



PROYECTO THERMOS

ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS DE SISTEMAS HÍBRIDOS DE GEOTERMIA DE MUY BAJA TEMPERATURA CON OTRAS ENERGÍAS RENOVABLES

2015-2016

ALUMNOS
Mariano Chabert
Luis Del Vigo
Juan Mato

TUTOR
Francisco Monedero

INDICE

RESUMEN EJECUTIVO

1	OBJETIVO Y ALCANCE DEL PROYECTO	16
2	METODOLOGIA	17
2.1	Datos de partida. (Descripción del escenario inicial)	17
2.2	Calculo necesidades. Definición y demandas energéticas en las zonas climáticas adoptadas.	18
2.3	Energía geotérmica base con bomba de calor - Estado del arte de la tecnología y diseño base de la instalación requerida.	18
2.4	Definición de las alternativas tecnológicas de climatización y ACS. Obtención de los ratios técnicos/económicos de cada propuesta	19
2.5	Evaluación comparativa de las alternativas técnicas y de las zonas climáticas.	19
2.6	Conclusiones.....	19
3	DESCRIPCIÓN DEL ESCENARIO INICIAL.....	20
3.1	MARCO NORMATIVO	20
3.1.1	ESPAÑA	20
3.1.2	REPUBLICA DOMINICANA.....	20
3.2	TIPOLOGÍA DE LA EDIFICACION	22
3.3	DESCRIPCION DEL HOSPITAL	22
3.4	LOCALIZACIONES, CLIMA Y RADIACION.....	24
3.4.1	SEVILLA	25
3.4.2	BILBAO.....	26
3.4.3	MADRID	27
3.4.4	SANTO DOMINGO.....	29
3.5	ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS.....	30
4	CALCULO DE LA DEMANDA	35
4.1	Determinación de los parámetros de confort de la climatización.	35
4.2	Determinación de la Potencia máxima demandada por la climatización.....	36
4.3	Determinación de la Energía consumida por la climatización.	39
4.4	Determinación de la Energía y Potencia del sistema ACS.	41
5	ENERGÍA GEOTÉRMICA BASE CON BOMBA DE CALOR - ESTADO DEL ARTE DE LA TECNOLOGÍA Y DISEÑO BASE DE LA INSTALACIÓN REQUERIDA.	44
5.1	Inercia térmica del subsuelo terrestre.....	44
5.2	Recurso geotérmico	46
5.3	La Geotermia en el marco actual.....	48
5.4	La Bomba de calor.....	50
6	DIMENSIONAMIENTO DE LAS INSTALACIONES.....	52
6.1	Dimensionamiento sistema convencional.	52
6.1.1	Calefacción + ACS	52
6.1.2	Refrigeración.	53
6.2	SISTEMA GEOTÉRMICO	54
6.2.1	Descripción del terreno	54
6.2.2	Diseño del intercambiador enterrado.....	54
6.2.3	Ejecución de la instalación	61
6.2.4	Puesta en marcha de los equipos	61
6.2.5	Mantenimiento de la instalación.....	62
6.3	SISTEMA GEOTERMIA + SOLAR FV+ APOYO CONVENCIONAL	63
6.3.1	Dimensionamiento.....	63
6.3.2	Mantenimiento de la instalación.....	67
6.4	SISTEMA GEOTERMIA + SOLAR TÉRMICA + APOYO CONVENCIONAL.....	68
6.4.1	Dimensionamiento.....	68
6.4.2	Caudal en los captadores	72
6.4.3	Mantenimiento de la instalación.....	73
6.5	SISTEMA GEOTERMIA + SOLAR FV + SOLAR TÉRMICA	74
7	COMPARACION FINANCIERA DE LAS ALTERNATIVAS	75
7.1	Costos anuales alternativa 100% energía convencional	77
7.2	Costos anuales alternativa geotérmica + convencional de apoyo.....	77

7.3	Costos anuales alternativa geotérmica + convencional de apoyo + fotovoltaica.	78
7.4	Costos Anuales Alternativa Geotérmica + Convencional de Apoyo + Solar Térmica (precalentada a 45 °C).....	79
7.5	Costos anuales alternativa geotérmica + convencional de apoyo + solar térmica (ACS tomado a temperatura ambiente).	80
7.6	Costos anuales alternativa geotérmica + convencional de apoyo + solar térmica + fotovoltaica.	81
7.7	Resumen de costos anuales de alternativa tecnológicas	81
8	COMPARATIVA ENERGÉTICA Y DE EMISIONES DE LA ALTERNATIVAS	83
8.1	Consumo de energía primaria no renovable.	83
8.1.1	Alternativa 100% Convencional.....	84
8.1.2	Alternativa Geotermia	84
8.1.3	Alternativa Geotermia + Solar Fotovoltaica +Apoyo Convencional	85
8.1.4	Alternativa Geotermia + Solar Térmica (100%) +Apoyo Convencional	85
8.1.5	Alternativa Geotérmica + Convencional de Apoyo + Solar Térmica (precalentada a 45 °C) 86	
8.1.6	Resumen de consumo de energía primaria no renovable.....	87
8.2	Emisiones de CO ₂	88
8.2.1	Alternativa 100% convencional.....	89
8.2.2	Alternativa geotermia	89
8.2.3	Alternativa geotermia + solar fotovoltaica +apoyo convencional.....	90
8.2.4	Alternativa geotermia + solar térmica (100%) +apoyo convencional	91
8.2.5	Alternativa Geotérmica + Convencional de Apoyo + Solar Térmica (precalentada a 45 °C) 92	
8.2.6	Resumen de emisiones de CO ₂	93
9	CONCLUSIONES.....	94
9.1	Aprendizaje metodológico:	94
9.1.1	Definición de demanda y energía de climatización y ACS.....	94
9.1.2	Definición de esquemas tecnológicos y su dimensionamiento.....	95
9.2	Conversiones a Energía primaria y CO ₂	96
9.3	Valoración financiera de las alternativas tecnológicas.	97
9.4	Futuros pasos sugeridos	98
10	REFERENCIAS	99

ILUSTRACIONES

Ilustración 2-1. Zonas climáticas de España. Fuente IDAE 17
 Ilustración 2-2 Republica Dominicana. Fuente ONE RD. 17
 Ilustración 2-3 Fuente IDAE 18
 Ilustración 3-1 Clima de referencia..... 28
 Ilustración 3-2 Fuente World Watch Institute 29
 Ilustración 3-3 Sistema de calefacción por calderas - Fuente web search 30
 Ilustración 3-4 Sistema de refrigeración Fuente web search 31
 Ilustración 3-5 Sistema ACS Fuente web search..... 31
 Ilustración 3-6 Sistema 1 - Energía geotérmica - Fuente web search 32
 Ilustración 3-7 Sistema 2 - Geotérmica + solar FV Fuente web search..... 33
 Ilustración 3-8 Sistema 3 - Geotermia + solar térmica - Fuente web search..... 33
 Ilustración 3-9 Sistema 4 - Hibridación de las 3 tecnologías - Fuente web search..... 34
 Ilustración 4-1 áreas de confort en invierno y verano. Fuente: I.D.A.E..... 35
 Ilustración 4-2 Diagrama psicrométrico..... 37
 Ilustración 4-3 Representación conceptual del método de Grados Día. Fuente web search. 39
 Ilustración 5-1 Energía geotérmica superficial - Fuente Web Search. 45
 Ilustración 5-2 Clasificación del recurso geotérmico - fuente apuntes EOI 2016..... 46
 Ilustración 5-3 Geotermia de muy baja entalpia..... 47
 Ilustración 5-4 Potencia mundial instalada - Fuente WGC 2015..... 48
 Ilustración 5-5 Escenario mundial de energía geotérmica de uso directo - fuente WGC 2015 49
 Ilustración 5-6 Principio de funcionamiento de la BCG - Fuente apuntes EOI 2016..... 50
 Ilustración 5-7 Esquema bomba de calor reversible - fuente web search 51
 Ilustración 6-1 Sistema de intercambio horizontal 57
 Ilustración 6-2 Sistema de intercambio vertical..... 58
 Ilustración 6-3 Secciones de intercambiador vertical 61
 Ilustración 6-4 Características panel FV 64

GRAFICOS

Grafico 7-1 Resumen costos anuales de alternativas tecnológicas en unidades monetarias 81
 Grafico 7-2 Resumen costos anuales de alternativas tecnológicas en unidades porcentuales 82
 Grafico 8-1 Resumen de consumo de energía primaria no renovable 87
 Grafico 8-2 Resumen emisiones de CO₂..... 93

TABLAS

Tabla 3-1 Superficies totales construidas	23
Tabla 3-2 Factores climáticos Sevilla	25
Tabla 3-3 Parámetros normativos Sevilla	25
Tabla 3-4 Factores climáticos Bilbao	26
Tabla 3-5 Parámetros normativos Bilbao	26
Tabla 3-6 Factores climáticos Madrid	27
Tabla 3-7 Parámetros normativos Madrid	27
Tabla 3-8 Parámetros normativos Santo Domingo	29
Tabla 4-1 Condiciones de confort y diseño de ambientes	36
Tabla 4-2 Categorías de calidad del aire	36
Tabla 4-3 Determinación Potencia Máxima de Calefacción	38
Tabla 4-4 Determinación Potencia Máxima de Refrigeración.	38
Tabla 4-5 Determinación de las variables de U y A para tres tipos de superficies al exterior	40
Tabla 4-6 Determinación Energía Anual de Calefacción	40
Tabla 4-7 Determinación Energía Anual de Refrigeración	41
Tabla 4-8 Criterios de consumo de ACS para el diseño de instalaciones.....	42
Tabla 4-9 Resumen Energía Anual y Potencia de ACS.	42
Tabla 4-10 Resumen Energía y Potencia térmica demandas por climatización y ACS	43
Tabla 6-1 Selección de Caldera para Calefacción y ACS en sistema convencional	52
Tabla 6-2 Formaciones litológicas	54
Tabla 6-3 SWP Profesional seleccionadas	55
Tabla 6-4 Características de los fluidos.....	56
Tabla 6-5 Tuberías de PE100.....	59
Tabla 6-6 Dimensionamiento del intercambiador	60
Tabla 6-7 HSP anuales para cada localización	65
Tabla 6-8 Numero de paneles por localización	65
Tabla 6-9 Producción de los paneles por localización.....	66
Tabla 6-10 Superficie de ocupación de los paneles en para cada localización	66
Tabla 6-11 Producción de los paneles ocupando la totalidad de la superficie disponible	67
Tabla 6-12 Energía demandada	68
Tabla 6-13 Consumo eléctrico	69
Tabla 6-14 Características colector térmico.....	69
Tabla 6-15 Rendimiento colector térmico.....	70
Tabla 6-16 Contribución solar mínima	70
Tabla 6-17 Temperatura del agua fría	70
Tabla 6-18 Producción energética sistema ACS convencional	71
Tabla 6-19 Producción energética sistema ACS agua precalentada	71
Tabla 6-20 Superficie ocupada sistema ACS agua precalentada.....	72
Tabla 6-21 Superficie ACS convencional.....	72
Tabla 7-1 Variables y tarifas para la comparación financiera	75
Tabla 7-2 Costos anuales alternativa tecnológica convencional	77
Tabla 7-3 Costos anuales alternativa tecnológica geotérmica + convencional de apoyo	77
Tabla 7-4 Costos anuales sistema fotovoltaico	78
Tabla 7-5 Costos anuales alternativa geotérmica + convencional de apoyo + fotovoltaica	78
Tabla 7-6 Costos anuales geotérmica + apoyo convencional + solar térmica (45° C)	79
Tabla 7-7 Costos anuales geotérmica + apoyo convencional + solar térmica	80
Tabla 7-8 Resumen costos anuales de alternativas tecnológicas en unidades monetarias	81
Tabla 7-9 Resumen costos anuales de alternativas tecnológicas en unidades porcentuales	82
Tabla 8-1 Factores de conversión de energía primaria	83
Tabla 8-2 Consumos de energía primaria del Sistema 0	84
Tabla 8-3 Consumos de energía primaria del Sistema 1	84
Tabla 8-4 Consumos de energía primaria del Sistema 2	85
Tabla 8-5 Consumos de energía primaria del Sistema 3	85
Tabla 8-6 Consumo de energía primaria del Sistema 3	86
Tabla 8-7 Resumen del consumo de energía primaria no renovable.....	87
Tabla 8-8 Factores de emisión de CO ₂	88
Tabla 8-9 Emisiones CO ₂ del Sistema 0	89

Tabla 8-10 Emisiones de CO ₂ del Sistema 1	89
Tabla 8-11 Emisiones de CO ₂ del Sistema 2.....	90
Tabla 8-12 Emisiones de CO ₂ del Sistema 3	91
Tabla 8-13 Emisiones de CO ₂ del Sistema 3	92
Tabla 8-14 Resumen emisiones de CO ₂	93

ANEXOS

ANEXO A - VALORES CLIMATICOS
ANEXO B - DETERMINACION DE VARIABLES
ANEXO C- VALORES GRADOS DIA CALEFFACION
ANEXO D - VALORES GRADOS DIA REFRIGERACION
ANEXO E - CALCULO DE LA ENERGIA ANUAL
ANEXO F - CALDERAS (FICHA TECNICA)
ANEXO G - CHILLERS (MODELOS, SELECCIÓN Y CONSUMOS)
ANEXO H - MAPAS GEOLOGICOS
ANEXO I - COLUMNAS LITOLOGICAS
ANEXO J - BOMBA DE CALOR GEOTERMICA (FICHA TECNICA, MODELOS Y COSTES)
ANEXO K - DIMENSIONAMIENTO GEOTERMIA
ANEXO L - APORTES ENERGETICOS
ANEXO M - MANTENIMIENTO GEOTERMIA
ANEXO N - FICHA TECNICA PANEL FOTOVOLTAICO
ANEXO O - DIMENSIONAMIENTO FOTOVOLTAICA
ANEXO P - DIMENSIONAMIENTO SOLAR TERMICA
ANEXO Q - COLECTOR TERMICO (FICHA TECNICA)
ANEXO R - COMPARATIVA FINANCIERA

RESUMEN EJECUTIVO

Objeto, alcance y descripción del escenario inicial

El presente proyecto Thermos de fin de Master tiene como objeto el análisis y la evaluación de las distintas posibilidades de hibridación de la energía geotérmica de muy baja temperatura con otras energías renovables, como son la energía fotovoltaica o la solar térmica, para la climatización (calefacción y refrigeración) y el agua caliente sanitaria (ACS) en un hospital.

El alcance del proyecto se ha basado en un análisis de las alternativas tecnológicas para cubrir las necesidades energéticas en climatización y ACS de un hospital tipo, variando diferentes configuraciones tecnológicas y adaptándolas a diferentes condiciones climáticas definidas de antemano en España y República Dominicana. El estudio se ha centrado en evaluar las diversas alternativas estudiadas conforme a las emisiones de CO₂, la energía primaria no renovable, y el análisis económico-financiero.

