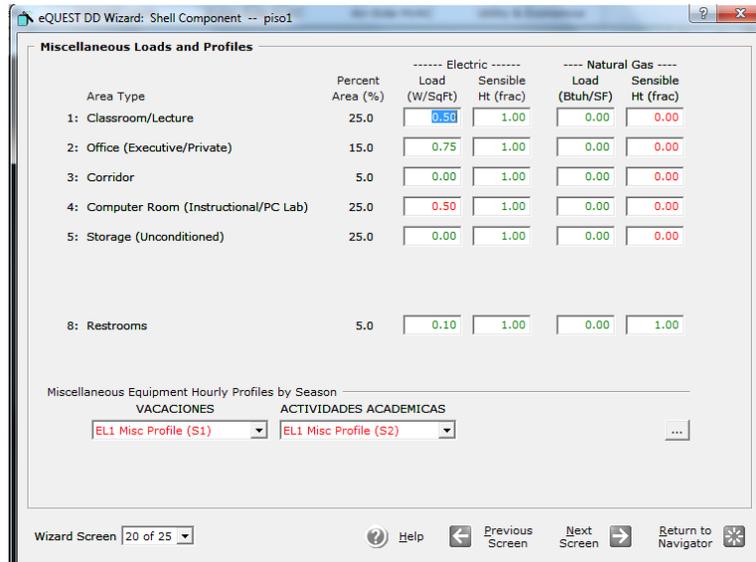


Figura 4.33 Sección Miscellaneous Loads and Profiles; eQuest.

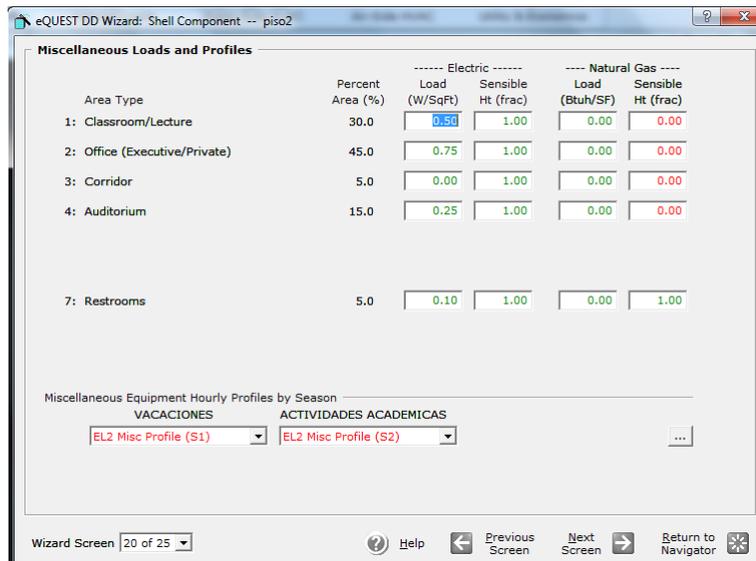


Figura 4.34 Sección Miscellaneous Loads and Profiles Segundo Nivel; eQuest.

4.5.18 Sección Iluminación Exterior (Exterior Lighting Loads and Profile).

La iluminación exterior, corresponde a la contabilizada en los pasillos; en las visitas realizadas.

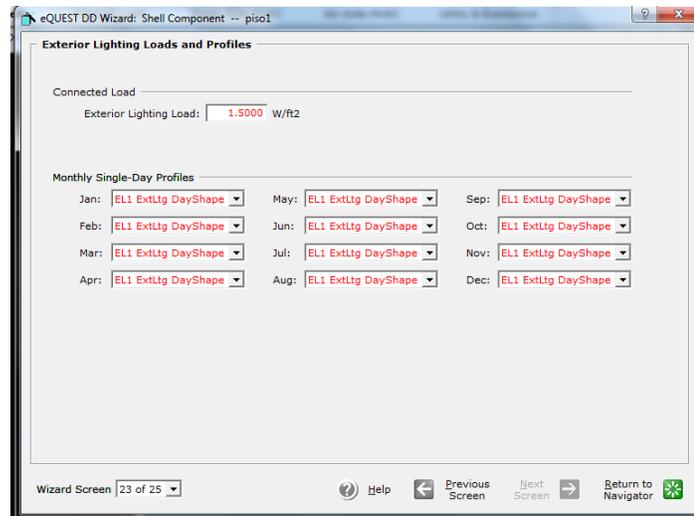


Figura 4.35 Sección Exterior Lighting Loads and Profile Primer Nivel; eQuest.

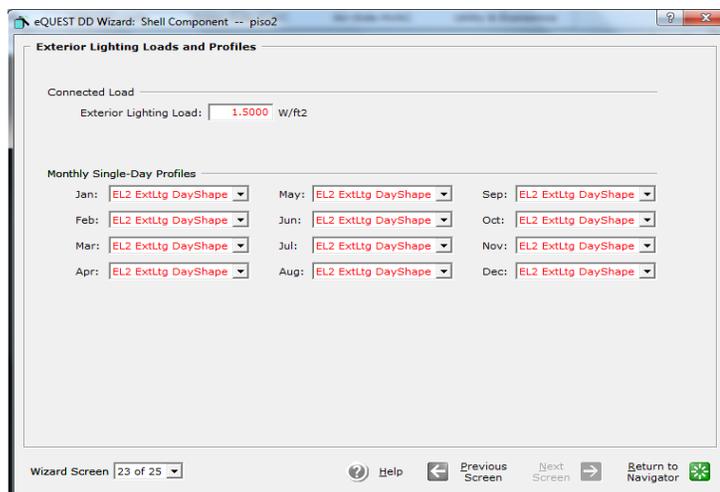


Figura 4.36 Sección Exterior Lighting Loads and Profiles Segundo Nivel; eQuest.

4.5.19 Definición de Sistema HVAC de Edificio (Air-Side System Type).

Los sistemas HVAC, en eQuest; son definidos en la pestaña Air-Side System Types, después de generar un nuevo sistema mediante la opción Create New System; será necesario editarlo a través de la opción Edit Selected System.

En dicha ventana de edición, será necesario definir todos los parámetros de entrada requeridos para generar un sistema HVAC; los cuales varían de acuerdo al sistema que se está generando.

A continuación, se explica paso a paso; las secciones correspondientes a la definición de sistemas HVAC en el programa de simulación energética eQuest.

Para nuestro caso, es la configuración DX Coils–No Heating; la que genera el sistema mini-split que deseamos instalar

El tipo de retorno del aire es directo y el tipo de suministro es por zona, ya que son equipos individuales; los valores introducidos en esta sección, se muestra a continuación:

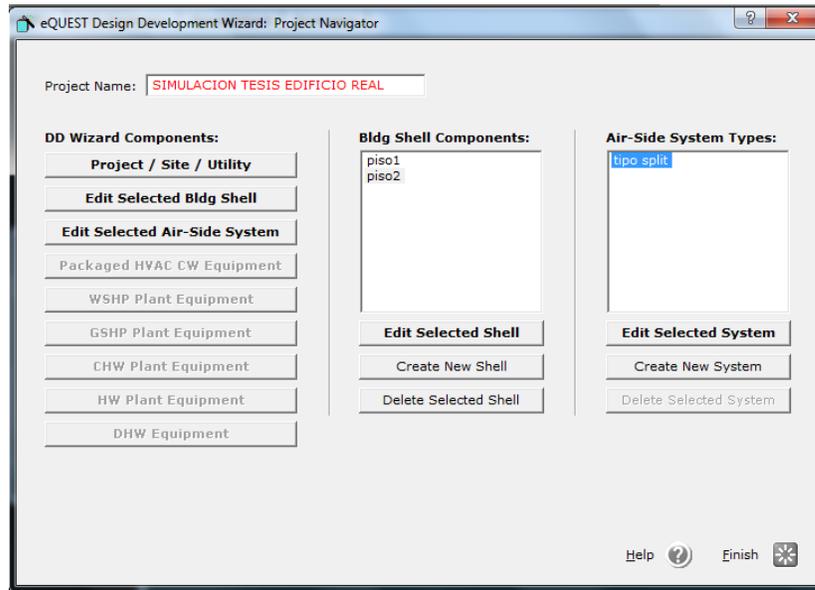


Figura 4.37 Sección Project Navigator; eQuest.

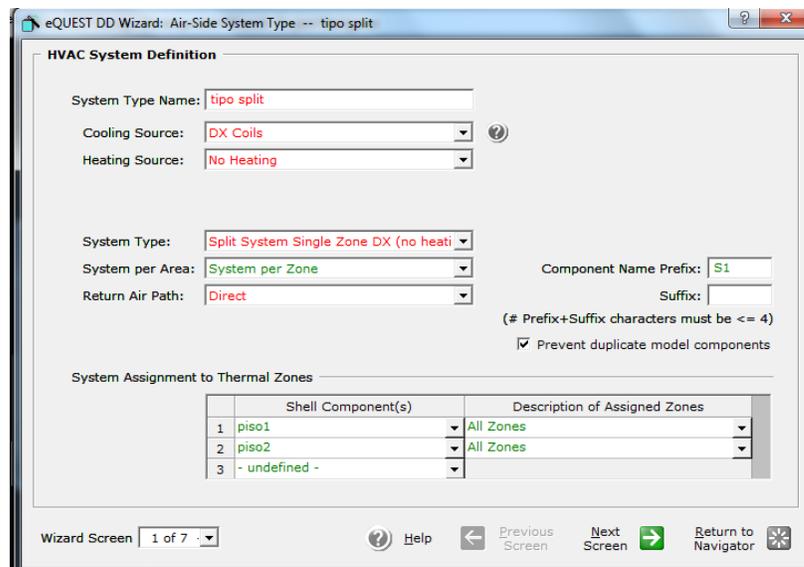


Figura 4.38 Sección HVAC System Definition; eQuest.; Sistema Split.

eQUEST DD Wizard: Air-Side System Type -- tipo split

HVAC Zones: Temperatures and Air Flows

System(s): 1: Split System Sgl Zone DX (no heat...)

Seasonal Thermostat Setpoints

	Occupied (°F)		Unoccupied (°F)	
	Cool	Heat	Cool	Heat
VACACIONES	74.0	70.0	74.0	64.0
ACTIVIDADES ACA...	74.0	70.0	74.0	64.0

Design Temperatures

Cooling Design Temp: Indoor 74.0 °F Supply 55.0 °F

Air Flows

Minimum Design Flow: 0.50 cfm/ft2

Wizard Screen 2 of 7

Help Previous Screen Next Screen Return to Navigator

Figura 4.39 Sección HVAC Zones: Temperatures and Air Flows; eQuest.

eQUEST DD Wizard: Air-Side System Type -- tipo split

Packaged HVAC Equipment

HVAC System 1: Split System Sgl Zone DX (no heating)

Cooling

Overall Size: Specify 15.0 tons

Typical Unit Size: 90-135 kBtuh or 7.5-11.25 tons

Condenser Type: Air-Cooled

Efficiency: EER 8.900

Allow Crankcase Heating

Wizard Screen 3 of 7

Help Previous Screen Next Screen Return to Navigator

Figura 4.40 Sección Packaged HVAC Equipment; eQuest.

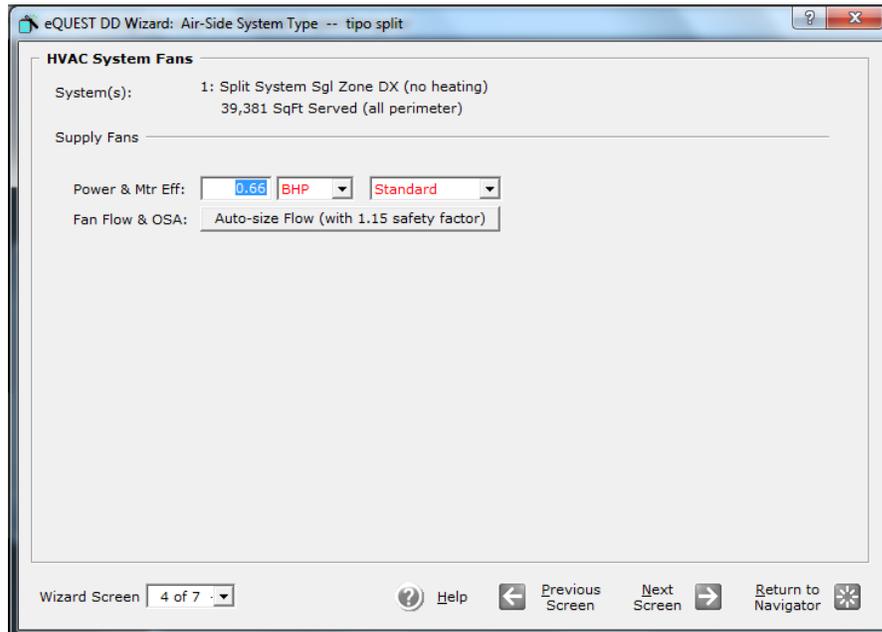


Figura 4.41 Sección HVAC System Fans; eQuest.

4.5.20 Horarios de Accionamientos de Aires Acondicionado (HVAC System #1 fan Schedule).

Se ha asumido que los aires acondicionados son utilizados en los mismos horarios de ocupación del edificio anteriormente estipulado, dichos horarios se muestran a continuación y que fueron explicados en el capítulo 1 y tomado en cuenta el calendario académico, aprobado por el Consejo Superior Universitario de la Universidad.

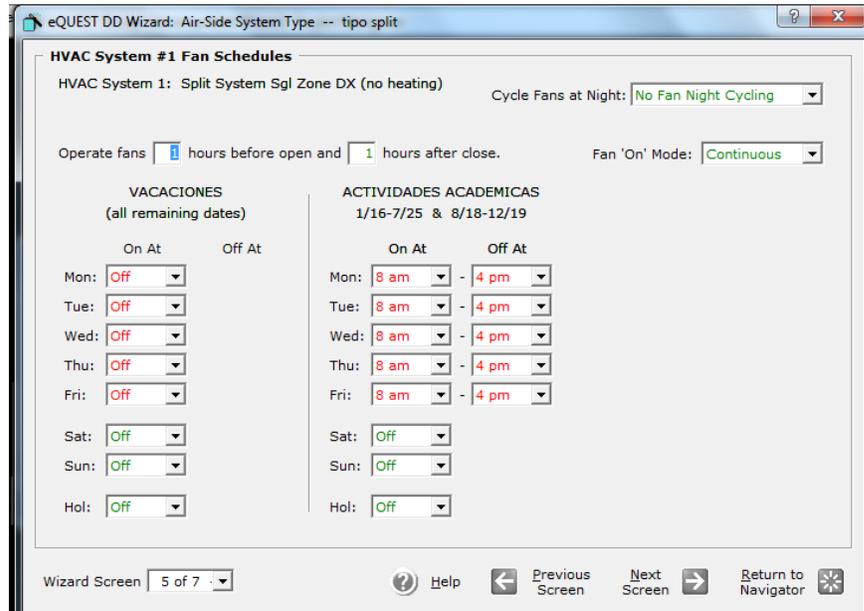


Figura 4.42 Sección HVAC System#1 Fan Schedule; eQuest; Sistema Split.

4.5.21 Sección de Economizadores y Modo Calefacción de HVAC (Zone Heating, Vent and Economizer).

El tipo de sistema HVAC, con el cual cuenta el edificio no suministra calefacción y no posee economizadores. Por tanto esta sección no necesita ser definida, tal y como se muestra en la figura:

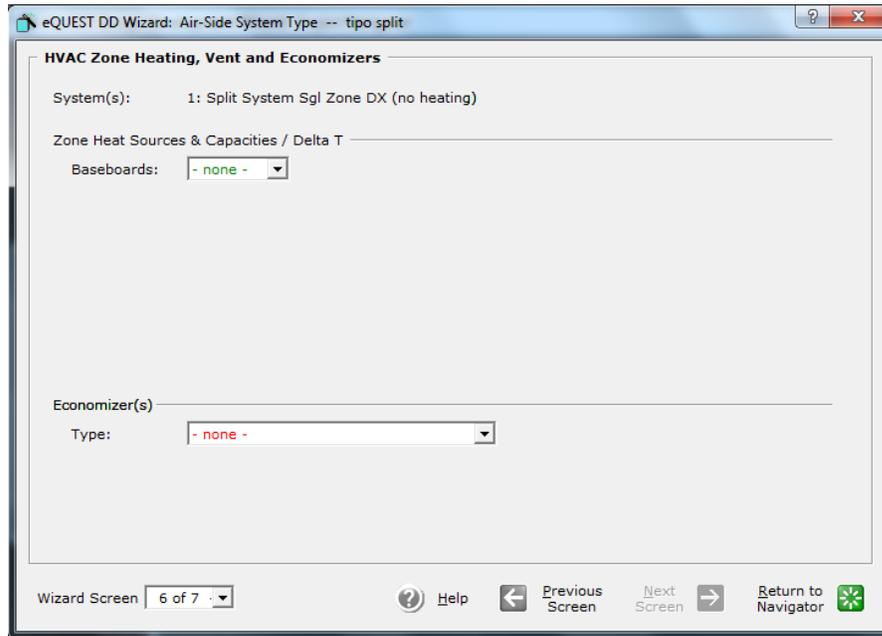


Figura 4.43 Sección HVAC Zone Heating, Vent and Economizer; eQuest.

4.6 Primer Modelo Generado (Edificio Real).

A partir de los datos introducidos al programa de simulación eQuest, y tomando en cuenta todos los parámetros establecidos anteriormente; podemos decir que se ha generado el primer modelo y reportes del edificio de Biblioteca de la Facultad Multidisciplinaria Oriental de la Universidad de El Salvador; en sus condiciones reales tal y como existe hasta la fecha.

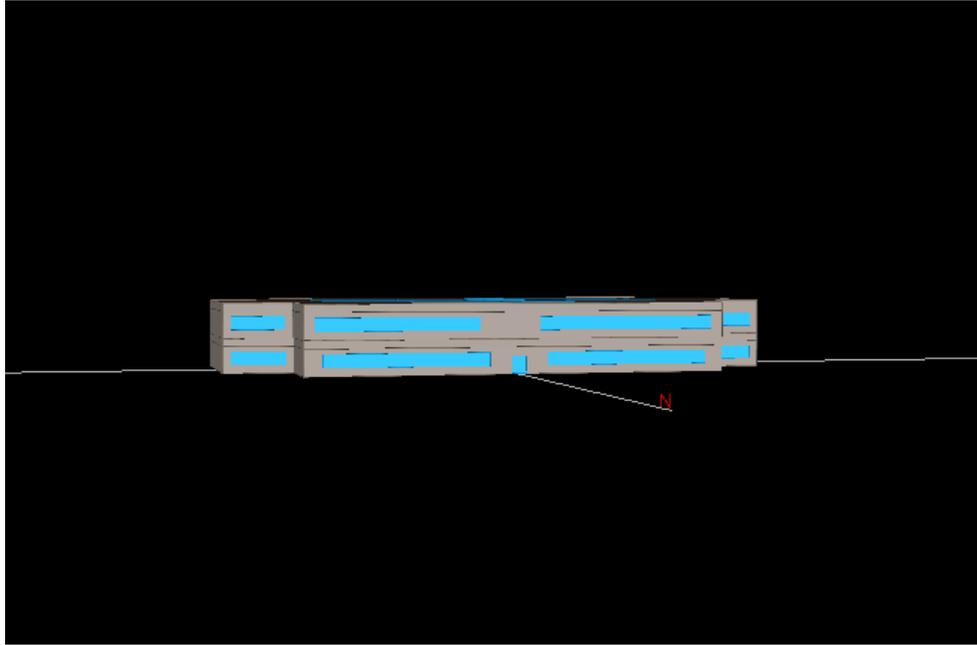


Figura 4.44 Modelo Generado de Edificio Biblioteca FMO-UES; eQuest.

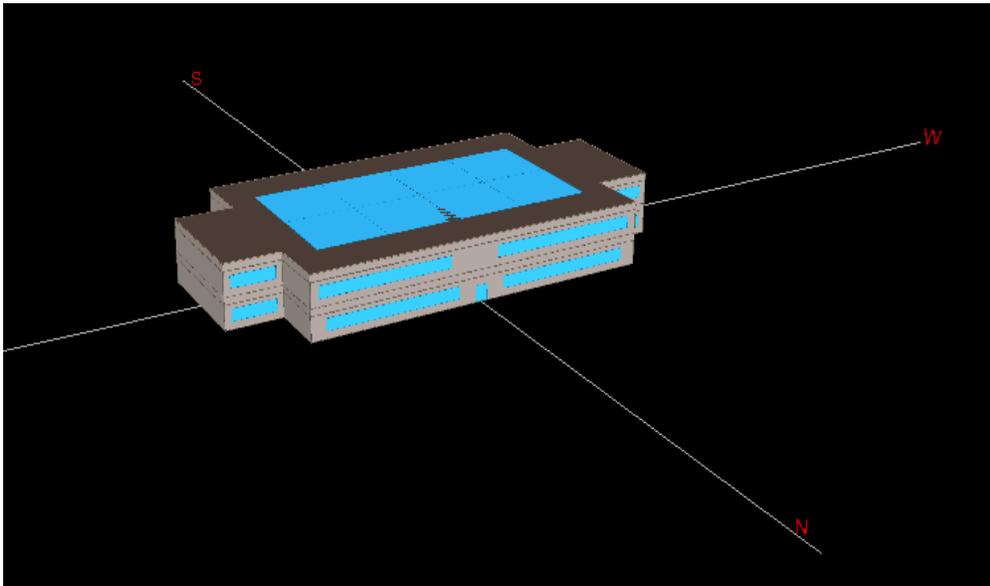


Figura 4.45 Vista de Primer Modelo Generado; eQuest.

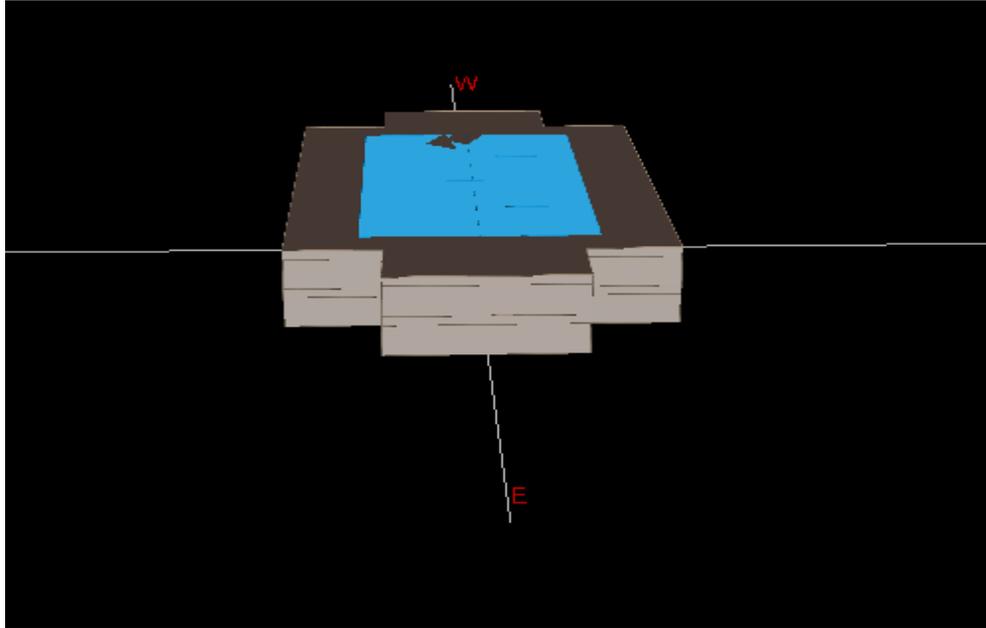


Figura 4.46 Vista Lateral de Primer Modelo Generado; eQuest.

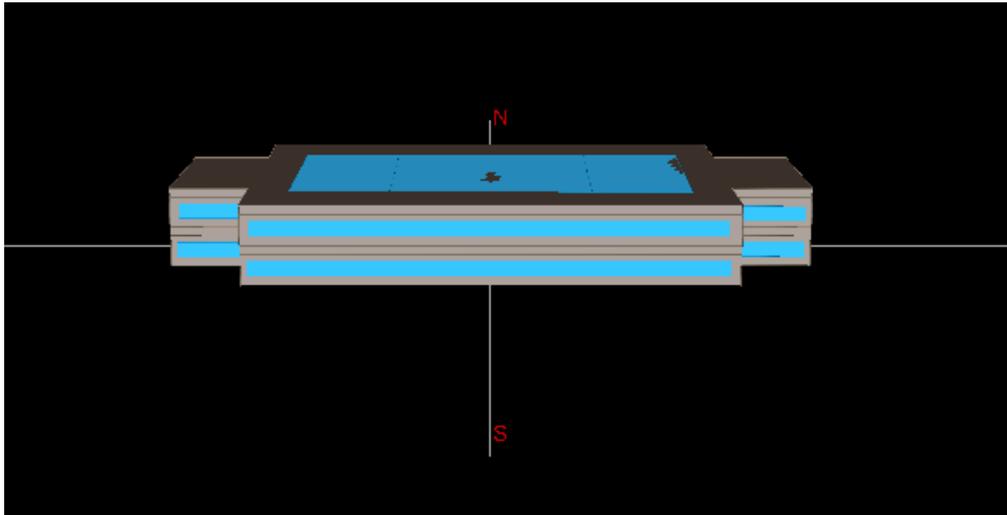


Figura 4.47 Vista Posterior de Primer Modelo Generado; eQuest.

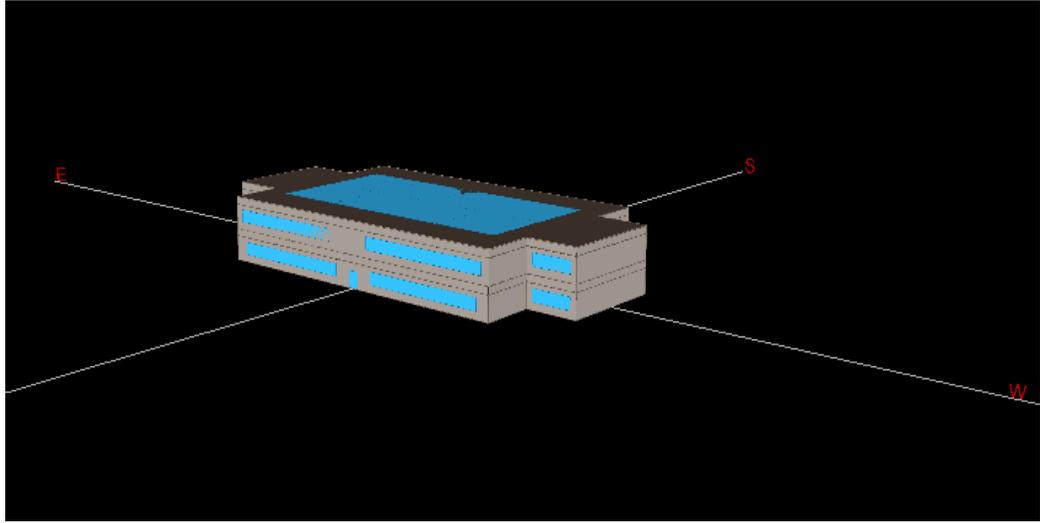


Figura 4.48 Modelo Generado por eQuest; Edificio de Biblioteca FMO-UES.

4.6.1 Tablas y Graficas de Reportes Generados del Primer Modelo Generado por eQuest.

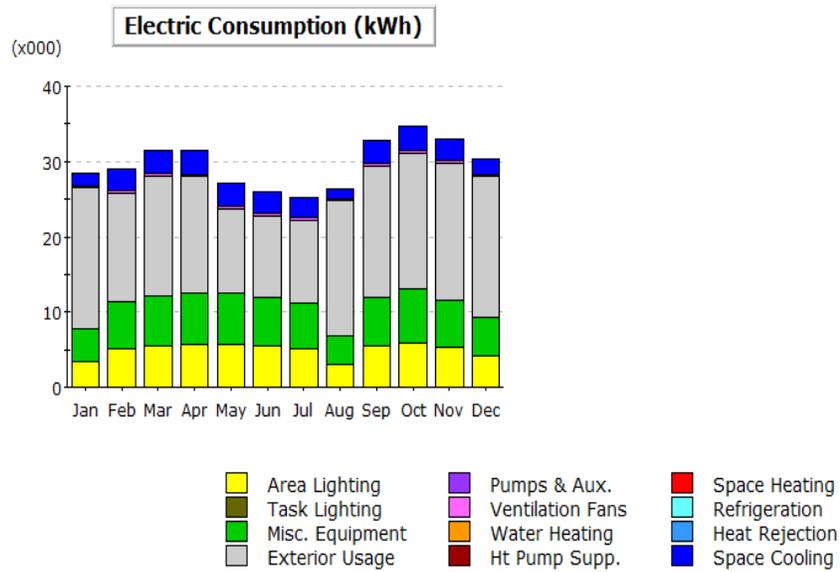
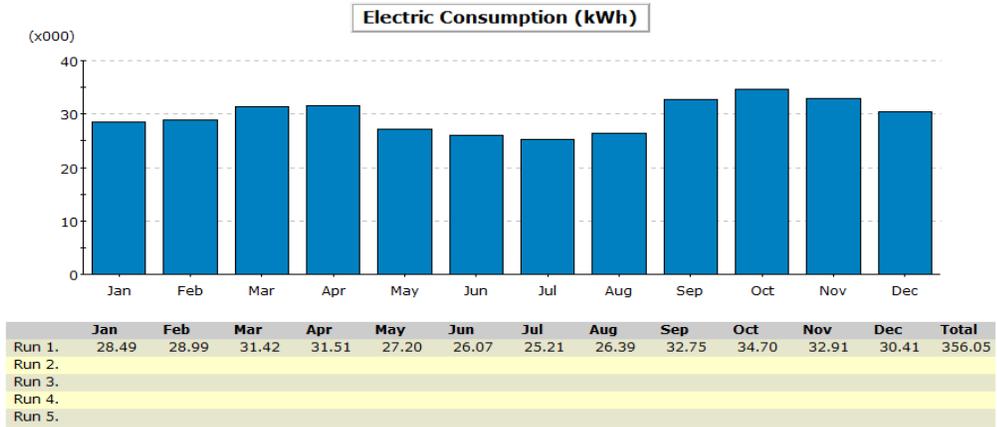
A continuación, se presenta una recopilación de toda la información arrojada por el software eQuest; para el primer modelo generado, el cual es el modelo base. Es decir el modelo que mostraba el edificio en estudio tal y como está en la realidad; con ciertas áreas acondicionadas; es decir con equipo HVAC del tipo mini-Split.

4.6.2 Análisis de Resultados de Primer Modelo (Edificio de Biblioteca en Condiciones Real).

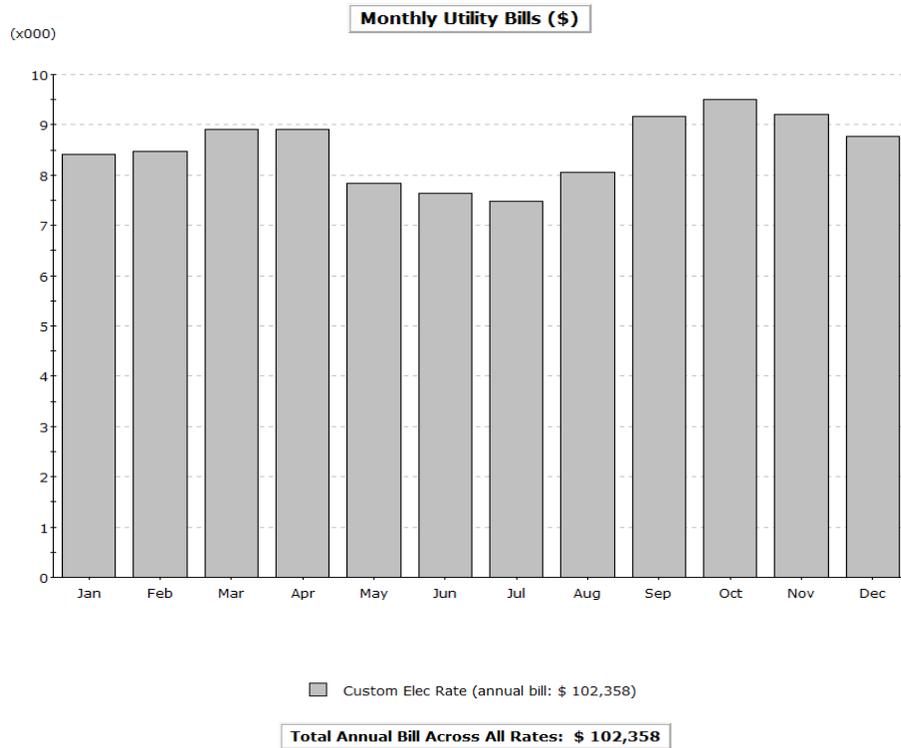
A partir de los resultados obtenidos del primer modelo; es decir del edificio tal y como se encuentra en la realidad, para un año de análisis completo podemos decir que; el consumo de energía eléctrica de todo el edificio es de alrededor de 356,005 kWh y un consumo de potencia anual de casi 935.08 kW lo que representa en costos anualmente de \$102,358. En la gráfica 4.3 podemos observar la distribución de cargas de acuerdo al tipo de uso; el cual el consumo de luces exteriores tiene alrededor de 53% de todas las cargas dicho aumento podría deberse a la cantidad de equipos conectados en las aulas o pasillos del edificio durante el ciclo académico.