El escenario objeto del estudio consiste en un hospital con un total de 125 camas y una superficie de 20,000m². El análisis contempla la ubicación del hospital es cuatro localidades (Bilbao, Madrid, Sevilla y Santo Domingo) las cuales presentan diferentes condiciones climáticas y de irradiancia, y de esta manera se evalúa la influencia que estos parámetros tienen sobre la demanda energética.

Sistemas evaluados y cálculo de las necesidades térmicas

Las tecnologías evaluadas se han clasificado en cinco sistemas. El sistema cero (0) consiste en un sistema convencional con caldera de gas natural y enfriadora, el sistema uno (1) geotermia de muy baja temperatura con bomba de calor y apoyo convencional, el sistema dos (2) en convencional + geotermia + solar fotovoltaica, el sistema tres (3) en convencional + geotermia + solar térmica y un último sistema cuatro (4) con la hibridación de todas ellas.

Para el cálculo de la demanda de energía térmica, tanto para la climatización como para el ACS, se ha empleado una metodología internacional llamada grados día (degree-days), la cual recoge la diferencia diaria entre la temperatura media y la temperatura de confort definida y está disponible para cualquier ciudad del mundo que tenga una estación meteorológica que solo registre la temperatura media diaria.

Geotermia y bomba de calor

La energía geotérmica es la energía almacenada en forma de calor por debajo de la superficie sólida de la Tierra, esta energía, a pesar de venir siendo utilizada con algunos fines térmicos desde hace siglos, es una gran desconocida, pero no por ello carente de un gran potencial. En el estado actual de la tecnología, se puede decir que la geotermia tiene dos grandes grupos de aplicaciones o fines: térmicos y eléctricos.

La energía geotérmica de baja temperatura basa su principio de funcionamiento en la inercia térmica de la superficie terrestre, con lo cual durante los periodos invernales dicha superficie permanece con una temperatura mayor que la temperatura ambiente y en los periodos cálidos presenta temperaturas inferiores a las temperaturas ambientes. De esta forma, según las necesidades de climatización, se puede hacer fluir calor desde y hacia la superficie terrestre con el objetivo de modificar las condiciones de confort térmico de las zonas climatizadas. Para la evaluación nos ocupa hemos utilizado el recurso geotérmico de muy baja temperatura ($T < 30^{\circ}\text{C}$), en el cual la energía térmica se almacena en el subsuelo poco profundo (normalmente a menos de 200 m). Su aplicación principal es el aporte energético a sistemas de ventilación, calefacción y refrigeración de edificios, con la utilización de una bomba de calor.

Una bomba de calor es una máquina térmica, sujeta por tanto a las leyes de la termodinámica, que transfiere el calor desde un foco frío a otro caliente con una gran eficiencia. La ventaja que poseen las bombas de calor frente a otros sistemas reside en su capacidad para aprovechar la energía existente en el ambiente (foco frío), tanto en el aire como en el agua o en la tierra, para acondicionar las dependencias interiores (foco caliente) con una aportación relativamente pequeña de trabajo en forma de energía generalmente eléctrica. Para nuestro análisis, hemos tomado el calor del terreno bajo el edificio, para el cual hemos utilizado una bomba de calor de muy alta potencia tierra-agua, con aprovechamiento de la energía geotérmica (bomba de calor geotérmica (BCG)).

Dimensionamiento de los sistemas

Sistema cero - energía convencional (con caldera de gas natural y enfriadora)

Para el dimensionamiento de la caldera alimentada con gas natural se tomará como dato de partida la demanda de potencia pico calculado, la cual se definió tomando como referencia el día más frío de año para cada ciudad en comparación con las condiciones de temperatura y humedad de confort. A continuación se seleccionó una caldera de baja temperatura con rendimiento del 93%, con un buen aislamiento térmico y que cumpla las normativas europeas EN303.

Para el dimensionamiento de los sistemas de refrigeración se ha tomado como dato de partida la potencia pico calculada en la cual se definió tomando como referencia el día más caluroso de año para cada ciudad en comparación con las condiciones de temperatura y humedad definidas de confort. Posteriormente se selecciona la enfriadora.

Sistema 1 - energía convencional + geotermia de muy baja temperatura

Para el diseño del intercambiador enterrado se han tenido en cuenta múltiples factores, tales como la localización del hospital, el clima (temperatura y humedad), radiación, la demanda energética, tipología del terreno y sus características térmicas. Una vez conocidos todos estos factores, se ha procedido al diseño del intercambiador enterrado usando el método International Ground Heat Source Heat Pump Association (IGSHPA).

El método IGSHPA para el diseño de intercambiadores enterrados está basado en la teoría de la fuente de calor en forma de una línea infinita (Kelvin Line Source Theory) desarrollado por Ingersoll y Plass. Según esta teoría un intercambiador de calor que cede calor al suelo se comporta como una fuente de calor con un espesor pequeño y una longitud infinita, y por tanto sólo cede calor en el sentido radial.

Es un método de cálculo estático que asume que el sistema funciona durante un tiempo determinado a una carga constante y con el suelo a la temperatura más desfavorable, cuando la temperatura es más baja en invierno y cuando es más elevada en verano, y con una temperatura de agua fija. Durante los restantes meses, la temperatura del aire será más moderada, y por lo tanto la carga calorífica o frigorífica será menor. Además el suelo no estará tan frío (en invierno) o tan caliente (en verano), lo que hará que la temperatura del agua sea más moderada y el sistema funcionará con un mayor rendimiento.

Sistema 2 - energía convencional+ geotermia de muy baja temperatura + solar fotovoltaica

El objetivo de esta alternativa híbrida es conseguir un mayor uso de energía renovable del sistema mediante la generación de energía eléctrica procedente de generadores fotovoltaicos para cubrir el consumo eléctrico de la bomba geotérmica aportando la energía que la bomba de calor no llega a cubrir para calefacción y ACS mediante un aporte auxiliar convencional. En principio esta alternativa ofrecerá:

- Menores emisiones de CO₂
- Menor uso de energía primaria no renovable.
- Coste de inversión.

Se dispone de una superficie de 4000 m² en la azotea del hospital. De esta superficie no toda es utilizable, por lo que hemos decidido considerar un 90% de superficie utilizable ya que una parte estará ocupada por otros sistemas, como accesos, maquinaria de ascensores, etc.

Para dimensionar el sistema fotovoltaico hay que tener en cuenta dos factores fundamentalmente:

- Consumo energético de la bomba
- Superficie disponible

Sistema 3 - energía convencional + geotermia de muy baja temperatura + solar térmica

La energía solar térmica consiste en el aprovechamiento de la energía del Sol para producir calor que puede aprovecharse para la producción de agua caliente sanitaria, calefacción,

En esta alternativa se plantea combinar el sistema geotérmico con un sistema solar de baja temperatura, que son aquellas instalaciones que proveen un calor útil a temperaturas menores a 65°C mediante la energía solar y que cuya principal aplicación es la producción de Agua Caliente Sanitaria (ACS) para el sector doméstico y de servicios.

El planteamiento de este sistema se ha realizado desde dos puntos de vista:

- El primero consiste en aportar la totalidad del ACS mediante los colectores solares (y su apoyo auxiliar asociado) como un sistema solar térmico convencional independiente de la geotermia, de modo que la geotermia aporta la energía demandada para la climatización de las diferentes estancias.
- El segundo planteamiento consiste en un sistema en el que hay una mayor interrelación entre la geotermia y la solar térmica ya que el agua circulante por los colectores solares es previamente calentada hasta 45°C por el sistema geotérmico de forma que la temperatura de entrada a los mismos es mucho más elevada que en el primer caso en el que los colectores son alimentados con agua a la temperatura de agua fría de la red de abastecimiento. En este planteamiento será preciso analizar la influencia que tiene en el sistema geotérmico y en el sistema solar térmico el hecho de emplear en los colectores solares el agua a mayor temperatura.

Sistema 4 - energía con caldera de gas natural + geotermia de muy baja temperatura + solar fotovoltaica + solar térmica

Mientras la alternativa de hibridación con el sistema fotovoltaico genera la energía eléctrica que consumen las bombas geotérmicas, las dos configuraciones posibles de sistemas Solares Térmicos descritas anteriormente reducen los consumos de dichas bombas, al tomar total o parcialmente la carga del ACS.

Análisis económico-financiero

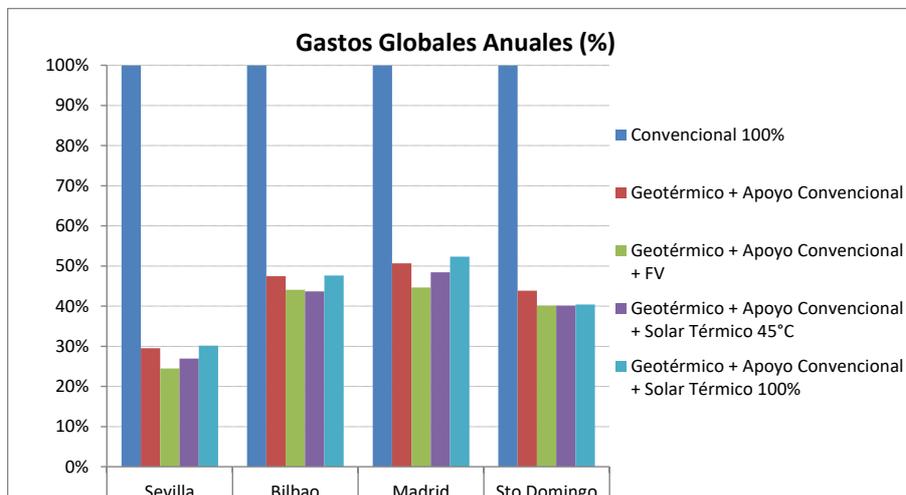
Comparando los costos anualizados del servicio de climatización y ACS vía los cinco esquemas tecnológicos propuestos en las cuatro localizaciones (ver grafica de resumen de costes anuales) se destaca principalmente que la alternativa geotérmica es el esquema que ahorro en costes provoca en comparación con la alternativa convencional (calderas y chillers). Queda de esta forma completamente claro que a la hora de seleccionar un esquema tecnológico si en lugar de valorar solo el costo inicial se pone en consideración los costos de operación durante la vida útil de la tecnología el sistema geotérmico presenta, hoy por hoy, una de las alternativas más económica y más recomendables del mercado para satisfacer las demandas de climatización y ACS.

Optar por el esquema geotérmico dónde las bombas son alimentadas por energía producida por plantas fotovoltaicas es rentable económicamente. Esta rentabilidad es marginal, debido principalmente a la gran eficiencia de los sistemas geotérmicos y el escaso consumo de energía eléctrica de sus bombas, sumado al relativamente bajo costo de la energía eléctrica. Las plantas fotovoltaicas aportan energía (valorada en dinero) por el doble del costo que implica anualmente su inversión y O&M, así y todo la reducción financiera del sistema completo baja menos del 4%, respecto de lo serían los costos con sistemas convencionales. Aclarando su peso relativo la inclusión del sistema fotovoltaico es por tanto también recomendable.

Al respecto de la configuración incluyendo tecnología Solar Térmica para el ACS, se han analizado los esquemas tomando el agua precalentada a 45° C y tomando directamente el agua a la temperatura ambiente. En ambos casos los costos anualizados aumentan respecto de los esquemas sin la utilización de la tecnología Solar Térmica, aportando más gastos fruto de la inversión y el O&M que los ahorros provocados en los consumos del sistema geotérmico. Esto se debe fundamentalmente al alto rendimiento del sistema geotérmico. Por tanto se desaconseja desde el punto de vista económico “hibridar”, en el caso del estudio, la tecnología geotérmica con la solar térmica ya que provoca aumentos de los gastos anuales.

Tomando las conclusiones del punto anterior sobre la hibridación con tecnologías Solares Térmicas, se desprender que la alternativa tecnológica de geotérmica + solar FV+ solar térmica por tendría costos superiores, para el caso de estudio, que la alternativa geotérmica + solar FV, por tanto se desaconseja desde el punto de vista financiero el esquema que combine todas las alternativas vistas de geotérmica + apoyo convencional + solar FV + solar térmica.

Resumen costos anuales de alternativas tecnológicas en unidades porcentuales



Consumo de energía primaria no renovable y emisiones de CO₂

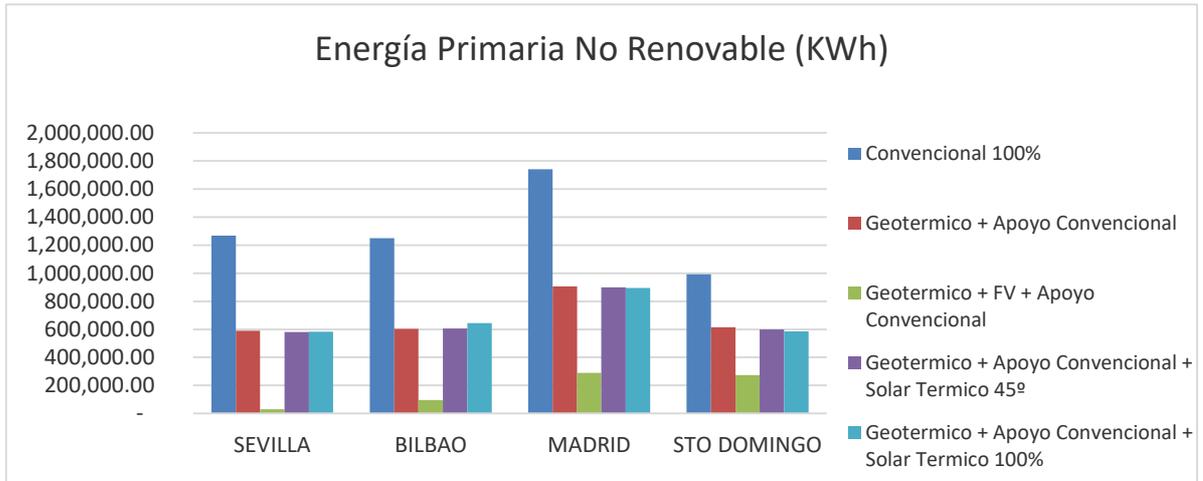
En el Sistema 1 (geotermia + apoyo convencional), es muy notable la reducción del consumo de energía primaria no renovable. Lo cual se debe mayormente a que la tecnología geotérmica solo consume del sistema el consumo eléctrico de las BCG y la mayor parte de la transferencia de calor se realiza vía el subsuelo, como fuente infinita de intercambio. Por tanto, esta reducción de energía primaria no renovable es muy beneficiosa a nivel país para reducir los aportes necesarios de la matriz energética nacional (reducir generadoras, la factura de combustibles fósiles y la dependencia de las importaciones). Todo esto se completa con los buenos resultados obtenidos del análisis financiero que los cuales presentan unos ahorros de 50% a 65%, sumado a la reducción significativa de las emisiones de CO₂. La geotermia al tener un consumo prácticamente despreciable (en comparación con el aporte técnico y con la tecnología convencional) de energía eléctrica por tanto también refleja una muy notable reducción de emisión de CO₂. Lo cual pone de manifiesto las grandes ventajas ambientales que se suman a las financieras para la impulsión de la tecnología como una de las herramientas claves para la lucha contra el cambio climático hacia las climatizaciones en edificaciones.

El Sistema 2 (geotermia+ solar FV +apoyo convencional) anula el mínimo consumo energético de las BCG resultando en un sistema de consumo cero y por tanto también de consumo de energía primaria cero y cero emisiones de CO₂. Este Sistema para la demanda de la climatización es el óptimo sobre todo para las edificaciones que estén buscando ser autosuficientes desde el punto de vista energético. Al ser en cualquier edificación el consumo de la climatización el de mayor proporción dentro de los distintos consumos energéticos, este esquema tecnológico es el que aportaría, en números totales, mayores ahorros.

Resumen del consumo de energía primaria no renovable

	SISTEMA CONVENCIONAL	SISTEMA GEOTERMICO	SIST. GEOT + FV	SIST. GEOT + SOLAR 45°C	SIST. GEOT + SOLAR 100%
SEVILLA	1.268.875,36	591.012,96	29.737,04	581.149,70	583.284,62
BILBAO	1.249.879,37	602.798,06	95.914,94	605.086,59	644.483,69
MADRID	1.741.221,00	905.824,68	288.670,61	899.371,52	894.291,91
STO DOMINGO	991.555,23	614.229,78	274.770,69	600.119,31	586.340,96

Resumen de consumo de energía primaria no renovable

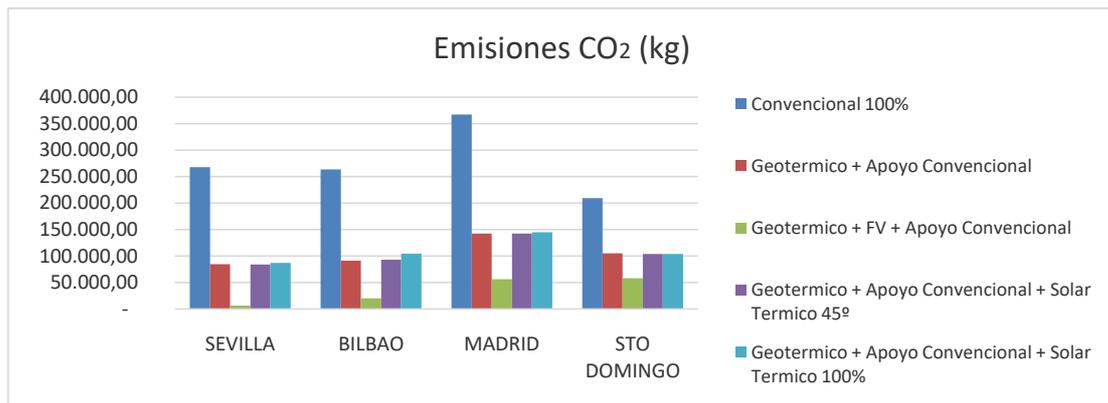


El Sistema 4 (geotermia + solar FV + solar térmica + apoyo convencional), si bien se ha comprobado que económicamente encarece los gastos anuales y por tanto no sería recomendable desde el punto de vista financiero, se concluye que desde el punto de vista ambiental si lo sería, ya que reduce la energía demandada al sistema de apoyo convencional y por lo tanto reduce todavía más la demanda de energía primaria y como consecuencia de esto el volumen de emisiones de CO₂ respecto al sistema 2.

Resumen emisiones de CO₂

	SISTEMA CONVENCIONAL	SISTEMA GEOTERMICO	SIST. GEOT + FV	SIST. GEOT + SOLAR 45°C	SIST. GEOT + SOLAR
SEVILLA	267.578,74	84.721,19	6.298,93	84.114,39	87.192,79
BILBAO	263.572,89	91.069,40	20.246,98	93.025,49	104.405,88
MADRID	367.186,35	142.517,86	56.288,23	142.630,51	144.640,82
STO DOMINGO	209.097,84	105.388,51	57.958,81	103.886,23	103.599,09

Grafico 1-1 Resumen emisiones de CO₂



1 OBJETIVO Y ALCANCE DEL PROYECTO

El presente proyecto Thermos (proyecto en adelante) de fin de Master tiene por objeto analizar y evaluar distintas posibilidades de hibridación de la energía geotérmica de muy baja temperatura con otras energías renovables, como pueden ser la energía fotovoltaica o la solar térmica, para la climatización y el agua caliente sanitaria (ACS) en edificios.

Los objetivos académicos para el desarrollo del proyecto son la capacidad de definir y justificar un modelo viable centrado en el cliente, razonar las propuestas estratégicas para la implantación del proyecto, establecer una hipótesis de valoración realista, discriminar lo relevante y centrarse en ello, integrar y dar coherencia a los distintos componentes del proyecto, identificar y mitigar los posibles riesgos, comunicar de manera efectiva lo esencial en el proyecto, realizar un proyecto de carácter práctico y presentar una propuesta de valor, innovadora y diferencial de lo que existe actualmente en el mercado.

A nivel global, el presente proyecto abarca dos objetivos generales, ambos alineados a contrarrestar los factores que afectan el calentamiento global. Por un lado la utilización de energía geotérmica sustituiría equipos cuyos insumos son los combustibles derivados del petróleo (como el diésel, gasoil, gas natural, etc.) con la consecuente reducción de emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI). Y por otro lado, los sistemas geotérmicos al tener mejor eficiencia energética que los sistemas convencionales logran una reducción adicional de los GEI al consumir menos energía para el mismo efecto de climatización.

El alcance del proyecto se basará en un análisis de las alternativas tecnológicas para cubrir las necesidades energéticas en climatización (calefacción y refrigeración) y ACS de un hospital tipo, variando diferentes configuraciones tecnológicas y adaptándolas a diferentes condiciones climáticas definidas de antemano en España y Republica Dominicana.

El estudio se centrará en valorar las diversas alternativas estudiadas en cuanto:

- Emisiones CO₂
- Energía primaria no renovable
- Análisis económico-financiero

2.2 *Calculo necesidades. Definición y demandas energéticas en las zonas climáticas adoptadas.*

Una vez definida las características del Hospital tipo y las diferentes localizaciones se procederá al cálculo de las necesidades energéticas térmicas, tanto para climatización como para ACS. Para esta determinación se emplearán metodologías internacionalmente reconocidas, como el método de grados-día (degree-days) o el de las cargas térmicas (calor latente) y los estudios ya realizados en hospitales que relacionan los parámetros definidos en la fase anterior con los consumos energéticos mediante los cuales es posible calcular la demanda energética desagregada de la calefacción, la refrigeración y el ACS, lo cual nos ofrecerá mayor flexibilidad a la hora de poder determinar diferentes alternativas de sistemas híbridos para cubrir la totalidad de las necesidades.

2.3 *Energía geotérmica base con bomba de calor - Estado del arte de la tecnología y diseño base de la instalación requerida.*

En esta fase se realizará una primera introducción a la energía geotérmica y sus principios (ver Ilustración 2-3), así como del empleo de la bomba de calor y sus aplicaciones.

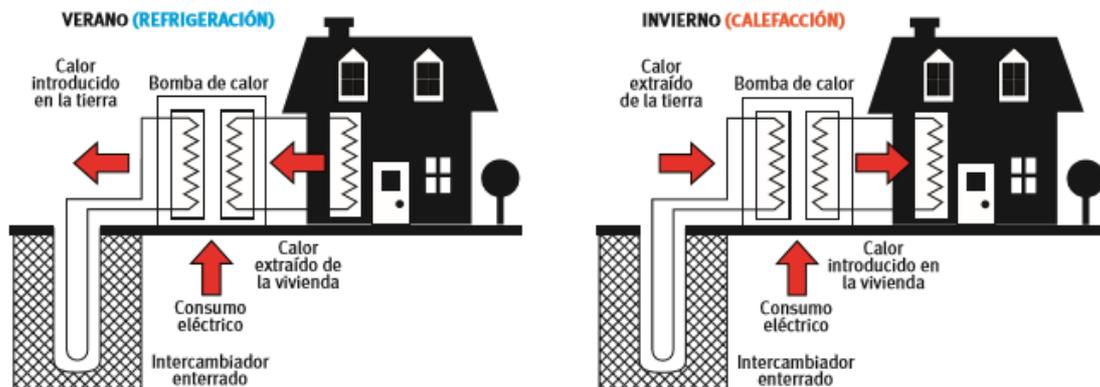


Ilustración 2-3 Fuente IDAE

Una vez determinada la demanda de energía térmica necesaria en el paso metodológico anterior, en la presente etapa se definirán diversas configuraciones tecnológicas para suplir dicha demanda, o sea la "oferta", con base en la energía geotérmica de baja temperatura. El diseño de las instalaciones de climatización geotérmicas finalmente debe expresar mediante ratios al menos los costos llave en mano, las superficies necesarias, el ahorro de emisiones y los consumos energéticos, todos definidos por unidad de energía térmica final aportada.

Con base a estos datos será preciso compararlos con la demanda energética de nuestro hospital tipo en sus respectivas localizaciones y se verificara entonces la posibilidad o incluso la necesidad de hibridar el sistema geotérmico con otros sistemas renovables alternativos.

También sería preciso realizar el Test de Respuesta Térmica (TRT) que es una herramienta esencial para el éxito de las instalaciones geotérmicas de cierta envergadura, ya que reproducen el comportamiento geotérmico de los diferentes horizontes litológicos frente a las extracciones o inyecciones de calor en el terreno y son fundamentales por lo tanto, junto con el uso de programas de simulación a medio-largo plazo, para evitar fenómenos como pérdida de eficiencia a largo plazo o incluso agotamiento del recurso por enfriamiento, si bien este TRT no puede ser incluido en el alcance de este proyecto y se partirá de valores tabulares, no tan precisos, pero que permiten cumplir el objetivo académico y funcional del mismo

2.4 Definición de las alternativas tecnológicas de climatización y ACS. Obtención de los ratios técnicos/económicos de cada propuesta

Una vez calculados las necesidades energéticas y las posibilidades geotérmicas será necesario definir los diferentes esquemas tecnológicos partiendo de una situación de empleo de energías convencionales hasta sistemas el diseño de hibridación que optimicen la eficiencia y la sostenibilidad en cada localización. Para ello se procederá a la elección justificada de una serie de parámetros que nos sirvan para comparar las diferentes alternativas. Estos parámetros serán perfectamente comparables en base a unidades internacionales.

2.5 Evaluación comparativa de las alternativas técnicas y de las zonas climáticas.

En esta fase del estudio se llevara a cabo la comparación de las diversas alternativas en base a los parámetros calculados para una de ellas en las diferentes localizaciones. Se requerirá de un análisis detallado de los ratios obtenidos de forma que nos ofrezcan una certera valoración económica y ambiental y que permitan posteriormente la selección de las mejores alternativas.

2.6 Conclusiones.

Se elaborará una justificación detallada de los resultados del estudio y un análisis global de los diferentes conjuntos de ratios obtenidos en cada alternativa mostrada de forma que permita escoger una solución que pueda ser considerada óptima para la demanda estudiada teniendo en cuenta las ventajas y las desventajas de las diferentes configuraciones, así como el cumplimiento de los objetivos propuestos en este estudio.

3 DESCRIPCIÓN DEL ESCENARIO INICIAL

Tal y como se ha indicado en el apartado referente a la metodología, es preciso definir previamente el escenario de estudio dentro del marco regulador pertinente.

3.1 MARCO NORMATIVO

3.1.1 ESPAÑA

- Real Decreto 314/2006 de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación (CTE).
- Documento Básico de Ahorro de Energía del Código Técnico de la Edificación (CTE DB HE)
- Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios.
- Directiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de abril de 2009 relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables y por la que se modifican y se derogan las Directivas 2001/77/CE y 2003/30/CE
- Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de mayo de 2010, relativa a la eficiencia energética de los edificios Directiva 2002/91/CE.
- Directiva 2012/27/UE de Eficiencia Energética
- Ley 22/1973, de 21 de julio, de Minas (BOE nº 143, de 24/07/1973). Ley 54/1980, de 5 de noviembre, de modificación de la Ley 22/1973, de 21 de julio, de Minas
- Real Decreto 863/1985, de 2 de abril, por el que se aprueba el Reglamento General de Normas Básicas de Seguridad Minera (BOE nº 140, de 12/06/1985 y BOE nº 302, de 18/12/1978).
- Real Decreto 2857/1978, de 25 de agosto por el que se aprueba el Reglamento General para el Régimen de la Minería (BOE nº 295, de 11/12/1978 y BOE nº 176, de 24/07/1973).
- Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el Texto Refundido de la Ley de Aguas.
- Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de evaluación ambiental. (BOE nº 296, 11/12/2013).
- Norma AENOR sobre geotermia somera con intercambio vertical (norma UNE 100715-1:2014)

3.1.2 REPUBLICA DOMINICANA

- Ley No.1-12, de enero 2012, Establece la Estrategia Nacional de Desarrollo al 2030. En el Artículo 9. Tercer Eje, que procura una Economía Sostenible, Integradora y Competitiva. Asegurar que las tecnologías de consume energético sean sostenibles financiera y medioambientalmente.

- Ley 57-07 de Incentivo a las Energías Renovables de mayo 2007 y su reglamento de Aplicación de mayo 2008. Regula la aplicación de incentivos fiscales (40% devolución del total del costo en equipos) en proyectos Renovables.
- En RD aún no se cuenta con una Ley de Eficiencia Energética, desde el año 2012 se procura que su borrador sea aprobado por las cámaras correspondientes aún sin éxito.
- En RD no existen normativas que obliguen la utilización de equipos eficientes en climatización y ACS. Para el cálculo los clientes y proveedores se basan en las guías de los fabricantes. Existe un borrador de Climatización del Ministerio de Obras Públicas que aún no se ha logrado convertir en Ley.
- En RD no existen zonas climáticas definidas aplicadas a código de construcción y menos asociadas a eficiencia energética.

3.2 TIPOLOGÍA DE LA EDIFICACION

La descripción de la tipología de la edificación objeto de estudio (Hospital) se basa en la clasificación realizada en la Directiva 2010/31/UE relativa a la eficiencia energética de los edificios en función de su uso. En el caso de un Hospital tipo según los estudios realizados por la Asociación de Investigación y Cooperación Industrial de Andalucía (AICIA) y el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) en función de la estructura del edificio tipo, en función de sus características dimensionales, forma, compacidad, huecos, etc. Un Hospital es posible definirlo como un edificio mixto con características similares a un hotel, a oficinas y a un centro comercial en función de la intensidad de su demanda temporal.