Tabla 4.0 Consumo Eléctrico Mensual de Primer Modelo.

Electric Consumption (kWh x000)													
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
Space Cool	1.68	2.80	2.99	3.17	3.22	3.00	2.71	1.40	2.96	3.27	2.82	2.12	32.15
Heat Reject.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Refrigeration	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Space Heat	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HP Supp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hot Water	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Vent. Fans	0.20	0.33	0.35	0.36	0.36	0.35	0.31	0.17	0.35	0.38	0.33	0.25	3.75
Pumps & Aux.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ext. Usage	18.83	14.45	16.00	15.48	11.06	10.71	11.06	18.01	17.43	18.01	18.23	18.83	188.11
Misc. Equip.	4.27	6.24	6.61	6.83	6.87	6.57	6.09	3.75	6.57	7.13	6.31	5.05	72.28
Task Lights	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Area Lights	3.50	5.17	5.47	5.66	5.69	5.44	5.03	3.06	5.44	5.91	5.22	4.16	59.77
Total	28.49	28.99	31.42	31.51	27.20	26.07	25.21	26.39	32.75	34.70	32.91	30.41	356.05



Grafica 4.1 Consumo Eléctrico Mensual de Primer Modelo; eQuest.



Grafica 4.2 Costo Monetario Consumo de Electricidad de Primer Modelo; eQuest.

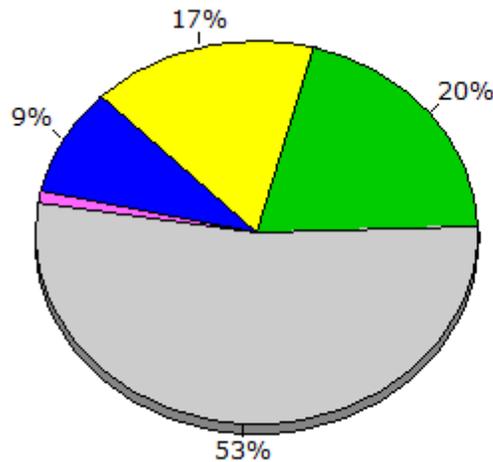
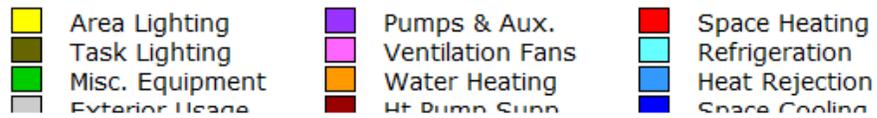
Tabla 4.1 Consumo de Potencia de Primer Modelo; eQuest.

Electric Demand (kW)													
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
Space Cool	-	-	-	-	19.24	18.41	18.48	-	-	-	-	-	56.13
Heat Reject.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Refrigeration	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Space Heat	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HP Supp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hot Water	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Vent. Fans	-	-	-	-	2.07	2.07	2.07	-	-	-	-	-	6.22
Pumps & Aux.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ext. Usage	53.09	53.09	53.09	53.09	-	-	-	53.09	53.09	53.09	53.09	53.09	477.77
Misc. Equip.	13.36	12.48	12.48	12.48	27.25	27.25	27.25	13.36	13.36	13.36	13.36	13.36	199.34
Task Lights	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Area Lights	15.28	14.32	14.32	14.32	20.33	20.33	20.33	15.28	15.28	15.28	15.28	15.28	195.63
Total	81.72	79.89	79.89	79.89	68.89	68.06	68.13	81.72	81.72	81.72	81.72	81.72	935.08

Tabla 4.2 Consumo Electrico de Acuerdo al tipo de Uso Primer Modelo; eQuest.

Annual Energy Consumption by Enduse

	Electricity kWh (x000)	Natural Gas Btu	Steam Btu	Chilled Water Btu
Space Cool	32.15	-	-	-
Heat Reject.	-	-	-	-
Refrigeration	-	-	-	-
Space Heat	-	-	-	-
HP Supp.	-	-	-	-
Hot Water	-	-	-	-
Vent. Fans	3.75	-	-	-
Pumps & Aux.	-	-	-	-
Ext. Usage	188.11	-	-	-
Misc. Equip.	72.28	-	-	-
Task Lights	-	-	-	-
Area Lights	59.77	-	-	-
Total	356.05	-	-	-



Grafica 4.3 Distribución de cargas de acuerdo al tipo de uso Primer Modelo; eQuest.

4.6.3 Tablas y Graficas de la Simulación de Segundo Modelo (Modelo Base) Generado por eQuest.

A continuación, se presenta una recopilación de toda la información arrojada por el software eQuest; para el segundo modelo generado, el cual suponía que todo el edificio en estudio; poseía un sistema HVAC del tipo Mini-Split.

Con esta información de este modelo servirá de parámetro de comparación para el sistema geotérmico GSHP.

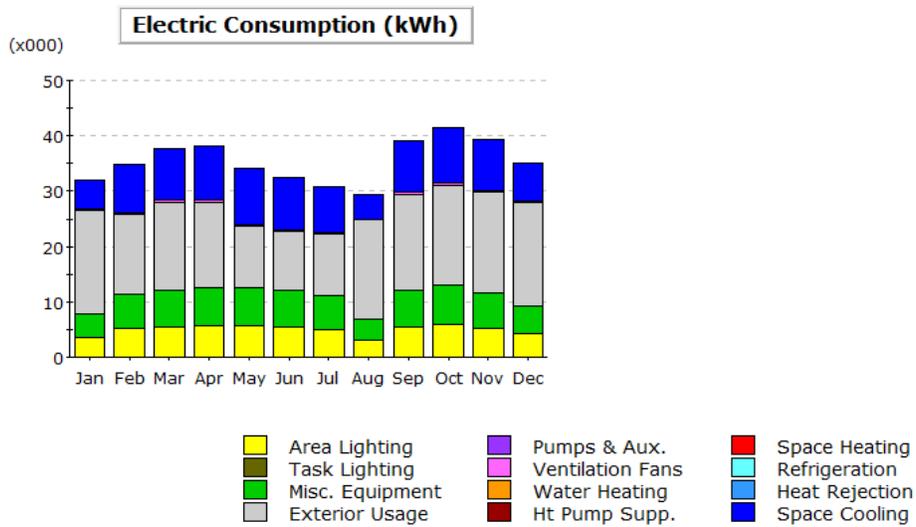
4.6.4 Análisis de Resultados de Segundo Modelo y Línea Base (Edificio con todas sus Áreas Acondicionada)

Con respecto a los resultados obtenidos anualmente de la simulación, suponiendo que todo el edificio posee aire acondicionado, podemos decir que en comparación con el primer modelo existe un aumento al consumo de energía eléctrica de casi 424,800 kWh y consumo de potencia de 1,331.4 kW generando un costo anual de \$123,226; podemos ver en la gráfica 4.7 que aún se mantiene con mayor porcentaje la carga de los equipos externos conectados en el edificio, también resulta un notable aumento a espacios acondicionados esto debido a que se simuló que todo el edificio poseía aire acondicionado.

Tabla 4.3 Consumo Eléctrico Mensual de Segundo Modelo.

Electric Consumption (kWh x000)

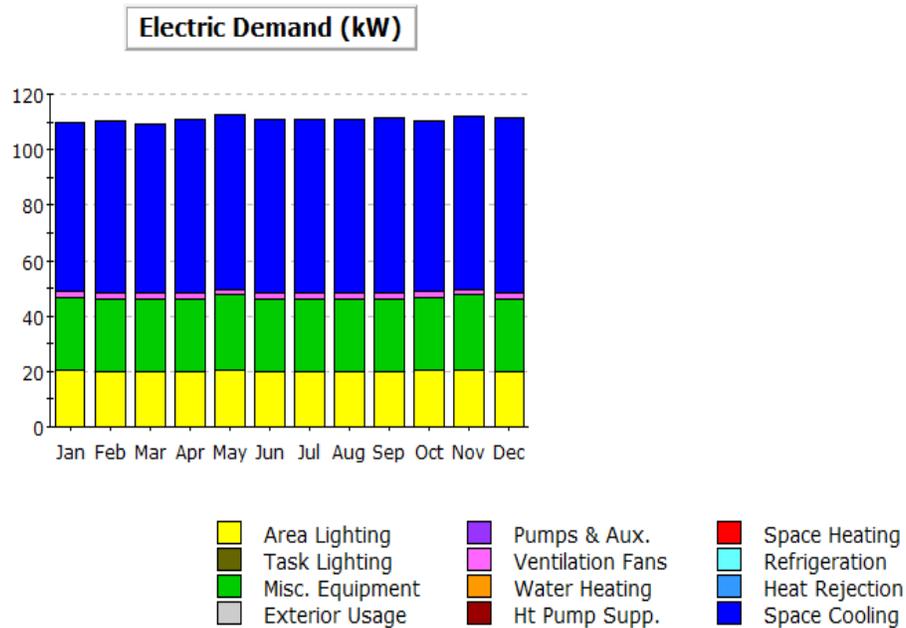
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
Space Cool	5.21	8.71	9.30	9.91	10.26	9.40	8.43	4.36	9.29	10.16	9.15	6.86	101.05
Heat Reject.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Refrigeration	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Space Heat	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HP Supp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hot Water	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Vent. Fans	0.19	0.32	0.33	0.35	0.35	0.33	0.30	0.16	0.33	0.37	0.32	0.24	3.60
Pumps & Aux.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ext. Usage	18.83	14.45	16.00	15.48	11.06	10.71	11.06	18.01	17.43	18.01	18.23	18.83	188.11
Misc. Equip.	4.27	6.24	6.61	6.83	6.87	6.57	6.09	3.75	6.57	7.13	6.31	5.05	72.28
Task Lights	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Area Lights	3.50	5.17	5.47	5.66	5.69	5.44	5.03	3.06	5.44	5.91	5.22	4.16	59.77
Total	32.01	34.88	37.72	38.24	34.23	32.46	30.92	29.34	39.07	41.57	39.23	35.14	424.80



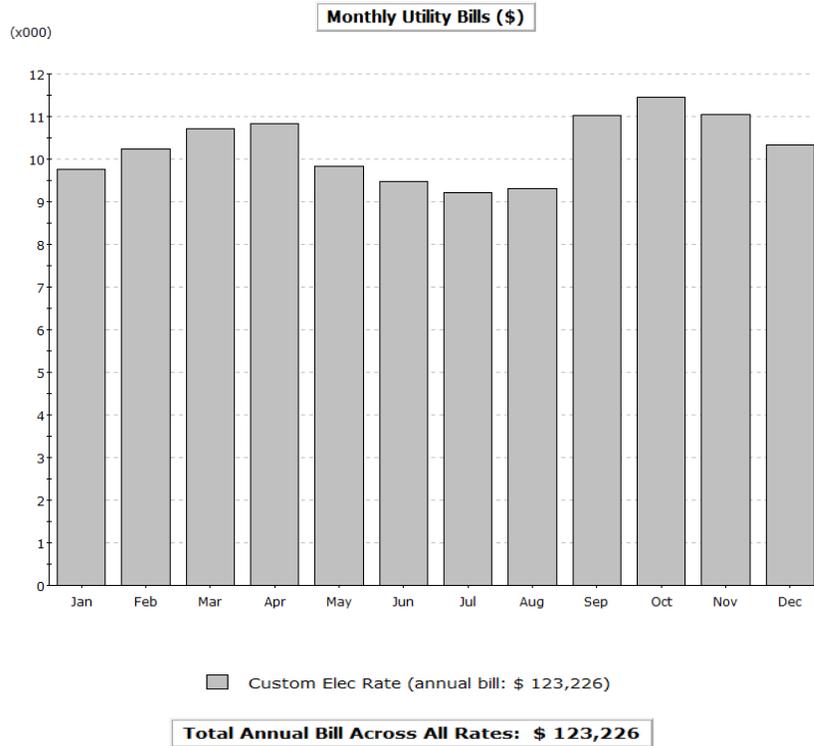
Grafica 4.4 Consumo Eléctrico Mensual de Segundo Modelo; eQuest.

Tabla 4.4 Consumo de Potencia Eléctrica de Segundo Modelo; eQuest.

Electric Demand (kW)													
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
Space Cool	60.7	62.4	61.3	62.8	62.9	62.8	62.8	62.5	63.5	61.7	62.4	63.6	749.5
Heat Reject.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Refrigeration	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Space Heat	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HP Supp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hot Water	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Vent. Fans	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	23.9
Pumps & Aux.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ext. Usage	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Misc. Equip.	26.6	26.1	26.1	26.1	27.2	26.1	26.1	26.1	26.1	26.6	27.2	26.1	316.5
Task Lights	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Area Lights	20.3	20.0	20.0	20.0	20.3	20.0	20.0	20.0	20.0	20.3	20.3	20.0	241.6
Total	109.6	110.5	109.5	110.9	112.4	110.9	110.9	110.7	111.6	110.6	112.0	111.7	1,331.4



Grafica 4.5 Consumo de Potencia Eléctrica de Segundo Modelo; eQuest.



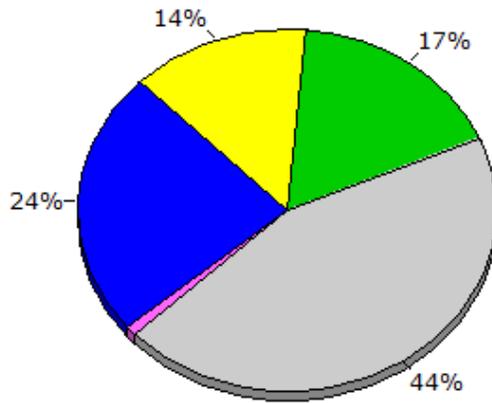
Grafica 4.6 Costo Monetario por Consumo de Electricidad de Segundo Modelo; eQuest.

Tabla 4.5 Consumo de Electricidad de acuerdo al tipo de uso Segundo Modelo; eQuest.

Annual Energy Consumption by Enduse

	Electricity kWh (x000)	Natural Gas Btu	Steam Btu	Chilled Water Btu
Space Cool	101.05	-	-	-
Heat Reject.	-	-	-	-
Refrigeration	-	-	-	-
Space Heat	-	-	-	-
HP Supp.	-	-	-	-
Hot Water	-	-	-	-
Vent. Fans	3.60	-	-	-
Pumps & Aux.	-	-	-	-
Ext. Usage	188.11	-	-	-
Misc. Equip.	72.28	-	-	-
Task Lights	-	-	-	-
Area Lights	59.77	-	-	-
Total	424.80	-	-	-

- | | | |
|---|---|---|
| Area Lighting | Pumps & Aux. | Space Heating |
| Task Lighting | Ventilation Fans | Refrigeration |
| Misc. Equipment | Water Heating | Heat Rejection |
| Exterior Usage | Ht Pump Supp | Space Cooling |



Electricity

Grafica 4.7 Distribución de Cargas de acuerdo al tipo de uso de Segundo Modelo; eQuest.

4.7 Simulación de Tercer Modelo de Sistema Geotérmico por eQuest.

A continuación se procederá a explicar detalladamente, cada uno de los parámetros de entrada requeridos por el programa de simulación energética; para después en un segundo momento, mostrar las pantallas en donde deberán ser ingresados dichos parámetros.