- 50% Hotel Intensidad baja 24 h
- 10% Oficinas Intensidad media 16h
- 30% Hotel Intensidad media 16 h
- 10% Centro Comercial Intensidad alta 8h

3.3 DESCRIPCION DEL HOSPITAL

El Hospital tipo objeto del proyecto en el que se basa el estudio es un hospital de nueva construcción, por lo que se presupone que su construcción se ajusta a lo determinado en el Código Técnico de la Edificación (CTE).

El edificio ocupa una superficie de 4.000 m² y se desarrolla en plantas B+3, con una planta de sótano, además cuenta con un aparcamiento exterior. En la planta Baja, se encuentra el acceso y la zona de admisión, zona de administración, zona de consultas, despachos, la farmacia y la cafetería. Cuenta con un acceso independiente de ambulancias, de forma que no se crucen las circulaciones entre visitas y usuarios del centro.

En la planta primera se ubican las salas de operaciones, pre/post operatorios y sala de cuidados intensivos y cuidados especiales. En las plantas segunda y tercera se encuentran las habitaciones, todas ellas dobles. Además, en la planta tercera se encuentran las salas para disfrutar con los familiares, salas dedicadas al personal del hospital y los distintos almacenes con todo lo necesario para el correcto funcionamiento del centro.

La planta sótano se dedica principalmente a espacios servidores y cuartos técnicos. Se dispone en esta planta de los centro de bombeo, cuadros generales de las instalaciones eléctricas, centro de transformación, cuarto de comunicaciones y cuarto para equipo de vacío. Se dispone además de los espacios utilizados por el personal como los vestuarios, cocina, almacenes de lencería, almacenes de farmacia, archivos de historias clínicas y similares. En esta planta sótano se localiza también la radiología, así como el túmulo y una sala de familiares. Se dispone de una rampa que permite el acceso rodado hasta planta sótano de suministros, recogida de residuos, lencería sucia, coches fúnebres y otros.

En la parte superior se encuentra la azotea, en la cual se ubican el resto de las instalaciones eléctricas y una amplia zona vacía cubierta con gravilla.

Las superficies totales construidas se muestran en la siguiente Tabla 3-1.

Tabla 3-1 Superficies totales construidas

Planta	Superficie construida (m ²)
Planta azotea	
Planta tercera	4.000
Plata segunda	4.000
Planta primera	4.000
Planta baja	4.000
Planta sótano	4.000
Total	20.000

La difusión del sistema de climatización del hospital se llevara a cabo mediante suelo radiante o fan coils que permite climatizar las diferentes estancias con temperaturas del fluido circulante más bajas que en el caso de sistemas tradicionales como los radiadores, aumentado de este modo la eficiencia del sistema geotérmico.

3.4 LOCALIZACIONES, CLIMA Y RADIACION

Para evaluar el comportamiento de las distintas alternativas tecnológicas planteadas se establecerá un mismo tipo de edificación en varias localizaciones. Estas localizaciones ofrecerán una variabilidad en cuanto a clima, que determinara fundamentalmente la demanda energética, además de un marco normativo y marco económico diferente. Las ubicaciones escogidas para el estudio son:

- Sevilla
- Madrid
- Bilbao
- Santo Domingo

Tal y como hemos indicado las distintas localizaciones se verán representadas por las diferentes zonas climáticas en estudio. Para el caso de España, se emplearan los climas de referencia definidos en el Documento Básico de Ahorro de Energía del Código Técnico de Edificación (CTE DB HE) y para el caso de Santo Domingo, emplearemos los datos oficiales de la Oficina Nacional de Meteorología (ONAMET) (Oficina Nacional de Meteorología) y la base de datos de weather base.

El clima de referencia viene definido por las solicitaciones exteriores de cálculo para un año tipo a través de una serie de parámetros (temperatura, humedad, radiación solar...), representativos de una zona climática.

Este clima vendrá definido por los siguientes parámetros normativos y no normativos:

A. Parámetros normativos:

- 1) Temperatura seca (°C);
- 2) Humedad relativa (%);
- 3) Irradiancia solar global sobre el plano horizontal (W/m²)

B. Parámetros no normativos

- 1) Velocidad del viento (m/s);
- 2) Dirección del viento (grados respecto al norte, E+, O-);
- 3) Azimut solar (grados);
- 4) Cénit solar (grados).
- 5) Temperatura efectiva del cielo (°C);
- 6) Irradiancia solar directa sobre una superficie horizontal (W/m²)
- 7) Irradiancia solar difusa sobre una superficie horizontal (W/m²)
- 8) Humedad específica (kgH₂O/kg aire seco);

En este estudio se tendrán en cuenta los parámetros normativos para establecer las demandas y los posteriores dimensionamientos de las diferentes alternativas. Las localizaciones seleccionadas para el objeto del proyecto se describen a continuación.

3.4.1 SEVILLA

La ciudad de Sevilla se encuentra emplazada dentro de la Comunidad Autónoma de Andalucía, la cual se encuentra encuadrada en su totalidad dentro de la zona climática territorial Mediterránea (ver Ilustración 2-1). En lo que respecta al clima de referencia, la ciudad de Sevilla se encuentra dentro de la zona climática 5 (ver Ilustración 3-1). La Tabla 3-2 muestra diversos factores climáticos obtenidos del CTE.

Tabla 3-2 Factores climáticos Sevilla

	Severidad Climática Invierno	Severidad Climática Verano	Radiación solar global media diaria anual
Sevilla	B	4	V

En la Tabla 3-3 se muestran los parámetros normativos que se han tenido en consideración para establecer las demandas y el posterior dimensionamiento.

Tabla 3-3 Parámetros normativos Sevilla

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
T	10.6	12.2	14.7	16.4	19.7	23.9	27.4	27.2	24.5	19.6	14.8	11.8
T _M	15.9	17.9	21.2	22.7	26.4	31	35.3	35	31.6	25.6	20.1	16.6
T _m	5.2	6.7	8.2	10.1	13.1	16.7	19.4	19.5	17.5	13.5	9.3	6.9
HR _M	72	68	61	60	57	52	47	50	54	63	71	75

Fuente: www.weatherbase.com

T: Temp. media del mes (°C)
 T_M: Temp. media máxima del mes (°C)

T_m: Temp. media mínima del mes. (°C)
 HR_M: Humedad relativa media (%).

3.4.2 BILBAO

La ciudad de Bilbao se encuentra emplazada dentro de la Comunidad Autónoma del País Vasco, la cual se encuentra encuadrada en parte dentro de la zona climática territorial Atlántico-Norte (ver Ilustración 2-1). En lo que respecta al clima de referencia, la ciudad de Bilbao se encuentra dentro de la zona climática 1 (ver Ilustración 3-1). La Tabla 3-4 muestra diversos factores climáticos obtenidos del CTE.

Tabla 3-4 Factores climáticos Bilbao

	Severidad Climática Invierno	Severidad Climática Verano	Radiación solar global media diaria anual
Bilbao	C	1	I

En la Tabla 3-5 se muestran los parámetros normativos que se han tenido en consideración para establecer las demandas y el posterior dimensionamiento.

Tabla 3-5 Parámetros normativos Bilbao

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
T	9	9.8	10.8	11.9	15.1	17.6	20	20.3	18.8	15.8	12	10
T _M	13.2	14.5	15.9	16.8	20.1	22.6	25.2	25.5	24.4	20.8	16.4	14
T _m	4.7	5.1	5.7	7.1	10.1	12.6	14.8	15.2	13.2	10.8	7.6	6
HR _M	72	70	70	71	71	72	73	74	73	73	74	73

Fuente: www.weatherbase.com

T: Temp. media del mes (°C)

T_M: Temp. media máxima del mes (°C)

T_m: Temp. media mínima del mes. (°C)

HR_M: Humedad relativa media (%).

3.4.3 MADRID

La ciudad de Madrid se encuentra emplazada dentro de la Comunidad Autónoma de Madrid, la cual se encuentra encuadrada en parte dentro de la zona climática territorial Continental (ver Ilustración 2-1). En lo que respecta al clima de referencia, la ciudad de Madrid se encuentra dentro de la zona climática 4 (ver Ilustración 3-1). La Tabla 3-6 muestra diversos factores climáticos obtenidos del CTE.

Tabla 3-6 Factores climáticos Madrid

	Severidad Climática Invierno	Severidad Climática Verano	Radiación solar global media diaria anual
Madrid	D	3	IV

En la Tabla 3-7 se muestran los parámetros normativos que se han tenido en consideración para establecer las demandas y el posterior dimensionamiento.

Tabla 3-7 Parámetros normativos Madrid

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
T	5.4	7.2	9.8	11.7	15.6	20.7	24.5	24.2	20.2	14.4	9.2	6.4
T _M	9.7	12	15.7	17.5	21.4	26.9	31.2	30.7	26	19	13.4	10.1
T _m	2.6	3.7	5.6	7.2	10.7	15.1	18.4	18.2	15	10.2	6	3.8
HR _M	71	65	54	55	54	46	39	41	50	64	70	74

Fuente: www.weatherbase.com

T: Temp. media del mes (°C)

T_M: Temp. media máxima del mes (°C)

T_m: Temp. media mínima del mes. (°C)

HR_M: Humedad relativa media (%).

3.4.3.1 Radiación solar en España

En la Ilustración 3-1 se marcan los límites de zonas homogéneas a efectos de la exigencia. Las zonas se han definido teniendo en cuenta la Radiación Solar Global media diaria anual sobre superficie horizontal (H), tomando los intervalos que se relacionan para cada una de las zonas, como se indica a continuación:

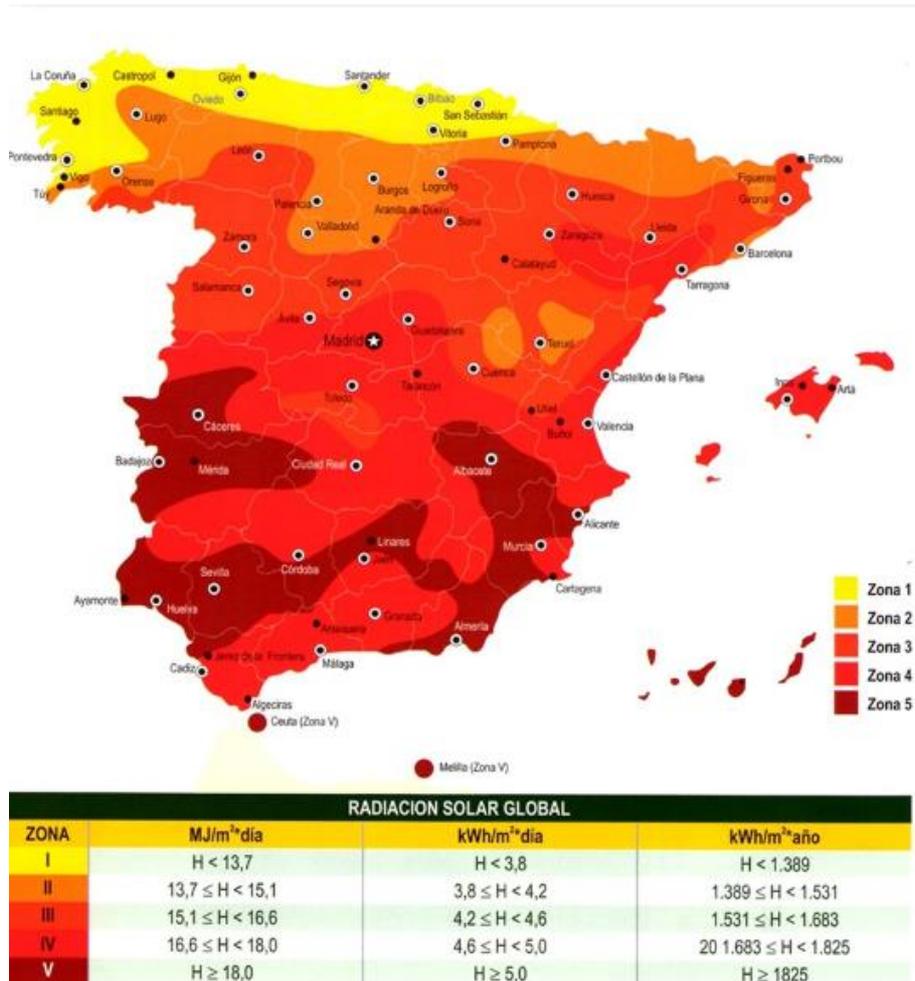


Ilustración 3-1 Clima de referencia

3.4.4 SANTO DOMINGO

Santo Domingo es la ciudad capital de República Dominicana, la cual ocupa la parte oriental de la isla La Española entre el Trópico de Cáncer y el Ecuador (15°-20°N de latitud, ver Ilustración 2-2). Su clima se denomina tropical. Además de la fuerte influencia del mar Caribe, en el interior de la isla el régimen de vientos, la altitud y el relieve condicionan el clima local.

Las localidades a barlovento reciben la humedad transportada por los vientos alisios desde el océano Atlántico. En invierno, los frentes fríos norteamericanos modifican especialmente el clima de la costa norte de la isla. En verano se presentan una serie de fenómenos atmosféricos que modifican el clima local: vaguadas, ondas tropicales, ciclones, etc.

En la Tabla 3-8 se muestran los parámetros normativos que se han tenido en consideración para establecer las demandas y el posterior dimensionamiento.

Tabla 3-8 Parámetros normativos Santo Domingo

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
T	24	24	25	26	26	27	27	27	27	26	26	25
T _M	27	27	28	28	28	30	30	30	30	30	29	27
T _m	21	21	21	22	23	24	24	24	23	23	22	21
HR _m	71	71	72	72	76	76	76	77	78	79	77	73
HR _M	92	92	91	91	92	92	92	93	94	94	93	93

Fuente: www.weatherbase.com

T: Temp. media del mes (°C)

T_M: Temp. media máxima del mes (°C)

T_m: Temp. media mínima del mes. (°C)

HR_M: Humedad relativa media máxima (%).

HR_m: Humedad relativa media mínima (%).

En la Ilustración 3-2, se muestra la radiación solar en República Dominicana. Santo Domingo se encuentra entre los rangos 180 y 200 w/m².

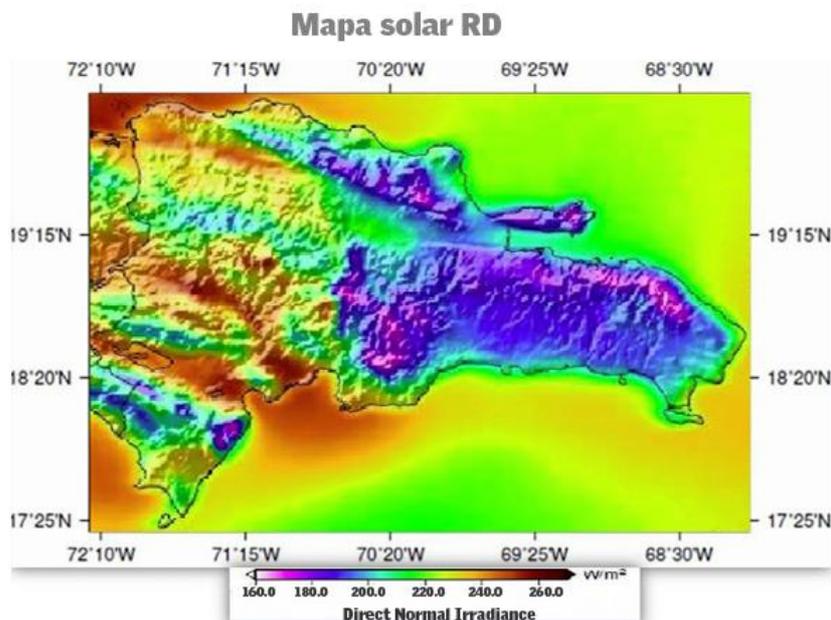


Ilustración 3-2 Fuente World Watch Institute

3.5 ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS

A continuación pasamos a describir de forma esquemática las diferentes alternativas tecnológicas que van a ser analizadas en el proyecto y la hibridación de las mismas, usando siempre como base (o sistema 1) la geotermia de muy baja temperatura.

Al centrarse el estudio en la exploración de alternativas de mejora de la eficiencia energética reemplazando las fuentes de energía tradicionales para la climatización y el ACS, no se tendrán en cuenta aquellas necesidades de equipamientos y exigencias normativas que obligatoriamente tengan que ser instaladas en ambas opciones, la tradicional y el sistema geotérmico. Ejemplos de estos sistemas serían los equipos específicos de ventilación que cumplan con las normativas sanitarias al respecto de la calidad del aire, sistemas de tratamiento del ACS para prevenir la Legionela, etc.

3.5.1.1 SISTEMA 0: SITUACIÓN BASE: ENERGÍAS FÓSILES

El acondicionamiento de los centros sanitarios suele ser centralizado, y los sistemas generadores (ver Ilustración 3-3) que normalmente se utilizan para la producción de calor son las calderas o las bombas de calor, que utilizan el agua caliente como fluido portador de energía hasta los recintos a calefaccionar, los sistemas de emisión empleados son los radiadores de agua de hierro fundido, aluminio, etc.

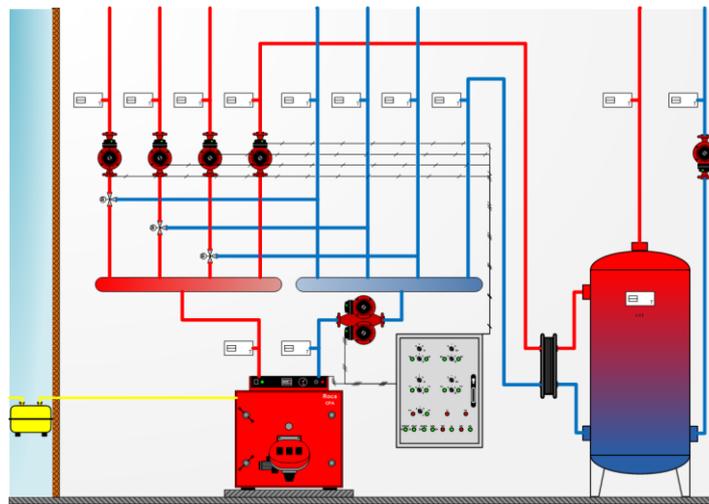


Ilustración 3-3 Sistema de calefacción por calderas - Fuente web search

Para la refrigeración (ver Ilustración 3-4) los sistemas generadores mayormente utilizados son las plantas enfriadoras de agua helada (chillers en inglés) con torres de enfriamiento y sus sistemas de emisión en los ambientes a climatizar son los fan-coils.

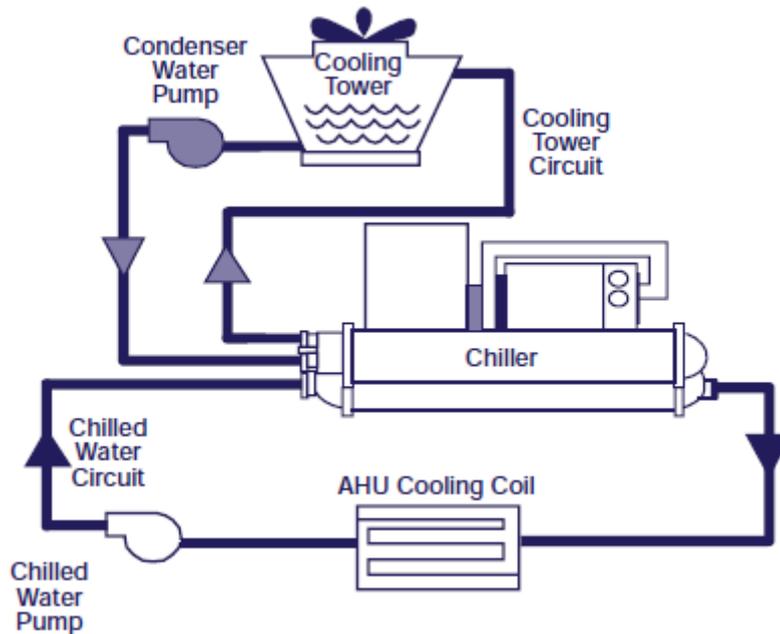


Ilustración 3-4 Sistema de refrigeración Fuente web search

Lo más común es que en las habitaciones se empleen unidades terminales con control del usuario, y en los quirófanos sistemas independientes, instalando un climatizador para controlar y mantener todos los parámetros de temperatura y humedad relativa en el rango de confort, debido a las condiciones necesarias estrictas, para el caso de hospitales, en lo referente al aire interior.

Agua caliente sanitaria (ver Ilustración 3-5), mayormente se suele producir con calderas alimentadas por gas.

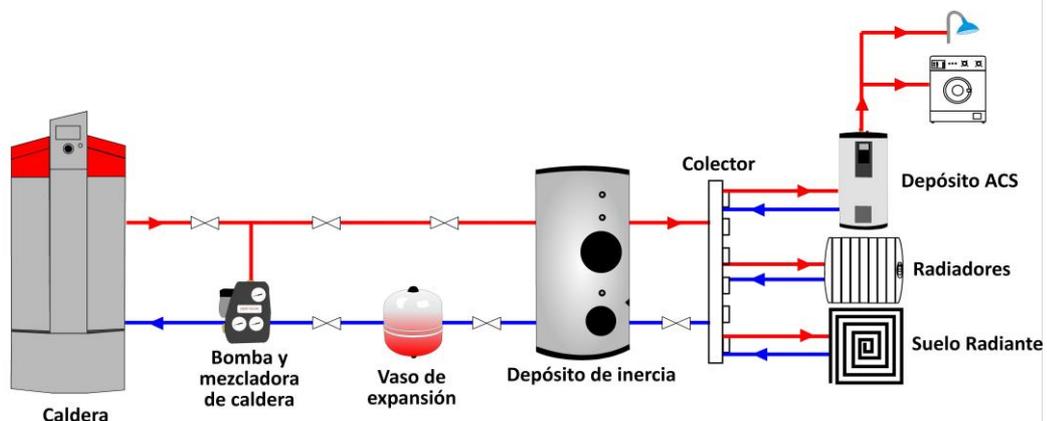


Ilustración 3-5 Sistema ACS Fuente web search

3.5.1.2 SISTEMA 1: ENERGÍA GEOTÉRMICA+APOYO CONVENCIONAL

El sistema 1 viene definido por la sustitución de una parte (del sistema 0) de la potencia necesaria para calor y frío por una instalación geotérmica de baja entalpia con bombas de calor.

La optimización de la sustitución geotérmica se conseguirá cuando la instalación geotérmica suponga la base de la producción del hospital, que será completada por los equipos convencionales (sistema 0). Para que esto ocurra, debemos dimensionar la instalación geotérmica de forma que su aporte sea lo más cercano posible al 100% de la demanda que sea menor entre la demanda de refrigeración y la de calefacción.

De manera esquemática definimos el sistema 1, el cual consiste en aprovechar la capacidad que tiene el subsuelo de permanecer a una temperatura (entre 12°-15°) aproximadamente constante a lo largo del año. Esta capacidad le permite ceder o absorber gran cantidad de calor, y es la fuente de la energía geotérmica (ver Ilustración 3-6).

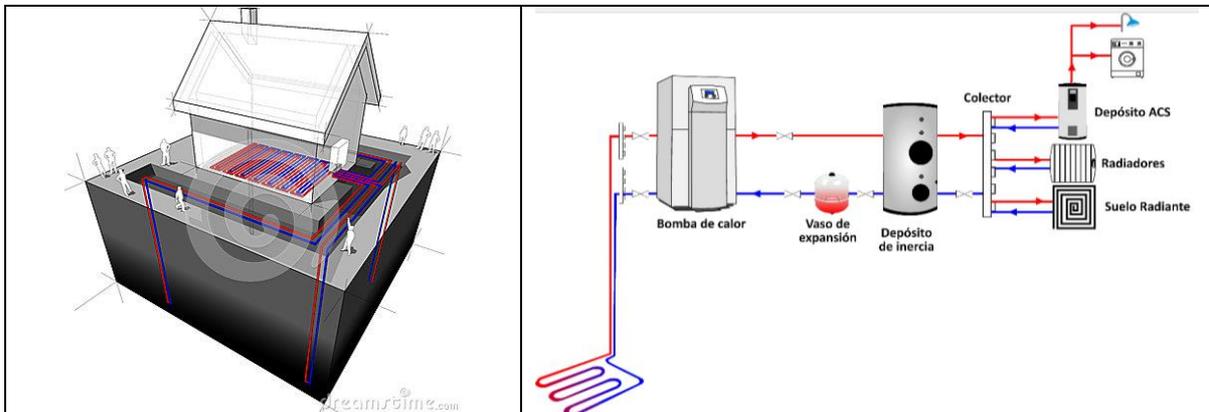


Ilustración 3-6 Sistema 1 - Energía geotérmica - Fuente web search

Las bombas de calor geotérmicas (BCG) aprovechan el calor almacenado en el subsuelo para calentar un edificio y producir agua caliente, o para refrigerarlo en verano. La bomba de calor geotérmica es más eficiente que una bomba de calor convencional. En la sección 6.2.2.1 se describe en detalle las características de las distintas BCG evaluadas para el proyecto.

El sistema de captación será del tipo vertical de modo que no se precise de una gran parcela que se emplee para la captación del calor. Las profundidades de los sondeos serán de entre 100 a 150 metros de profundidad y el flujo el fluido será en serie, el cual presenta un mayor rendimiento. El detalle del sistema se puede ver en la sección 6.2.2.3.

3.5.1.3 SISTEMA 2: ENERGÍA GEOTÉRMICA + SOLAR FOTVOLTAICA+APOYO CONVENCIONAL

El sistema 2 propuesto (ver Ilustración 3-7), lo conformaría la hibridación de la energía geotérmica (o sistema 1) con la energía solar fotovoltaica (FV). El consumo que tiene la bomba de calor geotérmica para generar agua caliente sanitaria, calefacción, refrigeración, sería cubierto total o parcialmente por la instalación fotovoltaica disminuyendo el consumo de Energía primaria no renovable y las emisiones de CO₂.

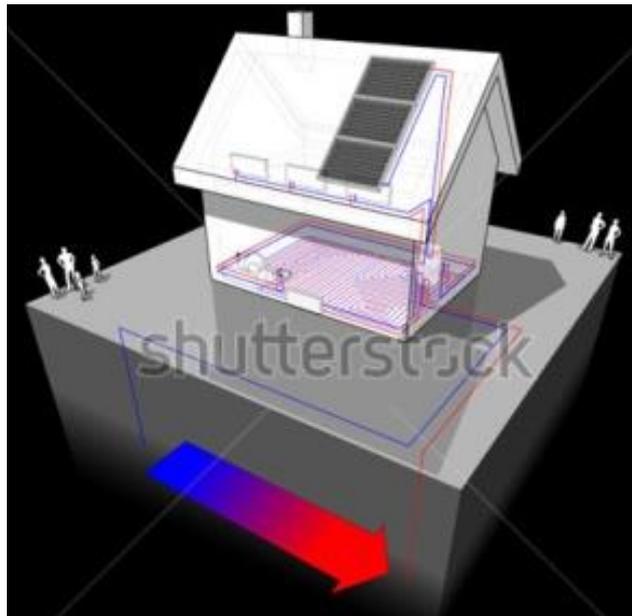


Ilustración 3-7 Sistema 2 - Geotérmica + solar FV Fuente web search

3.5.1.4 SISTEMA 3: ENERGÍA GEOTÉRMICA + SOLAR BAJA TEMPERATURA+APOYO CONVENCIONAL

En el Sistema 3 propuesto (ver Ilustración 3-8), se adiciona al sistema geotérmico un equipamiento de captadores solares de baja temperatura. Estos captadores solares térmicos apoyan a la geotermia para cubrir los picos en el consumo tanto de calefacción como de agua caliente sanitaria y aumentando el rendimiento de la bomba de calor.

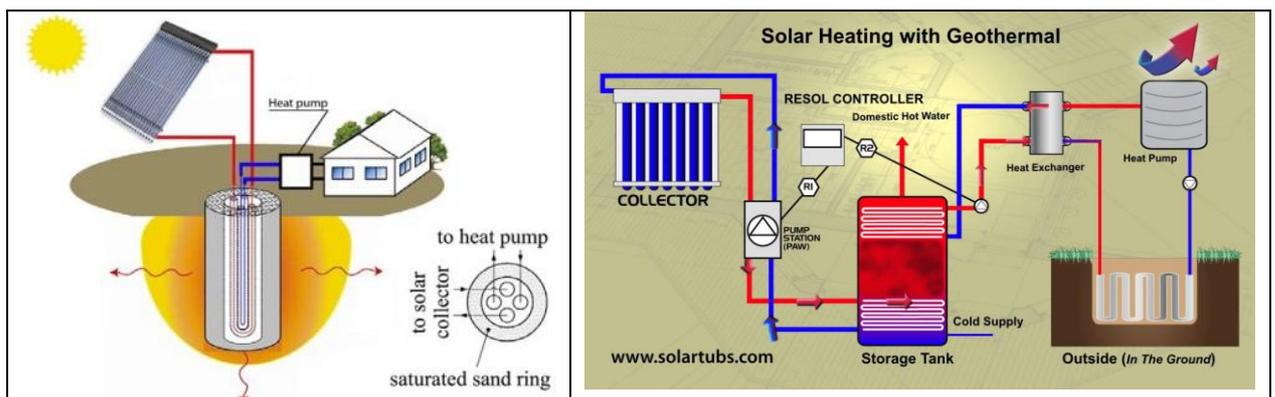


Ilustración 3-8 Sistema 3 - Geotermia + solar térmica - Fuente web search

3.5.1.5 SISTEMA 4: ENERGÍA GEOTÉRMICA + SOLAR BAJA TEMPERATURA+ FOTOVOLTAICA+APOYO CONVENCIONAL

En este último sistema 4 (ver Ilustración 3-9) a evaluar, se conformara un sistema que emplee las tres tecnologías renovables previamente descritas (geotérmica, FV y solar térmica) de forma complementaria, de tal manera que se pueda analizar las sinergias que ofrece este sistema hibrido en comparación con el resto de sistemas.