El desarrollo de este modelo, únicamente se diferencia del segundo modelo; en que este posee un sistema HVAC de otro tipo, es decir; este ha sido sustituido por un sistema GSHP del tipo tierra/aire.

Tomando en cuenta lo anteriormente explicado, únicamente se procederá a explicar la sección Definición de los Sistemas HVAC del Edificio; de igual manera que se hizo para el desarrollo del primer modelo base.

Los demás pasos explicados en el desarrollo del primer modelo base, son los mismos para este tercer modelo; definición de la cubierta del edificio, horarios de ocupación, iluminación, equipo de oficina, etc.

4.7.1 Introducción de los Parámetros de Entrada de Sistema Geotérmico.

Una vez especificados todos los parámetros de entrada del modelo geotérmico (GSHP), el número de perforaciones se considerara de 8 perforaciones; en un arreglo geométrico lineal, ya que lo descrito en el capítulo 1 en la sección de Número de Perforaciones podemos ver qué; para profundidades de 100 m (328 ft) se obtiene 15 kW de potencia de la capacidad que se quiere instalar; a partir del modelo base que se suponía que todo el edificio poseía aire acondicionado y con una demanda pico aproximadamente de 115 kW, con un espacio de perforación de 10m (33 ft) se procede a ingresar estos parámetros; tal y como se explicó en la sección Definición de los Sistemas HVAC del Edificio, en el desarrollo del primer modelo base generado.

4.7.2 Definición de los Sistemas HVAC del Edificio de Sistema Geotérmico.

Los sistemas HVAC, en eQuest; como ya vimos, en el primer modelo generado; son definidos en la pestaña Air-Side System Types, después de generar un nuevo sistema mediante la opción Create New System; será necesario editarlo a través de la opción

Edit Selected System. En dicha ventana de edición, será necesario definir todos los parámetros de entrada requeridos para generar un sistema HVAC; los cuales varían de acuerdo al sistema que se está generando.

A continuación, se explica paso a paso; las secciones correspondientes a la definición de sistemas HVAC en el programa de simulación energética eQuest que se tuvieron que llevar a cabo, para definir el sistema geotérmico en su totalidad.

En la opción HVAC System Types, del archivo de ayuda de la librería de eQuest; se deberá de buscar el equipo que se desee analizar, para este caso buscamos un sistema del tipo geotérmico (GSHP). Para nuestro caso, es la configuración DX Coils–DX Coils (Heat Pump); la que genera un sistema de este tipo.

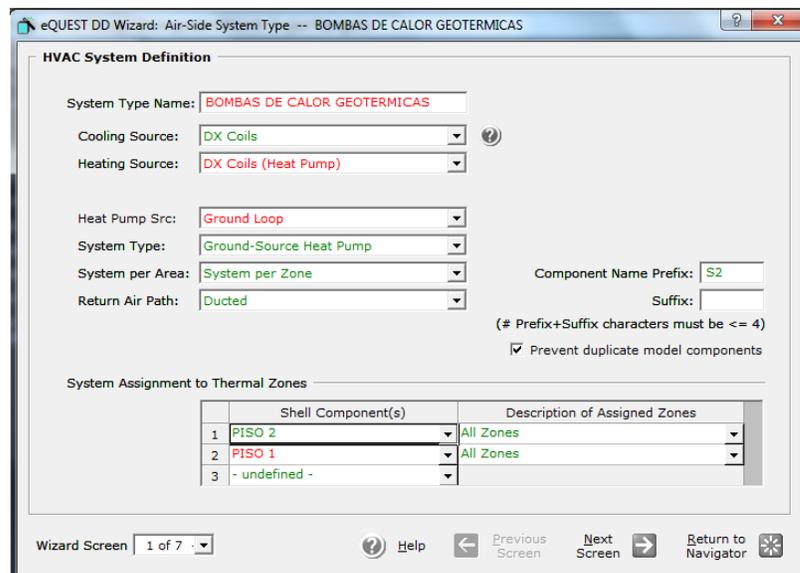


Figura 4.49 Sección HVAC System Definition Tercer Modelo; eQuest.

La configuración del termostato para este sistema, se ha dejado igual que el asumido en el sistema de aire acondicionado tipo mini-split (segundo modelo simulado); el cual se asumió que todo el edificio poseía en todas sus áreas aire acondicionado; es decir a 74°F sus termostato.

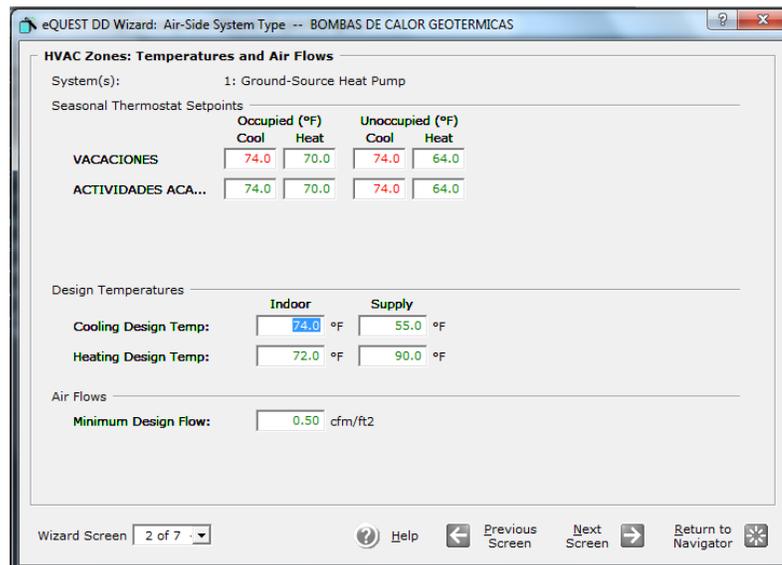


Figura 4.50 Sección de HVAC Zones de tercer modelo; eQuest.

En cuanto a la capacidad del sistema, como ésta es desconocida; pues ahora son más espacios acondicionados, que los que se tenían en el primer modelo generado; esta opción se ha dejado como Auto-Size, a fin de que sea el programa el que las dimensione; en base a los parámetros introducidos en la definición del tipo y uso del edificio.

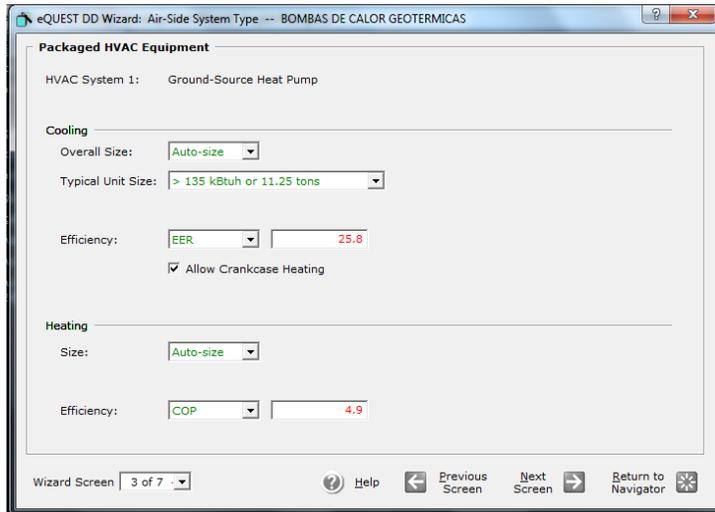


Figura 4.51 Sección Packaged HVAC Equipment Tercer Modelo; eQuest.

A fin de realizar una comparación justa, se han asumido los mismos horarios de ocupación que los asumidos en el modelado del sistema HVAC del tipo Mini-Split (segundo modelo generado); es decir los horarios de uso del edificio.

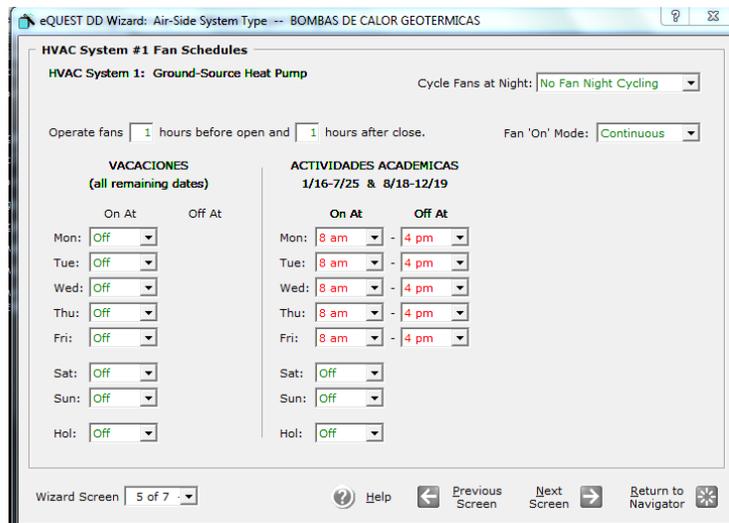


Figura 4.52 Sección HVAC System Ground Source Heat Pump; eQuest.

El sistema geotérmico (GSHP), con el cual cuenta el edificio no suministra calefacción y no posee economizadores. Por tanto ésta sección no necesita ser definida, tal y como se muestra a continuación.

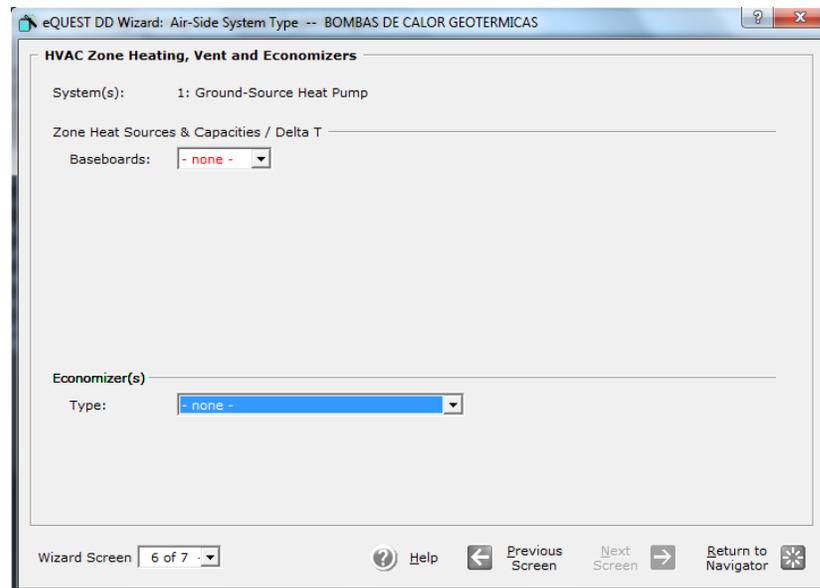


Figura 4.53 Sección HVAC Zone Heating and Economizers Tercer Modelo; eQuest.

4.7.3 Definición de las Variables de Entrada para el Intercambiador Geotérmico y Bomba de calor de Sistema Geotérmico (GSHP).

Es en ésta etapa, donde serán necesarios introducir todos los parámetros de entrada del segundo modelo del sistema geotérmico (GSHP) antes detallados.

A continuación se muestra una vista de todos los parámetros de entrada ya ingresados en esta etapa. Todos los parámetros acá definidos, ya han sido explicados; el único parámetro que no ha sido definido son las pérdidas de carga Head, de lazo del circuito geotérmico GSHP Loop; la cuales sino pueden ser calculadas (como es este caso pues no

conocemos la longitud de las tuberías ni de las ramas de conexión), en la librería de eQuest se recomienda dejar los valores de default; a fin de que estas pérdidas sean calculadas durante la simulación.

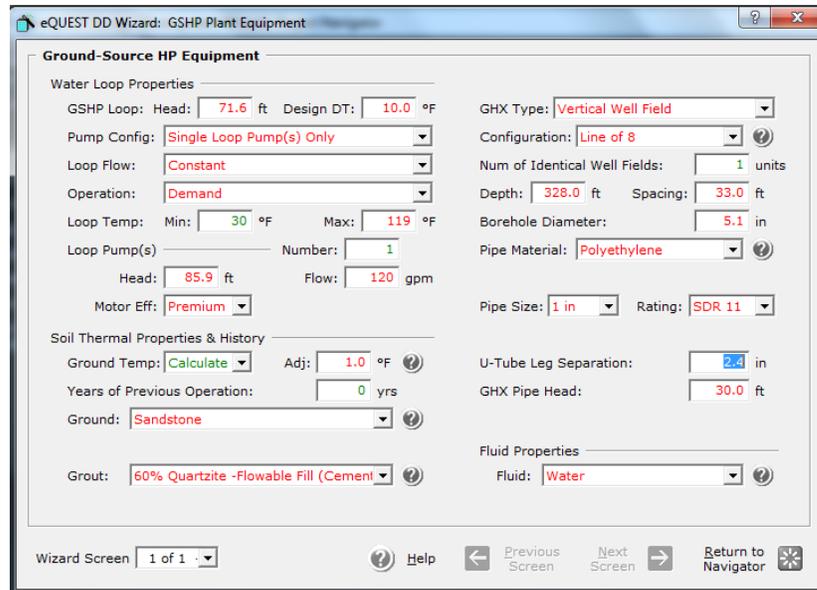


Figura 4.54 Sección Ground Source Heat Pump Tercer Modelo; eQuest.

Aparte de las modificaciones comunes a los otros modelos desarrollados, que tienen que llevarse a cabo; bajo este modo de edición, como por ejemplo: la introducción de todas las sombras de los alrededores. Una vez finalizado el modelo del sistema geotérmico (GSHP), desarrollado mediante la ayuda de los Wizards; será necesario hacer ciertas modificaciones en el modo detallado Detailed Data Edit, las cuales se explican a continuación.

Bajo el modo detallado Detailed Data Edit, accedemos a la pestaña Water-Side HVAC, donde podremos observar el Lado del Agua/Lado de Afuera de todo el sistema; tal y como se muestra a continuación.

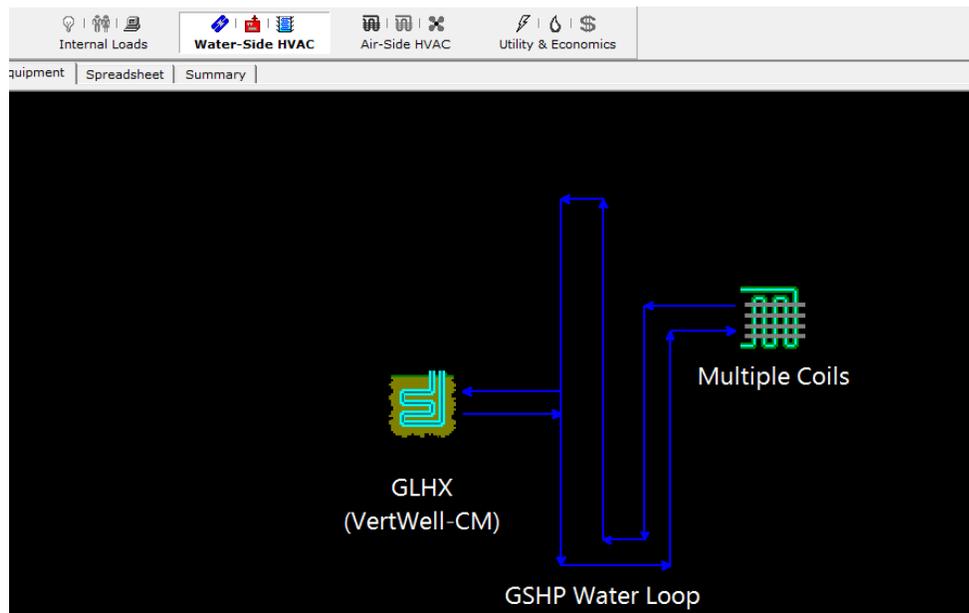


Figura 4.55 Sección lado del agua /lado de afuera de sistema geotérmico; eQuest.

Las modificaciones que debemos hacer, las hacemos accediendo (dando doble Click) al dibujo del intercambiador geotérmico (GLHX-VertWell-CM) y al lazo de agua del sistema geotérmico (GSHP Water Loop).