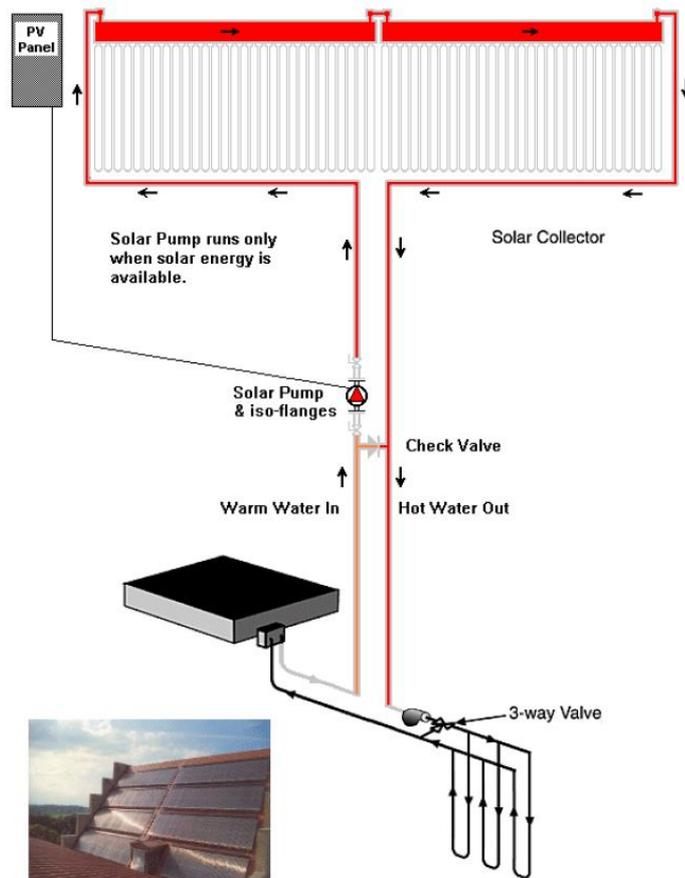


Ilustración 3-9 Sistema 4 - Hibridación de las 3 tecnologías - Fuente web search

4 CALCULO DE LA DEMANDA

Como dato principal de partida para el dimensionamiento y comparación entre distintas tecnologías es preciso definir los conceptos de pico de potencia de suministro y el trabajo requerido anual:

- Demanda o pico de potencia requerido de suministro de flujo de calor (o “retiro” en caso de refrigeración). Este dato se obtendrá para las condiciones extremas anuales, el día más caluroso para la refrigeración y el más frío para la calefacción y ACS. Este dato será el insumo para el dimensionamiento de los equipos geotérmicos como también de las tecnologías convencionales.
- Energía o trabajo requerido anualmente fruto de las demandas energéticas de los sistemas de climatización y ACS. Este dato será el insumo de la determinación de los consumos energéticos necesarios en cada una de las distintas ubicaciones analizadas.

4.1 Determinación de los parámetros de confort de la climatización.

Se toma como referencia el Manual Técnico Básico del 2010, del Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios (RITE).

El RITE y otras normas más específicas se basan en información contrastada basada en el siguiente gráfico y que marca en rojo y azul las áreas de trabajo de los sistemas térmicos de confort (véanse los valores de temperaturas y humedad que incluyen, ver Ilustración 4-1), para una satisfacción térmica del 90% de sus ocupantes.

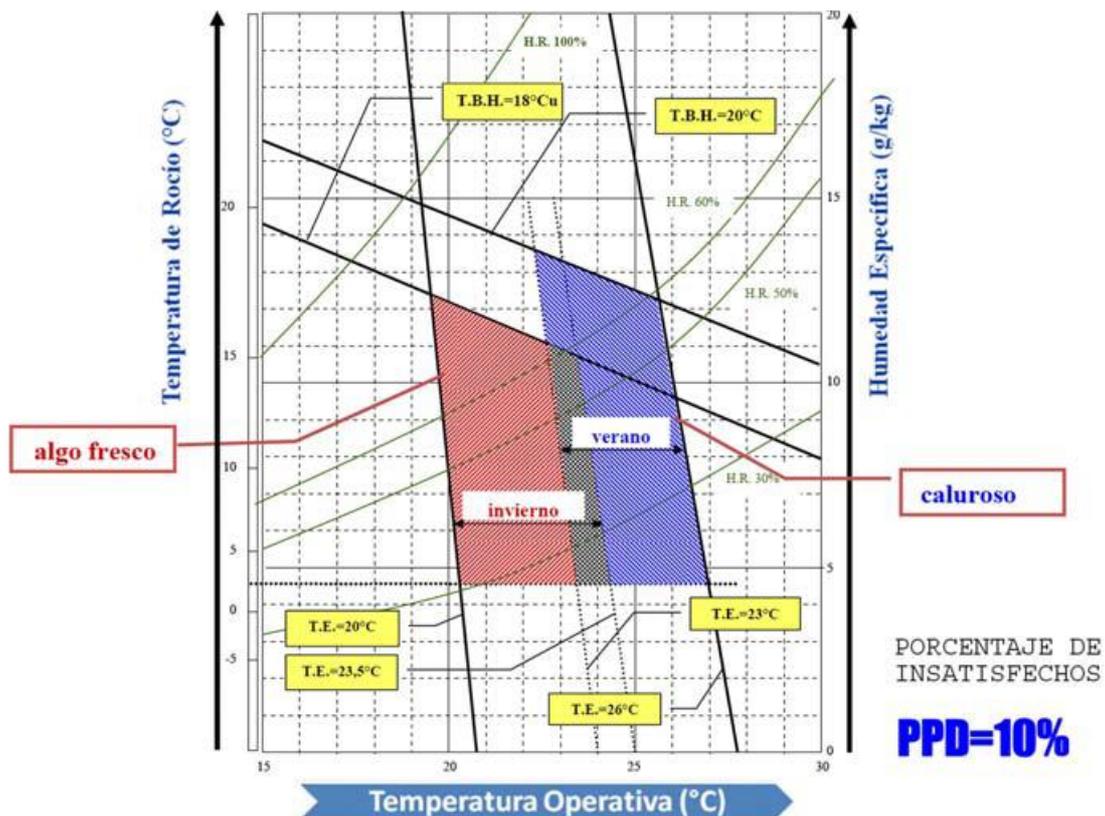


Ilustración 4-1 áreas de confort en invierno y verano. Fuente: I.D.A.E

Se adopta el siguiente rango para los parámetros de temperatura seca (del aire interior ya tratado) y humedad relativa del ambiente, tomados de la Tabla 4-1 del RITE.

Tabla 4-1 Condiciones de confort y diseño de ambientes

Estación	Temperatura operativa °C	Humedad Relativa %
Verano	23 a 25 *	45 a 60.
Invierno	21 a 23 *	40 a 50.

4.2 Determinación de la Potencia máxima demandada por la climatización.

Debido a que el parámetro de humedad relativa (HR%) debe ajustarse a un rango muy estrecho en las condiciones de confort (ver Tabla 4-1) y teniendo que las HR% de las cuatro ciudades seleccionadas varían anualmente en un amplio rango de 39-85%, queda claro que el proceso de climatización no solo debe modificar la temperatura del ambiente interior sino también su humedad.

Para determinar los volúmenes de transferencia de flujo de calor en procesos con variación de HR% se utiliza la siguiente expresión del “calor latente”:

$$Q = m * \Delta h = V * \rho * \Delta h * \frac{1}{1000}$$

Dónde:

- Q: Flujo de calor por unidad de tiempo intercambiado. Expresado en [kJ/s = kW]
- m: Flujo másico intercambiado. Expresado en [kg/s]
- Δh: Diferencia del calor total, latente y sensible, (entalpía). Expresado en [kJ/kg]
- V: Flujo volumétrico del aire. Expresado en [l/s = LPS]
- ρ: Densidad del aire. Expresado en [kg/m³]

La renovación del aire se define en la normativa CTE, sección HS3, según la Tabla 4-2.

Tabla 4-2 Categorías de calidad del aire

IT 1.1.4.2.2. Categorías de calidad del aire. Aplicación del método indirecto por nº de ocupantes		
Uso del edificio o local	Categoría	l/s por persona (mínimo)
Hospitales, clínicas, laboratorios y guarderías.	IDA 1. Calidad óptima	20

Tomando en consideración todas las personas que en promedio se encuentran dentro del hospital (tomado de informes anuales hospitales Asepeyo) obtenemos el dato de que para obtener una calidad óptima de renovación de aire es necesario reemplazar el mitad del volumen total del aire climatizado cada hora.

Determinaciones variables de ecuación del calor latente:

V total= 59,535,000 ltrs	Volumen total de aire dentro de hospital de 20,000 m ² , con altura de techo de 3m.
Renovación= 0.50 Vol/h	Renovación necesaria del volumen de aire según CTE sección HS3.
V= 33,075 l/s	Flujo de aire expresado en l/s o LPS.
ρ = 1.204 kg/m ³	Densidad del aire a temperaturas entre 0 - 50 °C.

Δh = Para la variación de entalpía es necesario utilizar el diagrama psicrométrico (ver Ilustración 4-2, para obtener la Entalpía en función de la temperatura y humedad definidas. Por un lado se toma la temperatura y humedad de las peores condiciones externas para la climatización y por el otro los valores definidos en la sección 4.1 al respecto de las condiciones de confort.

Para simplificar el manejo de la carta psicrométrica y para mejorar la precisión se utiliza la facilidad que presenta la carta online siguiente: www.sc.ehu.es/nmwmigaj/CartaPsy.htm.

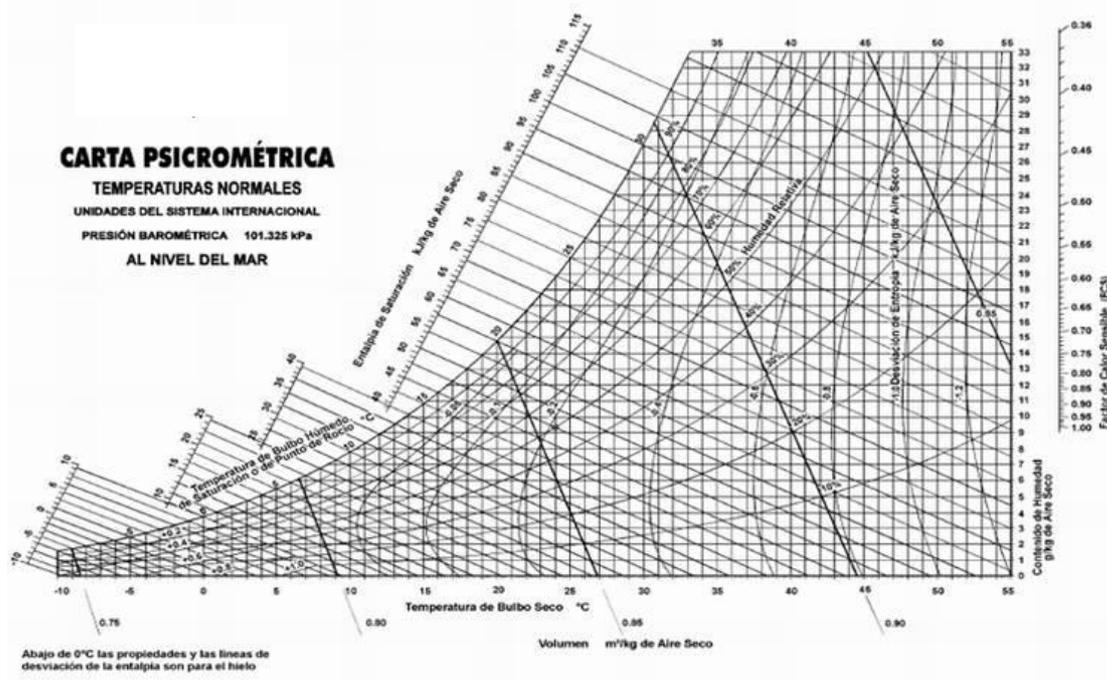


Ilustración 4-2 Diagrama psicrométrico

Las condiciones climatológicas externas de cada ciudad se toman de la base de dato existentes en temperatura weather (www.temperatureweather.com). Los valores principales durante un año se muestran en las tablas del Anexo A. De estos datos se elijará las condiciones más desfavorables para la climatización, o sea el día más frío del año para la calefacción y más cálido para la refrigeración.

Obtenidas todas las variables de la ecuación del flujo de calor latente, se aplica para cada una de las características climáticas en las cuatro ciudades obteniéndose la potencia de calefacción expresada en kW en la Tabla 4-3.

Tabla 4-3 Determinación Potencia Máxima de Calefacción

Calefacción	Condición exterior más desfavorable			Condición de diseño interior en invierno			Q [kW]
	Temperatura [°C]	Humedad Relativa [%]	Entalpía [kJ/kg]	Temperatura [°C]	Humedad Relativa [%]	Entalpía [kJ/kg]	
Sevilla	8	72	20.0849	22	45	40.9082	829
Bilbao	6	75	16.9485	22	45	40.9082	954
Madrid	1	81	9.2577	22	45	40.9082	1,260
Santo Domingo	21	83	53.9671	22	45	40.9082	- 520

Se destaca que los valores negativos de la demanda del flujo de calor para el caso de la ciudad de Santo Domingo describen que la peor de las condiciones exteriores (el día más frío) es aún más cálido que las condiciones de diseño del sistema de calefacción, por tanto no es necesario dicho sistema en ningún momento del año.

La Aplicación de la ecuación del flujo de calor latente para el caso de la refrigeración en las cuatro ciudades nos brinda la potencia de calefacción expresada en kW, en la Tabla 4-4.

Tabla 4-4 Determinación Potencia Máxima de Refrigeración.

Refrigeración	Condición exterior más desfavorable			Condición de diseño interior			Q [kW]
	Temperatura [°C]	Humedad Relativa [%]	Entalpía [kJ/kg]	Temperatura [°C]	Humedad Relativa [%]	Entalpía [kJ/kg]	
Sevilla	31	64	77.6494	24	50	47.7941	1,189
Bilbao	26	77	67.7063	24	50	47.7941	793
Madrid	33	39	64.6465	24	50	47.7941	671
Santo Domingo	32	85	98.3434	24	50	47.7941	2,013

4.3 Determinación de la Energía consumida por la climatización.

Para determinar la necesidad de la utilización de los sistemas de climatización al ser variables las condiciones exteriores del clima tanto durante los días del año como durante el mismo transcurso del día, es preciso recurrir a la metodología de los “Grados Días” (ver Ilustración 4-3).