4.7.4 Remoción de Sistema de Calefacción Asignado por Default

Las otras modificaciones, las debemos hacer en el circuito del Lado del Aire/Lado de Adentro; esto se hace accediendo a la pestaña Air-Side HVAC, acá se procederá a

remover el sistema de calefacción agregado por default al sistema que se está analizando; tal y como se explica a continuación.

En el árbol de la izquierda podemos ver todos los sistemas HVAC (en este caso bombas de calor) que han sido asignadas al análisis.

Para eliminar el sistema de calefacción debemos hacer Doble Click, sobre el Serpentín Caliente de la bomba de calor (Heat Pump). Una vez hemos hecho Doble Click, accederemos a una ventana donde en las opciones Heat Source y Zone Heat Source; deberemos seleccionar Not Installed.

Se deberá hacer el mismo paso, para cada uno de los espacios acondicionados; hasta remover todos los serpentines calientes del sistema.



Figura 4.56 Sección del lado de aire/ lado de adentro de sistema sin remover calefacción; eQuest.

Una vez han sido removidos todos los serpentines calientes del sistema, el modelo visto desde el circuito del lado del aire/lado de adentro; toma la forma de la, que se presenta a continuación.

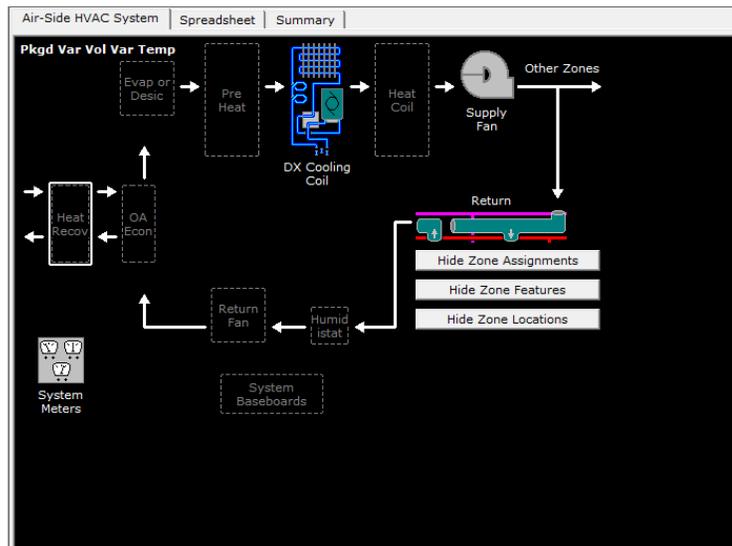


Figura 4.57 Sección de lado de aire/lado de adentro con la remoción de calefacción; eQuest.

Como ya se mencionó anteriormente, eQuest es capaz de generar reportes muy detallados; que incluye aspectos técnicos de gran interés, útiles durante el diseño del sistema.

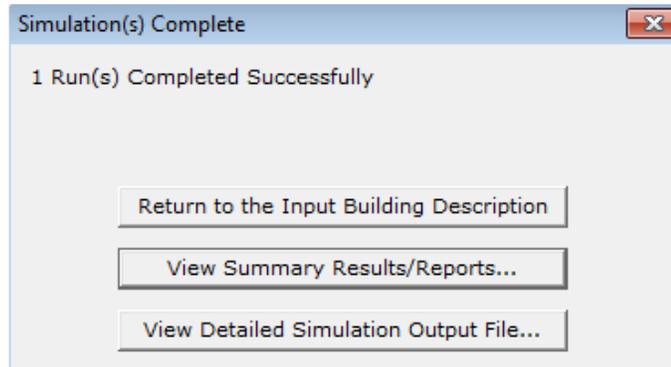


Figura 4.58 Sección de Simulation Complete.

4.8 Resultados de Simulación de Tercer Modelo GSHP.

A partir de los reportes arrojados por eQuest en la simulación del tercer modelo del sistema geotérmico podemos concluir lo siguiente:

Tabla 4.6 Cuadro Comparativo entre los sistemas Mini Split y Geotérmico; en Consumo de Kwh.

Comparación entre el Sistema Mini Split y Sistema Geotérmico		
Consumo de Energía Eléctrica en Kwh		
Sistema Mini Split	Sistema Geotérmico	Ahorro
424,800	348,336	76,464

Con respecto a esta tabla podemos ver que en comparación de los sistemas de mini split en todo el edificio y el sistema geotérmico; existe un ahorro de un 18% del consumo de energía eléctrica en Kwh al año. Por lo que podemos decir que el sistema geotérmico es confiable y económico.

Tabla 4.7 Cuadro Comparativo de Sistema Mini Split y Geotérmico; Costo Monetario Anual.

Comparación entre el Sistema Mini Split y Sistema Geotérmico		
Costo Monetario de Sistemas en \$		
Sistema Mini Split	Sistema Geotérmico	Ahorro
123,226	104,742.4	18,483.6

En esta tabla podemos ver que en cuanto al costo monetario de los sistema puesto en estudio; podemos decir que; existe un ahorro económico de un 15% en comparación al sistema mini Split en todo el edificio; es decir de \$18,483.6 al año.

En ésta etapa sólo se estimaron los ahorros en consumo eléctrico y costo asociado, que se obtendría de utilizar un sistema de este tipo; en vez de un aire acondicionado del tipo mini-split, posteriormente; en el último capítulo, se realizará un análisis económico un poco más detallado; a fin de determinar la viabilidad económica del proyecto.

Es importante recalcar también, que éste ahorro es sólo por consumo eléctrico; pues como veremos en el análisis económico que se realizará más adelante, existen otros ahorros asociados al uso de este tipo de equipo como por ejemplo:

- 1) Ahorro por mantenimiento: los sistemas GSHP, requieren mucho menos mantenimiento que los sistemas HVAC tradicionales.
- 2) Ahorro por no depreciación: con éste nos referimos a que al tener un tiempo de vida muy superior al de un sistema HVAC tradicional, no se tendría que estar comprando nuevo equipo; por lo menos no con la misma frecuencia que ocurre con un sistema HVAC tradicional.

3) Ahorro por incentivos: al ser un sistema ecológico, el dióxido de carbono no emitido (CO₂); incluso puede ser vendido a países del primer mundo a fin de que ellos queden frente a los organismos internacionales como países que cumplen con los acuerdos creados; en cuanto al cambio climático se refiere, dicho proceso se conoce como mercado de los bonos de carbono.

4.9 Conclusiones de Modelos Simulados.

En base a las simulaciones realizadas, en éste capítulo; se ha estimado, que al utilizar un sistema geotérmico (GSHP) de lazo cerrado del tipo vertical; para suplir la demanda de enfriamiento del edificio en estudio, existe un potencial en ahorro sólo por consumo eléctrico de alrededor de un 18% anualmente; durante los meses en los cuales se está impartiendo clases en la universidad; pues es en estos meses, que el sistema, está operando a plena carga, y hasta un 15% de ahorro en costos anualmente.

Es de considerar además, que el sistema geotérmico acá analizado, es el más sencillo que existe y que por ende es el que con menos ahorros se obtendría.

Hoy en día estos sistemas, son utilizados junto con otros sistemas de acondicionamiento; a fin de formar sistemas híbridos que permitan maximizar los ahorros posibles, que este tipo de sistemas pueden brindarnos.

Así pues tenemos sistemas GSHP, utilizados para suministrar agua a radiadores que son instalados entre las paredes, pisos y techos de los espacios acondicionados; los cuales son sistema pasivos de enfriamiento, es decir no consumen energía; más que la de la bomba que hace circular dicho fluido.

Dichos sistemas son conocidos como sistemas radiantes de enfriamiento, que basan su principio de funcionamiento en la transferencia de calor por radiación; la cual como sabemos, a no estarse desperdiciando energía enfriando el aire; permiten maximizar los ahorros.

Según estudios de la agencia de protección ambiental de los Estados Unidos (Environmental Protection Agency), conocida por sus siglas en inglés (EPA); dichos sistemas permiten ahorrar hasta un 70% sólo por consumo eléctrico, para sistemas diseñados para proporcionar calefacción, en cuanto para un sistema diseñado para proporcionar enfriamiento se esperaría obtener ahorros de hasta un 50%; obtenido de (<http://www.integratedrenewableenergy.com/fs/GSHP.pdf>, Julio 2010).

CAPITULO 5.0 ESTUDIO DE ANALISIS ECONOMICO DE SISTEMA GEOTERMICO.

Debido a que el análisis que se pretende realizar acá, es un análisis económico básico; relacionado a la puesta en marcha de un sistema de este tipo (GSHP), el cual pretende dar una idea primaria; de que tan factible, es su puesta en marcha; para acondicionar espacios habitados en El Salvador; en vez de un sistema de acondicionamiento tradicional; específicamente en este caso, un sistema HVAC del tipo mini-split. Se ha considerado utilizar, para dicho análisis; Excel y el software de análisis de proyectos de energía limpia, RETScreen International; ya que estos cuentan con fórmulas predefinidas en sus respectivas librerías, que permiten calcular; los factores económicos principales y suficientes; como para determinar si un proyecto es rentable, o si por el contrario no lo es.

Entre estos factores económicos tenemos:

- 1) Valor Actual Neto (VAN).
- 2) Tiempo de Recuperación Simple (SPB).
- 3) Tasa Interna de Retorno (TIR).
- 4) Entre otros.

5.1 Valor Actual Neto (VAN)

Un primer factor económico, que se tomará en cuenta para el estudio de la viabilidad económica del proyecto; es el valor actual neto (VAN), el cual es un indicador económico; que a partir de un procedimiento sencillo, permite calcular el valor en el presente; de un determinado número de flujos de caja, hechos a lo largo de un tiempo de análisis; para un determinado proyecto.

La metodología, consiste en descontar al momento actual; todos los flujos de caja, futuros del proyecto; tanto negativos (salidas de dinero, como por ejemplo: los costos por mantenimiento anuales asociados al equipo), como los positivos (entradas de dinero, como por ejemplo: los ahorros anuales asociados al uso de un determinado equipo).

A este valor traído al presente, se le resta la inversión inicial; de tal modo que el valor obtenido, es el Valor Actual Neto (VAN) del proyecto que se está evaluando.

Si el Valor Actual Neto (VAN), es positivo; el proyecto puede aceptarse y si por el contrario es negativo, el proyecto deberá ser rechazado; pues representa una disminución del capital de una empresa.

5.2 Tiempo de Recuperación Simple (SPB)

Al ser quizás el factor económico, más sencillo de analizar; permite mediante un cálculo rápido, tener una idea del tiempo estimado, en que se recuperaría la inversión inicial realizada; requerida para la puesta en marcha de proyecto.

Es un cálculo rápido que no considera ningún flujo de caja en el tiempo, más que el del Año 0; es decir sólo considera la inversión inicial y el ahorro anual, después de transcurrido dicho año.

5.3 Tasa Interna de Retorno (TIR)

Este factor económico, se define como la tasa de interés; para la cual el valor actual neto (VAN), es igual a cero.

Dicho factor económico, requiere de la tasa de rendimiento mínima y de la tasa de descuento real, a fin de comparar y determinar si resulta o no; factible, la realización del proyecto que se está evaluando.

Si el valor arrojado por el cálculo de la TIR, supera la tasa de descuento real, se acepta la inversión; en caso contrario deberá ser rechazada.

Como es de esperarse este tipo de sistemas, se caracterizan por tener un alto costo inicial; al compararlo con el de otros sistemas HVAC.

El análisis en el tiempo de ambos equipos (GSHP y mini-split), nos permite conocer de primera mano; el valor presente; de los costos asociados a cada equipo; pues como es de esperarse, aparte de la inversión inicial, existe una serie de gastos que deben realizarse a

lo largo de todo el tiempo de operación (tiempo de vida); uno de ellos, es el costo de mantenimiento.

Un sistema GHSP, además de poseer un tiempo de vida; mucho mayor que un sistema HVAC tradicional y operando a un excelente desempeño, tal y como pudimos observar en el Capítulo 4; posee un costo de mantenimiento mucho menor que un sistema HVAC. Por ende el beneficio económico, que de ellos podemos obtener; es aún mayor.

Además otro factor a considerar, es el costo de reemplazo; este representa el gasto que tiene que hacerse al final del tiempo de vida, a fin de reponer el equipo por uno nuevo.

Como es de esperarse, al tener un sistema HVAC; un tiempo de vida mucho menor, que el de un sistema GHSP; el costo de reemplazo se debe hacer en lapsos más cortos de tiempo; así pues por ejemplo, si el tiempo de vida de un aire acondicionado es 10 años; el cual es el tiempo de depreciación de éste, dicho tiempo, ha sido obtenido de un grupo de consultores, que se dedican a proporcionar soporte técnico a empresas; cuya página web es (<http://www.igafworldwide.org>, Marzo 2010), cada este tiempo, se deberá estar invirtiendo en la compra de nuevo equipo; por lo tanto, si un sistema GSHP; posee un tiempo de vida mayor, el beneficio económico, que de ellos podemos obtener; es aún mayor.

5.4 Suposiciones al Análisis Económico del Sistema Geotérmico.

Al igual que en los modelos presentados a lo largo de todo éste documento, también a la hora de realizar un modelo económico de un proyecto; es necesario, desde un principio; dejar en claro qué suposiciones y qué factores son los que serán tomados en cuenta en dicho modelo.

Para nuestro caso, tenemos dos suposiciones a tomar en cuenta; las cuales son: factores económicos y costos asociados al sistema.

Para la evaluación de los factores económicos, es necesario utilizar ciertos agentes económicos; a fin de traer los flujos de caja; del futuro al presente, considerando el valor del dinero en el tiempo, el cual como sabemos va cambiando.

En cuanto a los costos asociados al sistema, éstos abarcan todos los costos a considerar en la evaluación del proyecto; los cuales son:

- 1) Inversión inicial total.
- 2) Costos por mantenimiento.
- 3) Costo de reemplazo.

A continuación, se explican tanto los factores económicos, como los costos asociados al sistema, a considerar en este proyecto.

5.4.1 Factores Económicos a Evaluar

Como se había mencionado anteriormente, los factores económicos; claves para evaluar la rentabilidad de un proyecto, se considera que prácticamente son tres, los cuales son:

- 1) Valor Actual Neto (VAN).
- 2) Tiempo de Recuperación Simple (SPB).
- 3) Tasa Interna de Retorno (TIR).

En base a los agentes económicos, requeridos para evaluar un proyecto, las suposiciones que se harán, para nuestro caso son:

- 1) En una primera etapa, se asumirá que se tiene el dinero para realizar la inversión; por lo que no será necesario realizar un préstamo bancario.
- 2) Se supondrá que la tasa de descuento real es del 10%; esta es la que asume por default Excel. (Retscreen International).
- 3) Se considerará la depreciación del equipo, como un sólo monto; igual al precio inicial de compra; y que se realizará únicamente al final del tiempo de vida de éste y no anualmente como suele ser tomado en cuenta.

5.5 Costos Asociados a Sistema Geotérmico.

Como es de esperarse, debido a la alta eficiencia que presentan este tipo de sistemas; y por ende a los ahorros sumamente atractivos, que podrían obtenerse de ser utilizados, el costo inicial; requerido para llevar a cabo este proyecto, es considerablemente más alto que el de un sistema de acondicionamiento tradicional; para nuestro caso, que el de un aire acondicionado del tipo mini-split.

Ha sido posible conseguir información, únicamente de los costos que son detallados a continuación.

5.5.1 Costo del intercambiador de calor geotérmico

Representa la mayor parte de la inversión requerida, y en el caso de sistemas de lazo cerrado del tipo vertical; éste es estimado en base a la longitud de cada perforación hecha borehole. Los precios obtenidos, ya incluyen la colocación de los tubos en U, en cada una de las perforaciones hechas, así como la conexión entre las mismas.

5.5.2 Costo de las bombas de calor

Son las que suministrarán el aire, al espacio acondicionado; su precio es calculado en base a la capacidad instalada en el edificio (kW o Ton). Para nuestro caso, la capacidad instalada del edificio en estudio, ha sido obtenida de la simulación energética del sistema GSHP de segundo modelo, que se suponía que todo el edificio posee aire acondicionado en todas sus áreas.

5.5.3 Costo anual de mantenimiento

Frente al de otros tipos de sistemas HVAC, es el más bajo y es calculado en base al área del edificio que es acondicionada; la cual para nuestro caso, ha sido obtenida de la auditoria energética realizada al edificio en estudio.

Todos los precios que han sido obtenidos ya incluyen la instalación (mano de obra); aunque es de considerar, que este; podría ser un punto más a favor, en nuestro país; pues como sabemos la mano de obra en El Salvador, es mucho más barata que en otros países; para este caso ilustrativo, no ha sido variada; es decir se ha utilizado el valor obtenido de las fuentes consultadas.

5.6 Depreciación del Equipo a Considerar

5.6.1 Sistema Mini-Split

A fin de poder generar los flujos de efectivo y para poder calcular el costo de reemplazo, asociado a este equipo; el cual se da cada 10 años (tiempo de depreciación) y debido a que el tiempo de vida del sistema GSHP, el cual se ha asumido de 40 años; es mayor, y por ende deben repetirse los flujos de efectivo para que sea una comparación justa; ha sido necesario estimar una inversión inicial total, para la instalación de éste equipo.

5.6.2 Sistema Geotérmico GSHP

Para el caso del sistema GSHP, el tiempo de vida estimado del sistema es de 40 años; específicamente del intercambiador de calor, es decir del elemento que representa el mayor porcentaje de la inversión requerida; la cual ha sido estimada en base a los resultados de la temperatura de suministro, obtenidos del Capítulo 5; y al ser el tiempo de análisis de 40 años, no existe un costo de reemplazo asociado al intercambiador de calor.

En el caso de las bombas de calor, el tiempo de vida; éste según la bibliografía consultada, se estima que puede ser hasta de 25 años; considerablemente más alto que el del sistema mini-split, que era de un máximo de 10 años.

Considerando el tiempo de análisis, se asumirá que será necesario adquirir nuevo equipo de suministro del aire; es decir solamente de las bombas de calor, en el año 25 de dicho análisis.

5.7 Detalle de los Costos y Ahorros de los Modelos Simulados.

5.7.1 Intercambiador de Calor Geotérmico

Para estimar éste costo, nos basamos; en el sugerido en una de las fuentes consultadas.

En dicha fuente, en base al desarrollo de varios casos de estudio; llevados a cabo; en instalaciones domésticas, colegios y edificios comerciales; estiman que para un sistema geotérmico (GSHP), de lazo cerrado y del tipo vertical; el costo de perforación es alrededor de \$9.3/ft de perforación; obtenido de (NYC Department of Design & Constructions, Agosto 2002 p. 198).

Otra de las fuentes consultadas, estima dicho precio; en base a la capacidad instalada, recomendando así un valor de \$900/Ton; para sistemas que están por arriba de las 10 Ton, obtenido de (<http://geoheat.oit.edu/pdf/hp1.pdf>, Junio 2010).

También se pudo observar que los sistemas de lazo cerrado, tipo horizontal; aunque no han sido considerados en este análisis por lo expuesto en el Capítulo 1, son los que tienen el menor costo de instalación, el cual asciende a un costo alrededor de \$700/Ton; obtenido de (<http://geoheat.oit.edu/pdf/hp1.pdf>, Junio 2010). Mientras que el costo para sistema de lazo cerrado tipo vertical tiene un costo de \$946/Ton.

Conociendo que nuestra capacidad instalada es de 50 Ton, también conociendo que cada perforación tiene una profundidad de 328 ft y que el arreglo geométrico seleccionado, tiene 12 perforaciones; todos obtenidos de la simulación energética.

Tenemos que según la primer fuente consultada, el costo asociado al intercambiador geotérmico es de alrededor de \$47,300.

5.7.2 Bombas de Calor

En base a la bibliografía consultada, se estima que el costo de las bombas de calor que serán las encargadas de suministrar el aire a los espacios acondicionados, oscila entre \$400/Ton-\$500/Ton; obtenido de (NYC Department of Design & Constructions, Agosto 2002 p. 129).

Conociendo la capacidad instalada del edificio en estudio, la cual es de 50 Ton; en base a lo presentado en el Capítulo 4, y a la vez utilizado un valor promedio; de los precios obtenidos de dicha fuente consultada; es decir \$450 /Ton, tenemos que el costo asociado a la compra e instalación de las bombas de calor; sería alrededor de \$22,500.

5.7.3 Sistema Mini-Split

La inversión inicial total requerida, ha sido obtenida de la base de datos para los recursos de energías eficientes, Data base for Energy Efficient Resources (DEER), (<http://www.energy.ca.gov/deer/>, Junio 2010).

En dicha base datos, se estima que la inversión inicial total requerida; para instalar un sistema HVAC del tipo mini-split, es alrededor de \$535/Ton, y en base a la capacidad requerida (50 Ton) se tendría que dicha inversión sería alrededor de \$26,750 dicho valor será el costo de reemplazo que será asumido cada 10 años, a fin de completar el ciclo de análisis (40 años).

5.7.4 Costo Anual de Mantenimiento

Este incluye el costo anual necesario para realizar todas aquellas reparaciones y/o mantenimientos preventivos, que permiten al sistema seguir operando de forma continua y eficiente con el pasar de los años.

Como ya se ha dicho antes, estos sistemas al estar enterrados; están protegidos del medio ambiente, por lo que su mantenimiento es menor que el de otros sistemas de acondicionamiento.

El mantenimiento incluye limpiar filtros, revisiones periódicas en busca de fugas (en el circuito de distribución y en los manómetros de control), mantenimiento de las bombas de calor dentro del edificio; entre otros.

Según la sociedad americana de la calefacción, de la refrigeración y de ingenieros del aire acondicionado (ASHRAE), en su Hand Book; donde se provee un método estandarizado para el cálculos de los costos por mantenimiento de una gran serie de sistemas HVAC; los costos por mantenimiento para éste tipo de sistemas (GSHP); es alrededor de \$0.11/ft² (de espacio acondicionado).

En el caso de un sistema HVAC convencional (para nuestro caso un mini-split); este costo por mantenimiento es alrededor de \$0.50/ft² de espacio acondicionado; obtenido de (<http://www.energy.wsu.edu>, Julio 2010) .

5.7.5 Por Menores Mantenimientos Requeridos

Comparando ambos sistema podemos darnos cuenta, que sólo por el hecho de que el sistema GSHP requiere bajo mantenimiento; los ahorros en mantenimiento anual serían alrededor de \$2,100.

5.7.6 Por Tiempo de Vida Útil

Como resulta obvio al tener el sistema GSHP un tiempo de vida mayor, también existe un ahorro por no depreciación; de dicho equipo, pues en el caso de sistema HVAC del tipo mini-split; cada 10 años, se tendría que estar reponiendo el equipo.

El ahorro por no depreciación, ocurre en los años 10-20-30; del lapso de tiempo analizado; el cual es de 40 años. En esos años, se estaría ahorrando el costo de inversión total de éste sistema; el cual es de \$26,750.

Cabe mencionar que en este capítulo; en cuanto a los costos asociados al sistema que serán evaluados, éstos han sido obtenidos de la bibliografía consultada.

Únicamente se han considerado los costos, de los cuales ha sido posible obtener información; está claro que en la realidad será necesario considerar otros costos y las posibles variaciones respecto a los precios que pudiesen obtenerse en el país, debido a que los precios que acá son presentados; pertenecen a sistemas GSHP instalados en Norteamérica y Europa; principalmente.

Debido a que no se tienen datos de sistemas instalados en climas tropicales como nuestro país El Salvador, es que se ha decidido utilizar los precios de referencia; que son usados para las evaluaciones económicas, de este tipo de sistemas (GSHP-verticales); en los lugares antes dichos.

5.8 Parámetros de Entrada a Evaluar en Análisis Económico.

Tabla 5.1 Costos Unitarios para un sistema GSHP y Mini Splt.

Fuente: NYC Department of Design & Constructions-<http://www.energy.ca.gov/deer/>,

Costos Unitarios de los Sistemas	
Sistema GSHP	
Descripción	Precio Unitario
Perforación y Circuito Externo de Tuberías	946 \$/Ton
Bombas de Calor	450 \$/Ton
Mantenimiento Anual	0.11 \$/pie ² acondicionado
Sistema mini-split	
Equipo e Instalación	535 \$/Ton
Mantenimiento Anual	0.50 \$/pie ² acondicionado

5.9 Desarrollo de Análisis Económico sin Financiamiento.

Éste primer análisis, supone que para la realización del proyecto; se posee actualmente la inversión inicial total requerida, por lo que no será necesario solicitar un préstamo bancario.

Tabla 5.2 Agentes Económicos a evaluar en sistema GSHP.

AGENTES ECONOMICOS	VALOR	
TASA DE INFLACION	-	
TASA DE DESCUENTO REAL	10	
TASA DE RENDIMIENTO MINIMA	10	
TIEMPO DE ANALISIS	40	
COSTOS Y AHORROS ASOCIADOS AL SISTEMA	SISTEMA	VALOR
INTERCAMBIADOR DE CALOR GEOTERMICO	GSHP	\$47,300
BOMBA DE CALOR	GSHP	\$22,500
MANTENIMIENTO ANUAL	GSHP	\$756.25
INVERSION INICIAL TOTAL	GSHP	\$69,800
INVERSION INICIAL TOTAL	MINI SPLIT	\$26,750
MANTENIMIENTO ANUAL	MINI SPLIT	\$3437.50
AHORRO ANUAL POR ELECTRICIDAD	COMPARACION	\$18,483.60
AHORRO ANUAL POR MANTENIMIENTO	COMPARACION	\$2681.25
DEPRECIACION DE EQUIPOS	AÑO DE OCURRENCIA	VALOR
INTERCAMBIADOR DE CALOR GEOTERMICO	-	-
BOMBAS DE CALOR	25	\$22,500
SISTEMA MINI-SPLIT	10	\$26,750
AHORRO POR NO DEPRECIACION	10-20-30	\$26,750
AHORRO PROMEDIO INCLUYENDO DEPRECIACION	ANUAL	\$9810.41

En la Gráfica 5-1, que se presenta a continuación; podemos observar, que tal y como se había mencionado ya anteriormente; de los costos asociados a un sistema de éste tipo, los costos relacionados a la compra e instalación del intercambiador geotérmico, son los

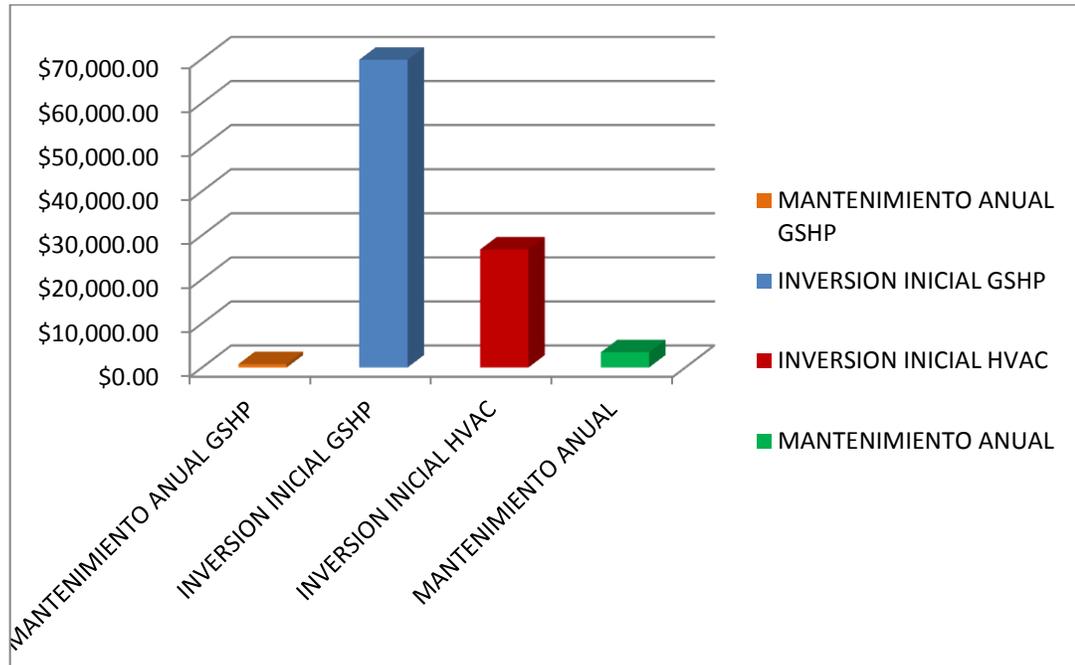
mayores, representando un 67%; mientras que los costos menores, tal y como se esperaba; están asociados al mantenimiento del equipo representando, sólo un 1%.



Grafica 5-1 Costos asociados al sistema geotérmico de baja entalpia.

En cuanto a la comparación de ambos sistema; GSHP y Mini Split los costos de mantenimiento e inversión inicial de ambos sistemas GSHP y Mini Split; es considerablemente bajo que un sistema HVAC tradicional; ver la gráfica 5-2.

Con el análisis de estos datos podemos decir que alrededor de un 72% menos es la inversión inicial de un sistema HVAC tradicional que un GSHP; y que el 18% menos en costos de mantenimiento anual un sistema GSHP con relación a un sistema HVAC tradicional.



Grafica 5-2 Comparación de costos de mantenimiento e inversión inicial de sistemas GSHP Y HVAC tradicional.

A partir de los parámetros de entrada y agentes económicos de los sistemas que se analizan; podemos observar un flujo de caja acumulado a lo largo de los 40 años de vida del proyecto; que ha sido obtenido del análisis realizado en el software RETScreen International.

Por lo que los resultados obtenidos a partir de Retscreen International y haciendo el cálculo de VAN tenemos:

FACTOR ECONOMICO	VALOR
VNA	\$52,528.33
SPB	8 años
TIR	12.9%

Análisis Financiero

Parámetros financieros

Tasa de inflación	%	
Tiempo de vida del proyecto	año	40
Relación de deuda	%	

Costos iniciales

Otro	\$	69,800	100.0%
Costos iniciales totales	\$	69,800	100.0%

Incentivos y donaciones

	\$		0.0%
--	----	--	------

Costos anuales/pagos de deuda

Costo de O y M (ahorros)	\$	
Costo de combustible - caso propuesto	\$	0
Otro	\$	756
Costos anuales totales	\$	756

Ahorros y renta anuales

Costo de combustible - caso base	\$	0
Otro	\$	9,795
Total renta y ahorros anuales	\$	9,795

Viabilidad financiera

TIR antes - impuestos - activos	%	12.8%
Pago simple de retorno del capital	año	7.7
Repago - capital	año	7.7

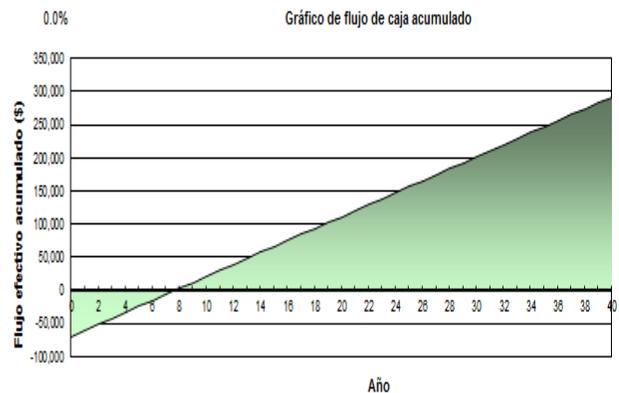
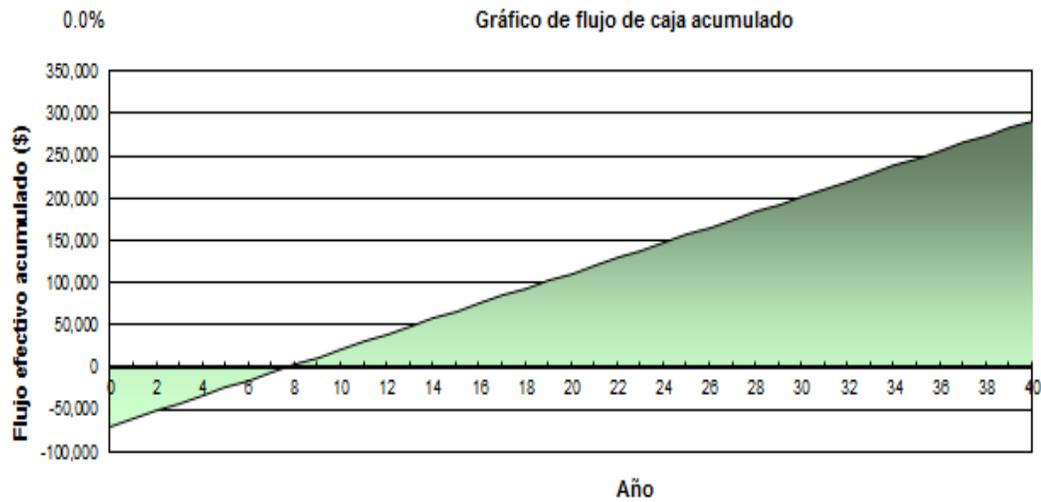


Figura 5.1 Grafica de flujo de caja acumulado; Fuente: Retscreen Internacional.