La metodología de cálculo en función de los “Grados días” toma en consideración los registros históricos de cada lugar analizado, los compara con una temperatura adoptada como base y genera la diferencia de temperatura de cada día que será necesaria de calefacciones o refrigerar por el sistema de climatización. Los “grados días” se calculan separadamente para calefacción y refrigeración y su valor absoluto representa la sumatoria de todo el año de los grados de diferencia necesarios a ser aportados por el sistema de climatización.

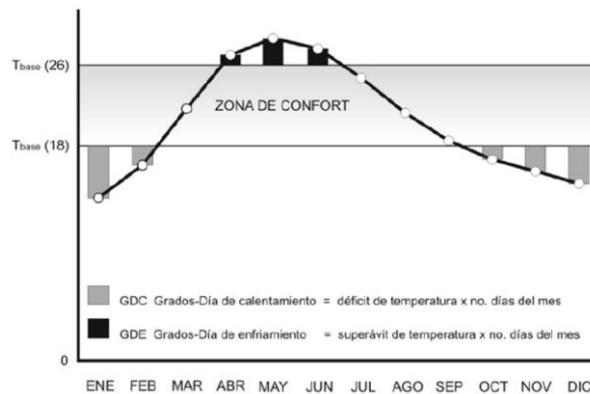


Ilustración 4-3 Representación conceptual del método de Grados Día. Fuente web search.

La expresión del Calor anual (Q) total a suministrar/extraer en función de los GD es:

$$Q = U * A * GD * 24$$

Dónde:

Q: cantidad total de calor que debe suministrar/extraer el sistema de climatización. [Wh/año]

U: coeficiente total de transferencia de calor o "conductancia del cerramiento". Inversa de la suma de las resistencias de los materiales al flujo de calor. Expresado en [W/m²*°C]

A: superficie de cerramiento de fachada al exterior. Expresado en [m²]

GD: Grados Día, tanto de calefacción (GDC) o enfriamiento (GDE). Expresado en [°C*día/año]

Los valores del coeficiente de transferencia de calor “U” se desprenden de la selección de las características constructivas del cerramiento de la pared, del techo y de los acristalamientos seleccionados.

En la Tabla 4-5 se detalla cada selección realizada para la envolvente del edificio del hospital, lo que define los valores de U adoptados. En misma tabla se describe el cálculo de las áreas de envolvente que compone cada tipo de cerramiento. Las observaciones destacadas en la Tabla 4-5, se soportan en el Anexo B.

Tabla 4-5 Determinación de las variables de U y A para tres tipos de superficies al exterior

Tipo	Variable	Valor	Unidad	Observación (ver anexos con tablas del CTE)
Pared	U	1.62	W/m ² *°C	Se adopta U según tabla Pag. 104 Catalogo de Elementos Constructivos del CTE (block hueco de hormigón grueso)
	A	2,688	m ²	Área paredes al exterior, adoptando 4 pisos, altura de 3m y 20% de superficie vidriada al exterior.
Vidrios	U	3.30	W/m ² *°C	Se adopta U según doble acristalamiento clásico (reduce la pérdida de Q un 42% vs cristal único)
	A	672	m ²	Área superficies vidriadas al exterior, tomando 20% de superficie de pared fachadas.
Techo	U	2.00	W/m ² *°C	Se adopta U según tabla en datos del Catálogo de Elementos Constructivos del CTE (ítem 4.1.2)
	A	5,000	m ²	Área superficie de techo al exterior.

El valor de los Grados Días (GD) se determina vía la base de datos disponible en www.degreedays.net y se eligen las estaciones meteorológicas de los aeropuertos principales de cada ciudad.

Para los Grados Días de Calefacción (GDC) se define la temperatura base de 20°C suponiendo que de 1.5°C a 2°C se elevará la temperatura por efecto del calor producido por las personas y los equipos eléctricos dentro de los recintos.

Para los Grados Días de Enfriamiento (GDE) se define la temperatura base de 21.5°C suponiendo que de 1.5°C a 2°C se elevará la temperatura por efecto del calor producido por las personas y los equipos eléctricos dentro de los recintos.

En los Anexos C y D se encuentra el detalle completo de los datos de cada ciudad y los valores de GDC y GDE adoptados. Para el caso de los sistemas de calefacción, la energía anual se indica en la Tabla 4-6.

Tabla 4-6 Determinación Energía Anual de Calefacción

Calefacción	GD [°C*día/año]	Q paredes [kWh/año]	Q cristal [kWh/año]	Q techo [kWh/año]	Q Total [kWh/año]
Sevilla	1323	138,266	70,413	317,520	526,199
Bilbao	1898	198,359	101,016	455,520	754,895
Madrid	2374	248,105	126,350	569,760	944,215
Santo Domingo	0	-	-	-	-

Para el caso de los sistemas de refrigeración, la energía anual se indica en la Tabla 4-7.

Tabla 4-7 Determinación Energía Anual de Refrigeración

Refrigeración	GD [°C*día/año]	Q paredes [kWh/año]	Q cristal [kWh/año]	Q techo [kWh/año]	Q Total [kWh/año]
Sevilla	807	84,339	42,950	193,680	320,970
Bilbao	175	18,289	9,314	42,000	69,603
Madrid	652	68,140	34,701	156,480	259,321
Santo Domingo	1678	175,366.8	89,307	402,720	667,394

4.4 Determinación de la Energía y Potencia del sistema ACS.

Para determinar la energía necesaria para elevar la temperatura del agua se utiliza la siguiente expresión:

$$Q = V * \rho * \Delta T * 0.001162$$

Dónde:

Q: Flujo de calor intercambiado. Expresado en [kWh]

V: Volumen de agua diario a calentar. Expresado en [ltrs/día]

ρ : Calor específico del agua, de 1 Cal/g*°C.

ΔT : Diferencia de temperatura entre el agua ambiente y la temperatura deseada. En [°C]

0.001162: factor de conversión de kWh a Cal y de gramos a Ltrs.

Para determinar el Volumen de ACS necesario nos basamos en el guía técnica del IDAE y en el CTE para el diseño del ACS, dónde se recomienda 55 litros/cama, según la Tabla 4-8.

Tabla 4-8 Criterios de consumo de ACS para el diseño de instalaciones

Criterio de consumo de ACS para diseño de instalaciones	
Tipo de edificio	Litros/día a 60 °C
Viviendas unifamiliares	30 por persona
Viviendas multifamiliares	22 por persona
Hospitales y clínicas	55 por cama
Hotel 4*	70 por cama
Hotel 3*	55 por cama
Hotel/Hostal 2*	40 por cama
Hostal/Pensión 1*	35 por cama
Camping	40 por emplazamiento
Residencias (ancianos, estudiantes, etc.)	55 por cama
Vestuarios/Duchas colectivas	15 por servicio
Escuela	3 por alumno
Cuarteles	20 por persona
Fábricas y talleres	15 por persona
Administrativos	3 por persona
Gimnasios	20 a 25 por usuario
Lavanderías	3 a 5 por kg de ropa
Restaurantes	5 a 10 por comida
Cafeterías	1 por almuerzo

Tabla 3.1 (HE4)

Tabla 03: Consumos diarios de ACS a 60 °C (HE4)

En el Anexo E se detalla los valores del agua a temperatura ambiente en cada mes del año en y en cada una de las cuatro ciudades elegidas. Para cada mes se aplica la expresión del cálculo de la energía necesario para elevar la temperatura del agua hasta 60°C y se suma la energía de cada mes resultando la energía anual. Adicionalmente se ha calculado la potencia del sistema ACS tomando la demanda de energía diaria, y considerando que el calentamiento se produce durante dos momentos en el día con una duración de unas 2 horas cada uno. El resumen de los cálculos realizados en el Anexo 1F se detalla en la Tabla 4-9.

Tabla 4-9 Resumen Energía Anual y Potencia de ACS.

ACS	Energía Anual (kWh/año)	Potencia (kW)
Sevilla	129,705.9	65.3
Bilbao	137,752.1	67.9
Madrid	136,985.1	69.2
Santo Domingo	95,979.0	46.6

El resumen general de las potencias y energías térmicas demandas calculas para la calefacción, refrigeración y ACS para cada una de las cuatro ciudades se detalla en la Tabla 4-10.

Tabla 4-10 Resumen Energía y Potencia térmica demandas por climatización y ACS

CIUDAD	POTENCIA (kW pico)				ENERGIA (kWh/año)			
	Calefacción	Refrigeración	ACS	Total	Calefacción	Refrigeración	ACS	Total
Sevilla	829	1,189	65	1,254	526,199	320,970	129,706	976,875
Bilbao	954	793	68	1,022	754,895	69,603	137,752	962,250
Madrid	1,260	671	69	1,330	944,215	259,321	136,985	1,340,522
Santo Domingo		2,013	47	2,060		667,394	95,979	763,373

5 ENERGÍA GEOTÉRMICA BASE CON BOMBA DE CALOR - ESTADO DEL ARTE DE LA TECNOLOGÍA Y DISEÑO BASE DE LA INSTALACIÓN REQUERIDA.

La energía geotérmica es la energía almacenada en forma de calor por debajo de la superficie sólida de la Tierra, esta energía, a pesar de venir siendo utilizada con algunos fines térmicos desde hace siglos, termas romanas, baños turcos, curas balnearias, etc., es una gran desconocida, pero no por ello 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.

En el estado actual de la tecnología, se puede decir que la geotermia tiene dos grandes grupos de aplicaciones o fines: térmicos y eléctricos. La energía geotérmica con fines térmicos se clasifica en función de la cantidad de energía térmica que un fluido puede intercambiar con su entorno.

La energía geotérmica de muy baja temperatura basa su principio de funcionamiento en la inercia térmica de la superficie terrestre, con lo cual durante los periodo invernales dicha superficie permanece con una temperatura mayor que la temperatura ambiente y en los periodos cálidos presenta temperaturas inferiores a las temperaturas ambientes. De esta forma, según las necesidades de climatización, se puede hacer fluir calor desde y hacia la superficie terrestre con el objetivo de modificar las condiciones de confort térmico de las zonas climatizadas.

Los conceptos de la inercia térmica del subsuelo terrestre, el recurso geotérmico, el marco actual y el principio de funcionamiento de la bomba geotérmica se describen en los siguientes apartados.

5.1 Inercia térmica del subsuelo terrestre

Se define como el incremento de temperatura registrado al profundizar desde la capa más externa de la Tierra -la corteza- hacia las partes interiores de la misma (ver Ilustración 5-1). En función de la latitud del lugar se comprueba una gran inercia térmica del subsuelo terrestre, pues éste a unos cinco metros de profundidad presenta una temperatura constante de entre 8 y 12 °C.

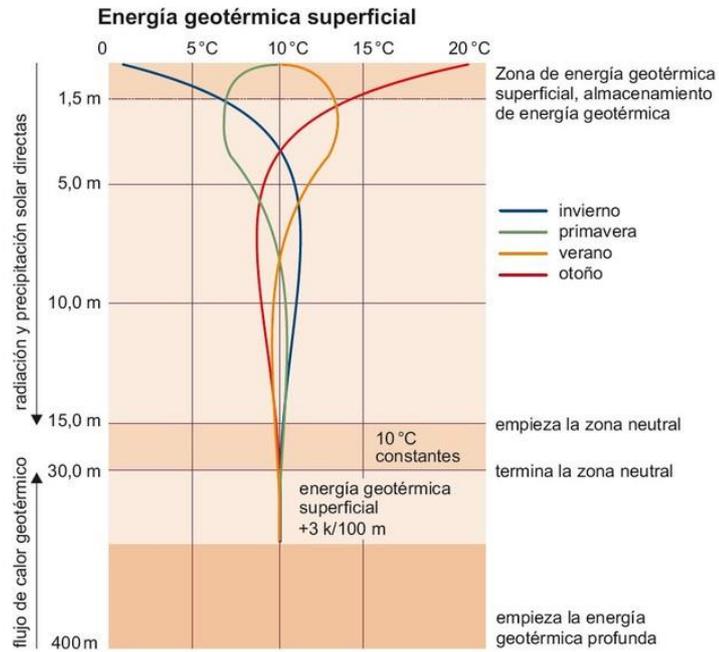


Ilustración 5-1 Energía geotérmica superficial - Fuente Web Search.

5.2 Recurso geotérmico

Se denomina recurso geotérmico a la fracción de la energía geotérmica que puede ser aprovechada de forma técnica y económicamente viable. Se clasifican según su nivel térmico o entalpía (alta, media, baja y muy baja, ver Ilustración 5-2), factor que condiciona claramente su aprovechamiento, aunque no hay un consenso unánime para definir los valores de temperatura establecidos como límite para su diferenciación.

1. *Recursos geotérmicos de alta temperatura (> 150°C)*: una temperatura superior a 150°C permite transformar directamente el vapor de agua en energía eléctrica.
2. *Recursos geotérmicos de media temperatura (entre 90°C y 150°C)*: permite producir energía eléctrica utilizando un fluido de intercambio, que es el que alimenta a las centrales.
3. *Recursos geotérmicos de baja temperatura (entre 30°C y 90°C)*: su contenido en calor es insuficiente como para energía eléctrica, pero es adecuada para calefacción de edificios y en determinados procesos industriales y agrícolas.
4. *Recursos geotérmicos de muy baja entalpía ($T < 30^\circ\text{C}$)*: corresponden a la energía térmica almacenada en el subsuelo poco profundo (normalmente a menos de 200 m, incluyendo las captaciones de calor asociadas a elementos constructivos de la edificación). Su aplicación son los usos directos del calor: aporte energético a sistemas de ventilación, calefacción y refrigeración de edificios y/o procesos, con o sin utilización de una bomba de calor (ver Ilustración 5-3).

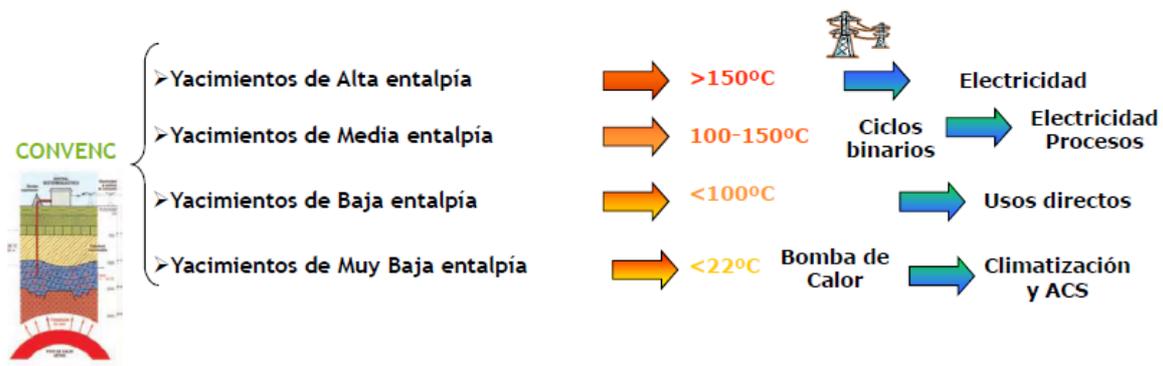


Ilustración 5-2 Clasificación del recurso geotérmico - fuente apuntes EOI 2016

Para el caso que nos ocupa, geotermia de muy baja entalpia, la superficie del suelo intercambia calor con la atmosfera y sufre las variaciones diarias de la temperatura hasta una profundidad de 0.5 metros (m). A pocos metros de profundidad, la temperatura permanece estable entre los 8°C y 12°C, si se la compara con la temperatura ambiente en superficie. Ello es debido al calor recibido del Sol, que calienta la corteza terrestre especialmente en verano, y a la gran inercia térmica de suelos y rocas.