Grafica 5-3 Flujo de caja acumulado vrs Flujo efectivo acumulado. Fuente: Retcreen International.

En base al análisis de dichos factores económicos, podemos observar en grafica 5-3; que aún con un capital 100% propio la realización del proyecto resulta factible; ya que la TIR obtenida para este caso es del 12.9%, es decir 2.9% arriba de la tasa de rendimiento mínima esperada (10%). En cuanto al VAN del proyecto este es de \$ 52,528.33 lo cual es sumamente atractivo y la inversión realizada se recupera en apenas un poco menos de 8 años; es decir aún le quedan 32 años de vida al proyecto.

CAPITULO 6.0 CONCLUSIONES GENERALES

La finalidad de esta investigación, es determinar la factibilidad del uso del sistema geotérmicos de las bombas de calor de baja entalpia a las condiciones de medio ambiente de la zona oriental de nuestro país; dicha viabilidad fueron evaluadas en tres puntos: económica, ambienta, y técnica enmarcadas al sistema GSHP del tipo vertical a un edificio ubicado en la Facultad Multidisciplinaria Oriental de la Universidad de El Salvador.

En cuanto a la viabilidad técnica, en esta se pretende analizar el comportamiento del equipo bajo las condiciones climáticas locales; a la vez que se desea comparar su desempeño con el de un sistema de acondicionamiento tradicional (en este caso se ha comparado con un sistema HVAC del tipo mini-Split), a fin de obtener los ahorros en consumo eléctrico y costo asociado al uso de los mismos.

- En base a las simulaciones realizadas, se ha logrado obtener resultados; que al utilizar un sistema geotérmico (GSHP) de lazo cerrado del tipo vertical tal como se explicó anteriormente; para suplir la demanda de enfriamiento del edificio en estudio, existe un potencial en ahorro sólo por consumo eléctrico de alrededor de un 18% anualmente; durante los meses en los cuales se está impartiendo clases en la universidad; pues es en estos meses, que el sistema, está operando a plena carga, y hasta un 15% de ahorro en costos anualmente.

Es de considerar además, que el sistema geotérmico acá analizado, es el más sencillo que existe y que por ende es el que con menos ahorros se obtendría.

- De una forma global se realizó un estudio económico de costo del sistema, a fin de poder concluir si podrían ser utilizados para el acondicionamiento de espacios habitados en El Salvador. Mediante el estudio llevado a cabo, se ha determinado que si es factible; la utilización de un sistema geotérmico (GSHP) para acondicionar espacios habitados en climas tropicales; específicamente en El Salvador.
- Es factible el desarrollar un proyecto de este tipo en la zona oriental de El Salvador, presentando a partir del análisis de software Retscreen International con una TIR de 12.9%.
- El tiempo promedio de retorno de la inversión según el análisis; es de 8 años, lo cual se convierte en un atractivo económico y ambiental. El análisis de vida del proyecto se asumió de 40 años para estos sistemas según la bibliografía consultada. Los costos asociados a los sistemas GSHP Y Mini Split son en base a países de Estados Unidos y Europa; ya que en nuestra región son sistemas que aún no se aplican; están en plena investigación.

- También se ha podido determinar que no existen riesgos de contaminación ambiental, en caso de que se produjese una fuga en el sistema; pues en este caso el fluido de trabajo es únicamente agua.
- El sistema GSHP, ayuda a proteger el medio ambiente pues al reducir el consumo eléctrico; disminuye considerablemente la quema de combustibles fósiles y las emisiones de CO₂. Incluso al ser un sistema eco-amigable, es posible conseguir algún tipo de incentivos por parte de instituciones del gobierno y ONGs; que se encuentren comprometidas con el cuidado del medio ambiente, permitiendo así maximizar los ahorros

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- U.S. Department of Energy (Departamento de Energía de los Estados Unidos),<http://www.eere.energy.gov/>,Junio 2010.
- Servicio Nacional de Estudios Territoriales, <http://www.snet.gob.sv>.
- RETScreen International, <http://www.etscreen.net/>
- DOE2,<http://www.doe2.com/equest/>
- U.S. Department of Energy (Departamento de Energía de los Estados Unidos),http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather_data.
- Banks, David. 2008. An Introduction To Thermogeology, Ground Source Heating And Cooling.(Blackwell Publishing ed.). Newcastle-upon-Tyne, Reino Unido (UK) : s.n., 2008. págs. 57-296.
- Geothermal International España, <http://www.giesp.es/>
- Integrated Renewable Energy (Fact Sheet Ground Source Heat Pumps),<http://www.integratedrenewableenergy.com/fs/GSHP.pdf>
- NYC Department of Design & Constructions. Agosto 2002. Geothermal Heat Pump Manual.(na. ed.). New York, Estados Unidos : s.n., Agosto 2002. págs. 60-211.
- DOE2,<http://www.doe2.com/equest/>

- Chair, Dr. James R. Jones, Schubert, Professor Robert y Randolph, Dr. John. 2008. Energy Performance and Economic Evaluations of the Geothermal Heat Pump. (na ed.). Virginia, Estados Unidos : s.n., 2008.
- www.siget.gob.sv
- Geothermal International España, <http://www.giesp.es/>, Diciembre 2009.
- Fridleifsson, I.B., R. Bertani, E. Huenges, J.W. Lund, A. Ragnarsson, and L. Rybach, 2008. The possible role and contribution of geothermal energy to the mitigation of climate change. In: O. Hohmeyer and T. Trittin (eds.), IPCC Scoping Meeting on Renewable Energy Sources, Proceedings, Luebeck, Germany, 20-25 January 2008, pp. 59-80.

GLOSARIO DE TERMINOS TECNICOS

- **ASHRAE:** Sociedad Americana de la Calefacción, de la Refrigeración y de Ingenieros del Aire Acondicionado (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers).
- **Building Envelope Construction:** Construcción envolvente del edificio.
- **Coeficiente de rendimiento (COP):** Es la medida de la eficiencia de la bomba de calor. Esta es determinada dividiendo la salida de energía de la bomba de calor entre la energía eléctrica u otro tipo de energía requerida para hacer funcionar dicha bomba; a una temperatura específica. Entre más alto sea el COP, más eficiente es la bomba de calor.
- **Condensador:** Es un serpentín, en el cual el refrigerante emite el calor a su alrededor y se convierte en líquido.
- **Confort térmico:** Es una sensación neutra de la persona respecto a un ambiente térmico determinado.
- **Deshumidificadores:** Son aparatos que se encargan de controlar la humedad de un espacio habitado mediante la extracción del vapor de agua contenido en el aire.
- **DOE:** U.S. Department of Energy (Departamento de Energía de los Estados Unidos).

- **Energy Efficiency Ratio (EER), (Índice de Eficiencia Energética):** Mide la eficiencia de enfriamiento en estado estacionario de una bomba de calor. Ésta es determinada dividiendo la capacidad de enfriamiento de la bomba de calor, entre la entrada total de energía; a una determinada temperatura. Entre más alto es el EER, más eficiente es el sistema.
- **Electric Utility Charge:** Cargos por servicio eléctrico
- **Heating Seasonal Performance Factor (HSPF), (Factor de Rendimiento de Calefacción Estacional):** Es una medida de la producción total de calor, durante el período de uso normal de calefacción dividida entre la entrada total de energía que es utilizado durante ese tiempo.
- **Punto de equilibrio térmico:** Es la temperatura a la cual la cantidad de calor proporcionada por la bomba de calor es igual a la cantidad de calor perdido en el espacio habitado.
- **Refrigerante:** Es una sustancia líquida o gaseosa, que circula a través de la bomba de calor o un dispositivo frigorífico; alternativamente absorbiendo, transportando y liberando calor.
- **Seasonal Energy Efficiency Ratio (SEER), (Factor de Eficiencia Energética Estacional):** Mide la eficiencia de enfriamiento de una bomba de calor, durante el período de uso normal de enfriamiento. Ésta es determinada dividiendo el total de enfriamiento provisto a lo largo de la temporada fría, entre el total de energía suministrado a la bomba de calor para hacerla funcionar.

- **Serpentín:** Es un lazo de tubería a través del cual se produce un intercambio de calor, dicha tubería puede tener aletas para incrementar el área superficial disponible para el intercambio de calor.
- **Sección Building Operation Schedule:** Horario de Operación del Edificio.
- **Seccion Activity Areas Allocation:** Sección de áreas de actividades.
- **Season Definition:** Definición de temporadas durante el año.
- **Tonelada de refrigeración (Ton):** Es una medida que nos indica la capacidad de refrigeración o calefacción de la bomba de calor. Una tonelada de refrigeración es equivalente a 3.5 kW o 12,000 Btu/h
- **Factibilidad de un Proyecto:** Un proyecto es factible cuando es viable a nivel técnico, ambiental, financiero y socioeconómico, por lo tanto se puede ejecutar.
- **Flujos de Caja:** Representación gráfica de la secuencia de ingresos y egresos en un lapso de tiempo dentro de una operación financiera. Diferencia entre los cobros y pagos de una empresa en un período de tiempo determinado.
- **Flujo de Caja Acumulado:** Consiste en ir acumulando los importes del flujo de caja. Éste acumulado se compone de costes e ingresos.
- **Holiday Observed:** Días festivos durante el año
- **Rentabilidad del Proyecto:** Es un índice que mide la relación entre utilidades o beneficios, y la inversión o los recursos que se utilizaron para obtenerlos. Hace referencia a que el proyecto de inversión de una empresa pueda generar suficientes beneficios para recuperar lo invertido y la tasa deseada por el inversionista.

- **Tasa de Descuento Nominal:** Representa la tasa de rendimiento mínima, exigida a una inversión; bajo condiciones inflacionarias
- **Tasa de Inflación:** Representa el cambio porcentual, que experimentan los índices de precios de la economía; durante un período de tiempo.
- **Tasa interna de retorno (TIR):** La tasa de interés con la cual el valor actual neto o valor presente neto (VAN o VPN) es igual a cero. La tasa interna de retorno es un indicador de la rentabilidad de un proyecto, que se lee a mayor TIR, mayor rentabilidad.
- **Tasa de Interés Bancario:** es utilizada, si se considera necesario hacer un préstamo bancario, ya sea por el valor total del proyecto; o por parte de este
- **Tasa de Rendimiento:** es estipulada por la empresa y/o inversionista interesado en el proyecto, cualquier TIR por debajo de esta; indicará que el proyecto no es rentable.
- **Tiempo de recuperación simple (SPB):** El tiempo o periodo de recuperación simple es el tiempo que se necesita para poder recuperar el dinero que se invirtió inicialmente en un negocio o proyecto. El tiempo de recuperación simple considera los flujos de efectivo sin tomar en cuenta el valor del dinero en el tiempo.
- **Tiempo de análisis:** Es el tiempo de vida de un proyecto. Período durante el cual se ejecutará un proyecto.

- **Valor Actual Neto (VAN):** Es el valor que tendrían en el momento actual todos los cobros y pagos que se prevé que genere en el futuro un determinado activo financiero. Para traer o descontar esos flujos, en general se emplea un tipo de interés apropiado al riesgo y al horizonte temporal de dicho activo, bajo la hipótesis de que se mantendrá sin cambios durante toda la vida de la inversión (esta premisa suele emplearse por simplicidad operativa).
- **Valor presente:** Es el valor actual de los flujos de fondos futuros descontados a una tasa de descuento.
- **Viabilidad de un proyecto:** Es cuando el proyecto tiene probabilidades de llevarse a cabo o de concretarse gracias a sus circunstancias o características. El análisis de viabilidad es un estudio que intenta predecir el eventual éxito o fracaso de un proyecto.

ANEXOS

ANEXOS

A continuación se presenta una serie de consideraciones que deben ser tomadas en cuenta a la hora de dimensionar un sistema geotérmico (GSHP); según lo que ha sido explicado en los primeros capítulos de la presente tesis.

➤ **ESQUEMA DEL TIPO DE DISTRIBUCIÓN POSIBLES EN UN SISTEMA GSHP DE CONFIGURACIÓN HORIZONTAL Y VERTICAL**

A continuación, se presenta un esquema de los tipos de distribución; que pueden ser utilizados en un sistema GSHP de lazo cerrado, en arreglo horizontal y vertical; respectivamente. En la Figura A- 1, sección (a) se muestra un circuito en serie; mientras que en la sección (b) un circuito en paralelo.

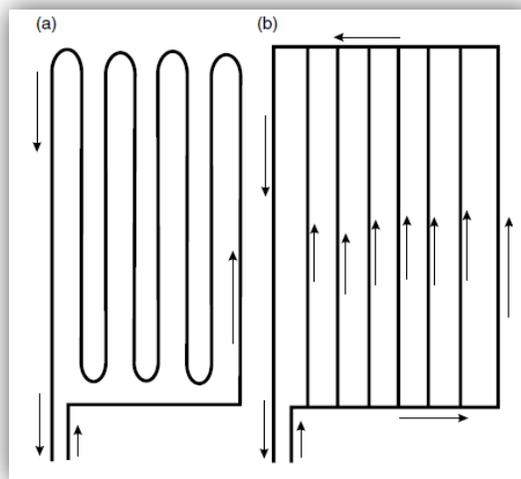


Figura A-1 Vista de los tipos de distribuciones de un sistema GSHP en forma horizontal de lazo cerrado; Banks 2008.

Fuente: Banks, David. 2008. An Introduction To Thermogeology, Ground Source Heating And Cooling.(Blackwell Publishing ed.).

➤ **ARREGLOS GEOMÉTRICOS QUE SON UTILIZADOS EN SISTEMAS GSHP DE CONFIGURACIÓN HORIZONTAL.**

En dicha figura, en la sección (a) se muestran tuberías individuales en zanjas paralelas, separadas a una distancia mayor de 1 m; en la sección (b) podemos observar una configuración de un sistema de tuberías dobles (una de ida y una de retorno), instaladas verticalmente en una misma zanja; en la sección (c) tenemos un arreglo cuadrado (square) de un sistema de cuatro tuberías (dos de ida y dos de retorno); en la sección (d) se muestran un sistema más novedoso de tuberías ajustadas conocidos como slinky, instalado en forma vertical en una misma zanja; en la sección (e) se muestra el mismo sistema slinky, instalado en forma horizontal en una misma zanja y por último en la sección (f), se muestra un sistema de tipo slinky en 3D; todos se encuentran recubiertos de arena de cuarzo (quartz sand); el cual es un tipo de tierra considerablemente conductivo. Este último sistema de slinky, es muy utilizado y existen configuraciones compactas (compact slinky) y extendidas (extended slinky).

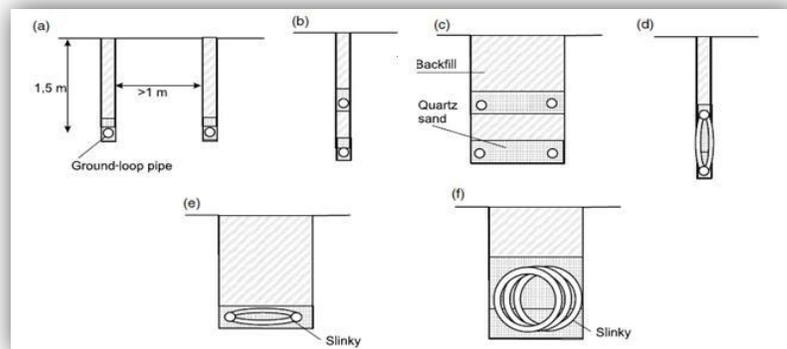


Figura A-2 Tipos de geometrías horizontales utilizadas en sistemas GSHP de lazo cerrado; Banks 2008.

➤ **PROPIEDADES CARACTERÍSTICAS DEL AGUA Y SOLUCIONES DE ANTICONGELANTES A DISTINTAS TEMPERATURAS**

En la Tabla A- 1, se muestra una lista de las propiedades características del agua y de distintas soluciones de anticongelantes que son utilizados en el análisis de sistemas GSHP; cuando el tipo de circulación es indirecta.

Tabla A-1 Propiedades y Características del agua y soluciones anticongelante a distintas temperaturas. Banks 2008.

	Freezing point (°C)	Viscosity (kg m ⁻¹ s ⁻¹)	Density (kg m ⁻³)
Water at 5°C	0	0.00152	1000
Water at 10°C	0	0.001308	999.8
Water at 15°C	0	0.001139	999.2
Water at 20°C	0	0.001003	998.3
Water at 25°C	0	0.000891	997.2
Water at 30°C	0	0.000798	995.8
Water at 35°C	0	0.00072	994.1
30.5% Ethylene glycol at 0°C	-15	0.00438	1046
32.9% Propylene glycol at 0°C	-15	0.00812	1034
24.4% Ethanol at 0°C	-15	0.00585	972
19.9% Methanol at 0°C	-15	0.00326	973
18.8% Sodium chloride at 0°C	-15	0.00257	1146
24% Freezium™ at 0°C	-15	0.00221	1152
24.0% Potassium acetate at 0°C	-15	0.00336	1130

Fuente: Banks, David. 2008. An Introduction To Thermogeology, Ground Source Heating And Cooling.(Blackwell Publishing ed.).

➤ **DESCRIPCIÓN DE LOS DISTINTOS TIPOS DE RELLENOS UTILIZADOS EN SISTEMAS GSHP DEL TIPO VERTICAL**

A continuación, se presenta algunos de los distintos tipos de rellenos que son normalmente utilizados en sistemas GSHP del tipo vertical, como se había explicado en los primeros capítulos; el más común y utilizados de todos es el relleno tipo Grout. La descripción de cada uno de ellos se presenta a continuación.

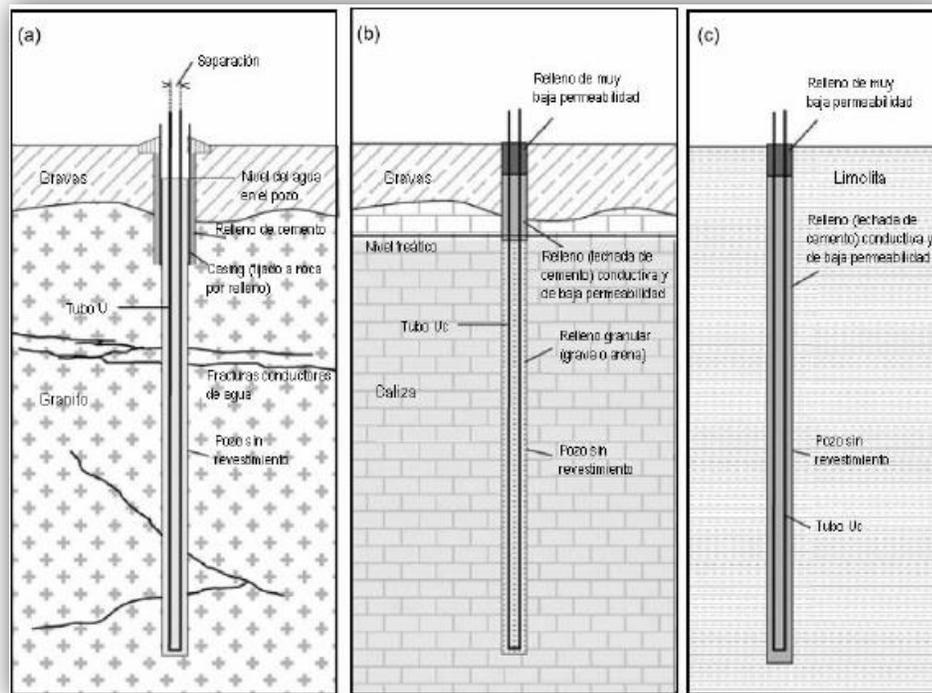


Figura A-3. Tipos de rellenos utilizados en las perforaciones en arreglos verticales en los sistemas GSHP; Banks 2008.

Fuente: Banks, David. 2008. An Introduction To Thermogeology, Ground Source Heating And Cooling.(Blackwell Publishing ed.).

Hoyo abierto, suspendido en agua-sección (a): en el caso de que el tipo de tierra lo permita (por ejemplo: en tierra compacta con roca, no habría problema que las paredes

del tubo se sostengan ellas solas, es decir; que no se desborden) el tubo en U, puede incluso ser suspendido en agua. En este caso, el agua provee una buena conductividad térmica entre la tierra y el tubo en U, que aunque no es tan alta; puede ser mejorada por ejemplo, con la formación de hielo alrededor del tubo.

Relleno poroso-sección (b): en este tipo de protección, la perforación es rellena con una mezcla de cuarzo-grava o arena húmeda y una mezcla de cemento; para proteger al sistema de cualquier tipo de contaminación. Este tipo de relleno, permite que cualquier contenedor utilizado para la introducción de los tubos en U; por ejemplo un tubo de acero o plástico, pueda ser fácilmente removido. Además de que el cuarzo al poseer una alta conductividad térmica, asegura un desempeño eficiente del sistema.

Relleno tipo grout-sección (c): es quizás la más utilizada, en este caso; todo el contorno del tubo en U es relleno con un material especial, el cual posee una alta conductividad térmica y a la vez, una buena permeabilidad. La alta conductividad térmica, puede ser proporcionada por un alto contenido de cuarzo en dicho material; mientras que la permeabilidad; puede ser proporcionada, por algún tipo de arena y arcilla, casi siempre preferiblemente bentonita. Los materiales de este tipo, que cumple con estos requerimientos; son conocidos como thermally enhanced grouts, los hay de distintos tipos; siendo los más convencionales, los que son una mezcla de cuarcita + una mezcla (arena + ceniza suelta + cemento).

➤ **DIÁMETROS DE TUBERÍAS EN FORMA DE “U” UTILIZADOS EN SISTEMAS GSHP.**

En la tabla A-2 se presenta una lista de los distintos diámetros de tubería en forma de U; que pueden ser utilizados en sistemas GSHP. Los cuales están clasificados en base a las presiones máximas que soportan. Así pues por ejemplo, la tubería PN10, soporta hasta 10 bar de presión.

Tabla A-2 Diámetros de tuberías para tubos en U. Obtenido Banks 2008.

Nominal outer diameter (OD) (mm)	Internal diameter (ID) (mm)			
	<i>PN6.3</i>	<i>PN10</i>	<i>PN16</i>	
<i>PN system</i>				
20		16	14.4	
25	21.0	20.4	18.0	
32	28.0	26.2	23.2	
40	35.2	32.6	29.0	
50	44.0	40.8	36.2	
<i>SDR system</i>	<i>SDR 9</i>	<i>SDR11</i>	<i>SDR13.6</i>	<i>SDR17</i>
<i>Pressure rating (bar)</i>	13.8	11.0	9.0	6.9
33.4 (Nominal 1" ID)	26.0	27.4	28.5	
42.2 (Nominal 1 1/4" ID)	32.8	34.5	36.0	
48.3 (Nominal 1 1/2" ID)	37.5	39.5	41.1	42.6

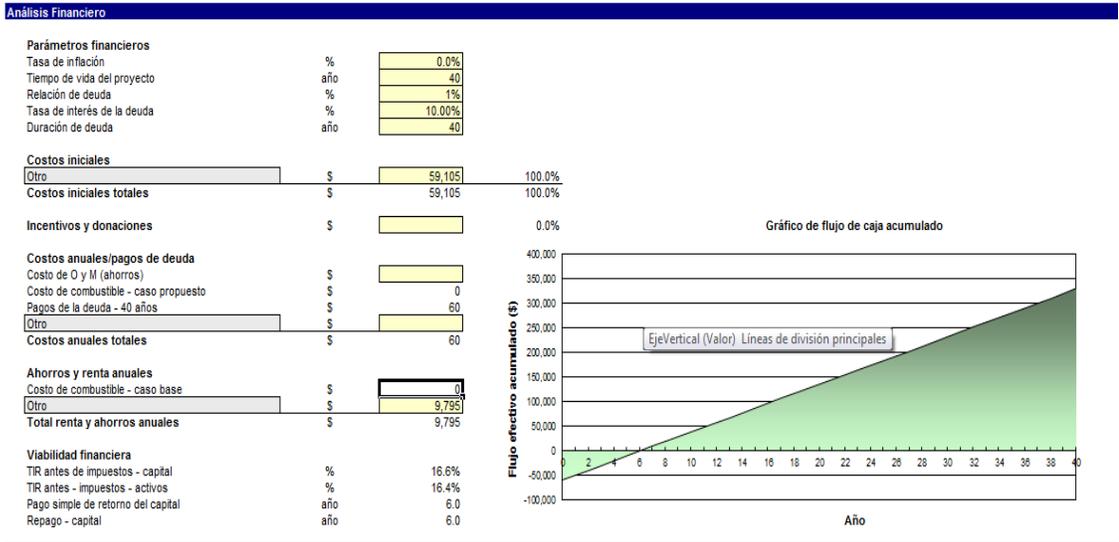
Fuente: Banks, David. 2008. An Introduction To Thermogeology, Ground Source Heating And Cooling.(Blackwell Publishing ed.).

RETSCREEN INTERNATIONAL, es una hoja electrónica que contiene un conjunto de sub-hojas, todas generadas en Excel; en la cual el usuario especifica los parámetros de descripción de la instalación, ubicación, tipo de tecnología energética limpia a analizar, las cargas y datos técnicos del sistema. Una vez realizado; éste paso, el software calcula la producción y/o ahorros anuales de energía.

➤ ANÁLISIS DE COSTOS

En esta hoja, se lleva a cabo un estudio de pre-factibilidad económica; dichos estudios, son de gran utilidad a la hora de planificar la ejecución de un proyecto. El usuario tiene la posibilidad de detallar los costos iniciales, mensuales y anuales asociados a la realización del proyecto; además el software ya cuenta con una serie de catálogos y precios de una gran cantidad de tecnologías de energía limpia.

En esta hoja, también se tiene la posibilidad de especificar cómo se llevará a cabo la financiación; acá se detalla por ejemplo: si habrán donaciones por parte de patrocinadores, si se realizará un préstamo bancario; ya sea por el total del costo del proyecto o por una parte, entre otras cosas.



Fuente: Software Retcreen International

➤ ANÁLISIS DE GASES DE EFECTO INVERNADERO (ANÁLISIS OPCIONAL)

La hoja de análisis de gases de efecto invernadero, o conocidos por sus siglas en inglés GHG (Greenhouse Gas); es una hoja opcional que ayuda a determinar la reducción anual en la emisión de dichos gases, que se obtienen; como consecuencia de utilizar una determinada tecnología de energía limpia.

➤ GENERACIÓN DEL RESUMEN FINANCIERO

Es una hoja en la cual el usuario puede analizar una serie de aspectos financieros relacionados al proyecto; reducción en el costo de energía, análisis de créditos bancarios, inflación, deuda, descuentos, ganancias por venta de energía limpia, entre otros. También se presentan gráficos de análisis financiero, en los cuales se detalla el costo de

ciclo de vida del proyecto, flujos de caja, valor presente neto del proyecto, tiempo de recuperación del proyecto, etc.

RETScreen International, cuenta con un módulo completo que describe paso a paso como llevar a cabo el análisis de un edificio, utilizando este tipo de tecnología de energía limpia; a la vez cuenta con una serie de ejemplos de casos reales ejecutados en distintas partes de Norteamérica y Europa, los cuales se encuentran disponibles en su página oficial (<http://www.retscreen.net/>), a fin de orientar al usuario, para un correcto uso de la herramienta de cálculo.

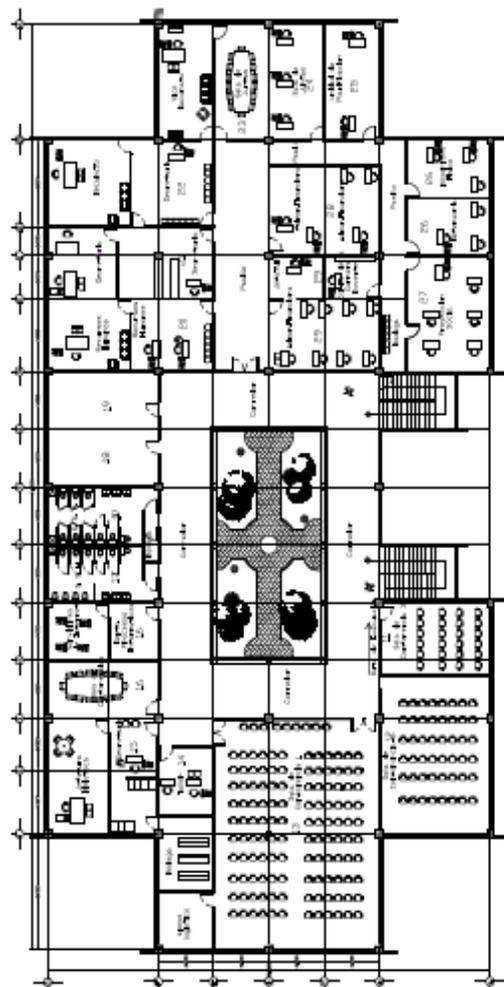
El software puede ser utilizado tanto para residencias como para edificios de uso comercial e industrial. Permite analizar sistemas GSHP, tanto de lazo abierto como de lazo cerrado; ya sea en arreglo vertical u horizontal.

Los datos de entrada ingresados por el usuario, son pocos a diferencia de otros software de simulación energética; por tanto los resultados que se pueden obtener con este software son limitados. Algunas de estas limitantes son:

- 1) No es posible modelar las conexiones de tuberías a la tierra, es decir; los sistemas GSHP con los que ya cuenta el software son estándar.
- 2) No es posible diseñar edificios desde cero, es decir el programa ya cuenta con modelos de edificios de acuerdo a distintas aplicaciones.
- 3) No puede ser utilizado para analizar edificios que posean varias cargas simultáneas de calefacción y/o enfriamiento. Si existen diferentes cargas, el análisis tendría que llevarse a cabo por zonas.

4) Se supone que la temperatura interna para todo el edificio es la misma, si todo es asumido como una misma zona.

5) La información técnica que se puede recopilar con este software es bastante limitada, pero por otro lado permite realizar un análisis financiero muy detallado, si se cuenta con la información técnica necesaria; permitiendo así analizar beneficios y riesgos de inversión que se corren con la realización del proyecto.



Distribución de Espacios de 2do. Nivel

No.	ESPACIOS FÍSICOS
11	Sala de Expositores No. 2
12	Sala de Conferencias No. 2
13	Sala de Conferencias No. 1
14	Reproducción y Mantenimiento de Equipo
15	Jardines
16	Departamento de Sistemas Electrónicos
17	Servicios Sostenedores para exposiciones
18	Departamento de Desarrollo y Colecciones
19	Departamento de Procesos Técnicos
20	Unidad de personal
21	Secretaría
22	Recorrido y Vitrina-Tecnoata
23	Sala de Reuniones No. 1
24	Administración General
25	Unidad de Planeación
26	Desarrollo Público
27	Unidad de Proyección Social
28	Dirección de Programa
29	Administración Financiera

PLANTA ARQUITECTÓNICA 2do. NIVEL DEL EDIFICIO DE LA BIBLIOTECA - ACADEMICO



1/2

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
ESC. DE INGENIERIAS

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
TECNOLOGIA
DR. CARLOS FERRER ESPINOZA

PROYECTO: PLANTA Y DISTRIBUCION DE ESPACIOS ACADÉMICOS
DEL EDIFICIO BIBLIOTECA ACADEMICA
AUTOR: ARQUITECTO CARLOS FERRER ESPINOZA
FECHA: JUNIO DE 2010
LUGAR: SAN SALVADOR, EL SALVADOR

PROYECTO: PLANTA Y DISTRIBUCION DE ESPACIOS ACADÉMICOS
DEL EDIFICIO BIBLIOTECA ACADEMICA
AUTOR: ARQUITECTO CARLOS FERRER ESPINOZA
FECHA: JUNIO DE 2010
LUGAR: SAN SALVADOR, EL SALVADOR