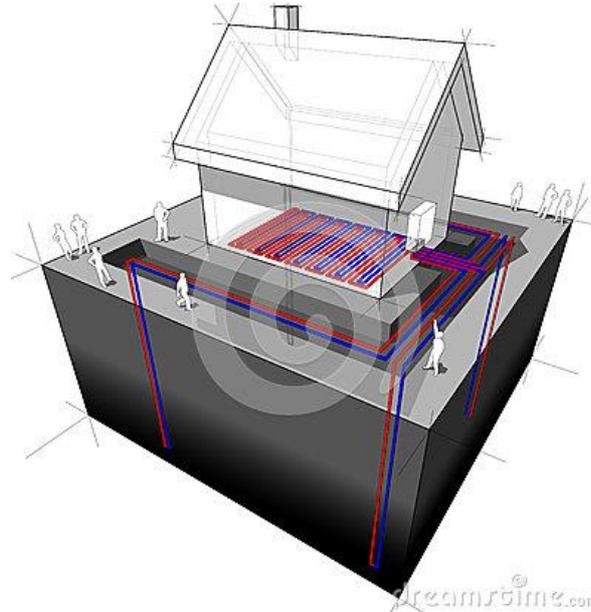


Ilustración 5-3 Geotermia de muy baja entalpia

Las variaciones estacionales de la temperatura son perceptibles en el terreno hasta una profundidad de alrededor de 10 m. A partir de 10 m de profundidad y poca circulación de agua subterránea, el subsuelo es capaz de almacenar el calor que recibe y mantenerlo incluso estacionalmente, de forma que el terreno permanece a una temperatura constante durante todo el año.

A una profundidad de 15 m se considera que el terreno está a temperatura constante todo el año, con un valor ligeramente superior a la temperatura media anual de la superficie.

5.3 La Geotermia en el marco actual

La potencia mundial instalada de origen geotérmico para producción de electricidad ha experimentado un incremento evolutivo a lo largo de estos años. Durante el periodo 2005-2010, la potencia ha seguido un incremento lineal anual del orden de unos 350 MWe, hasta superar los 12,635 GW en el año 2015, y pudiendo llegar a alcanzar los 21.443 GWe (Ruggero Bertani Congreso Mundial energía geotérmica 2015, Australia) a finales del año 2020, si se ponen en marcha los proyectos geotérmicos que actualmente están en desarrollo. El sector es optimista y en cuanto al crecimiento esperado a largo plazo estiman una potencia instalada acumulada de 65,7 GW en el año 2030 a nivel mundial (Plataforma Tecnológica Española de Geotermia, GEOPLAT)

Estados Unidos es el país líder en producción de electricidad a partir de energía geotérmica, con una potencia total instalada de 3.450 MWe en el año 2015, seguidos de Filipinas, Indonesia, México e Italia. Destacar que los últimos años, el país más activo ha sido Islandia que ha doblado su potencia instalada en los últimos años superando en el 2015 los 665 MWe.

La utilización directa (ver Ilustración 5-5) como fuente de calor de la energía geotérmica constituye la forma más antigua, versátil y también la más común de aprovechamiento de esta forma renovable de energía. La contribución de la geotermia de baja temperatura es más difícil de cuantificar por la gran diversidad de aplicaciones y por ser de menor entidad.

El uso del calor geotérmico en aplicaciones distintas de la generación de electricidad se ha realizado, tradicionalmente, a pequeña escala, pero los continuos avances tecnológicos han permitido su aprovechamiento en proyectos urbanos e industriales de gran envergadura.

Los datos disponibles indican que, a finales del año 2014, la potencia instalada a nivel mundial alcanzó los 70,329 GWt (WGC 2015, ver Ilustración 5-4) y se prevé que para el año 2030 la cifra aumente hasta los 408 GW (IEA-GEA).

Los cinco países que cuentan con la mayor capacidad instalada son Estados Unidos, China, Suecia, Noruega y Alemania que, en conjunto, representan más del 60% de la capacidad mundial. Las bombas de calor geotérmicas representan más del 70% de los Megavatios térmicos instalados. Los países líderes en unidades instaladas son Estados Unidos, China, Suecia, Noruega y Alemania.

En 2012 la potencia instalada a nivel mundial alcanzó los 62 GW térmicos y se prevé que para 2030 la cifra aumente hasta los 408 GW. La evolución esperada del mercado mundial se representa a continuación.

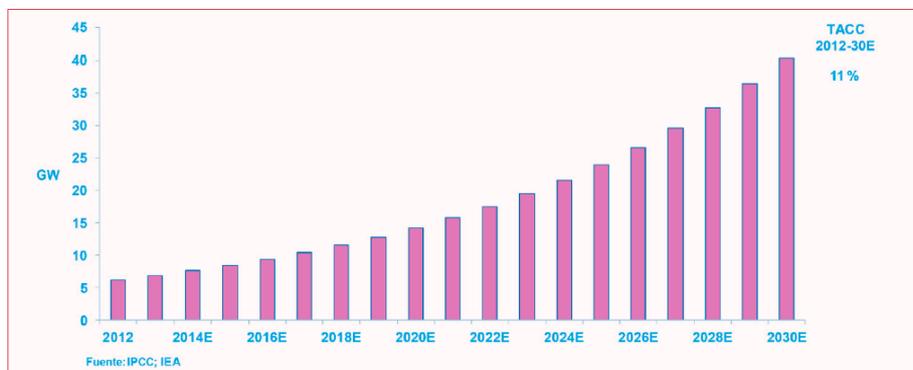


Figura 15. Evolución anual esperada del mercado de la energía geotérmica para generación térmica en 2030.

Ilustración 5-4 Potencia mundial instalada - Fuente WGC 2015

Los principales usos por orden de relevancia son baños termales y piscinas, seguido de calefacción de distrito y calefacción para invernaderos. Con respecto a la producción de calor, las estimaciones y previsiones futuras de la geotermia de baja y media temperatura son mucho más complicadas de realizar, sobre todo en casos como baños termales, piscinas e invernaderos, donde la energía utilizada para estas aplicaciones no es sistemáticamente contabilizada

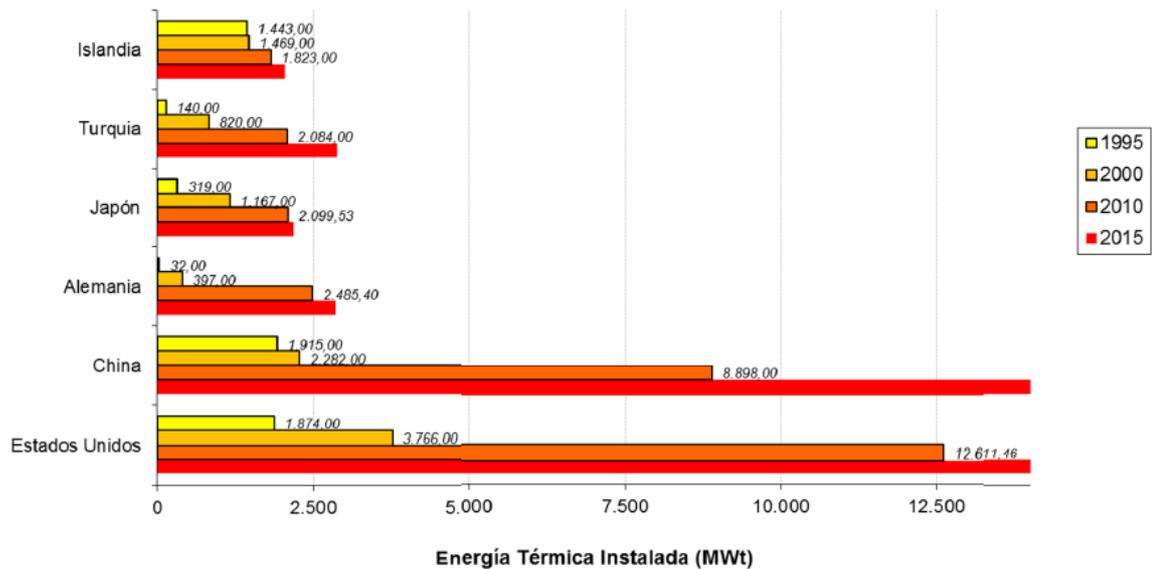


Ilustración 5-5 Escenario mundial de energía geotérmica de uso directo - fuente WGC 2015

Las previsiones para la geotermia de muy baja entalpía, mediante la utilización de la bomba de calor, son mucho más favorables y se espera un importante despegue en los próximos años, pues existe una gran diversidad de bombas de calor geotérmicas y se está apostando por este tipo de aplicación en el mundo. En lo que respecta a Europa, Suecia es el país con mayor capacidad instalada de bombas de calor geotérmicas, seguido de Alemania y Francia.

5.4 La Bomba de calor

Una bomba de calor es una máquina térmica, sujeta por tanto a las leyes de la termodinámica, que transfiere el calor desde un foco frío a otro caliente con una gran eficiencia. La ventaja que poseen las bombas de calor frente a otros sistemas reside en su capacidad para aprovechar la energía existente en el ambiente (foco frío), tanto en el aire como en el agua o en la tierra, para acondicionar las dependencias interiores (foco caliente) con una aportación relativamente pequeña de trabajo en forma de energía generalmente eléctrica.

Para ello, la bomba de calor utiliza un gas refrigerante en un ciclo termodinámico cerrado que, gracias a la existencia de dos focos a diferente temperatura, transporta el calor del medio ambiente a un habitáculo a acondicionar, servicio o aplicación industrial, con la particularidad de invertir el flujo natural de calor, de modo que fluya desde una temperatura más baja a otra más alta.

El principio de funcionamiento, como indica la Ilustración 5-6, puede sintetizarse en cuatro etapas diferenciadas:

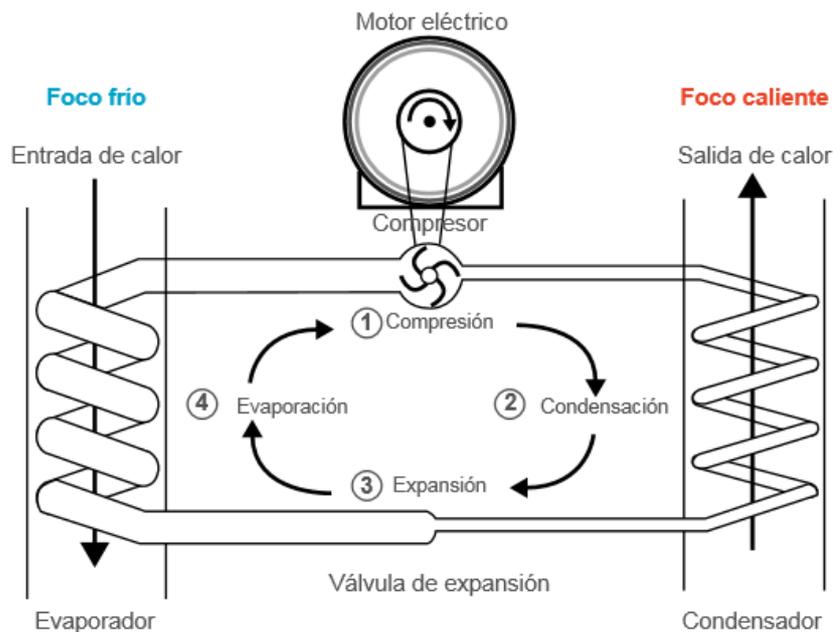


Ilustración 5-6 Principio de funcionamiento de la BCG - Fuente apuntes EOI 2016

Compresión: en el primer paso se comprime un fluido refrigerante. En ese proceso, la energía eléctrica consumida por el compresor se transforma en calor transmitido al refrigerante al elevar el mismo tanto su presión como su temperatura, aumentando por tanto su entalpía (cantidad de energía que un sistema puede intercambiar con su entorno).

Condensación: este fluido caliente se hace pasar por el condensador. En este intercambiador de calor, el fluido cede su calor al llamado foco caliente y al enfriarse se produce la condensación del refrigerante, pasando de estado gaseoso a estado líquido (proceso exotérmico).

Expansión: a continuación se hace pasar el fluido, todavía a presión, por una válvula de expansión, que consiste en un dispositivo que genera una gran pérdida de carga por lo que se produce una reducción de presión isoentálpica del fluido desde la presión de condensación hasta la presión de entrada en el evaporador, reduciéndose por lo tanto la temperatura del fluido.

Evaporación: finalmente, el fluido pasa por otro intercambiador, situado en la fuente fría, y llamado evaporador en el que se produce un cambio de fase endotérmico, donde el refrigerante se evapora absorbiendo calor de nuevo, para volver a reiniciar el ciclo en el compresor.

La bomba de calor (ver Ilustración 5-7) puede utilizar energía almacenada en forma de calor bajo la superficie de tierra sólida, energía geotérmica; en el aire ambiente, energía aerotérmica; o en las aguas superficiales, energía hidrotérmica.

En función del tipo de medio con el que la bomba de calor intercambia calor con el exterior (aire, agua o tierra); así como del medio al que se transfiere el calor de la máquina térmica (aire o agua), se pueden clasificar las bombas de calor de la siguiente manera:

- Bomba de calor aire-aire
- Bomba de calor aire-agua
- Bomba de calor agua-aire
- Bomba de calor agua-agua
- Bomba de calor tierra-aire
- Bomba de calor tierra-agua

Para el caso que nos ocupa, tomaremos el calor exterior del terreno bajo el edificio, por lo que tendremos una bomba de calor tierra-agua, con aprovechamiento de la energía geotérmica (bomba de calor geotérmica (BCG)).

Los usos dados a las bombas de calor dependen en buena medida del sector de utilización. Así, para las viviendas y los sectores de servicios, las aplicaciones más extendidas son la climatización de habitáculos, es decir, su calefacción y refrigeración, la generación de ACS y la climatización de piscinas. Por lo que respecta al sector industrial, además de las aplicaciones en climatización de locales, existe potencial de utilización en procesos de secado y destilación, así como para el calentamiento de agua.

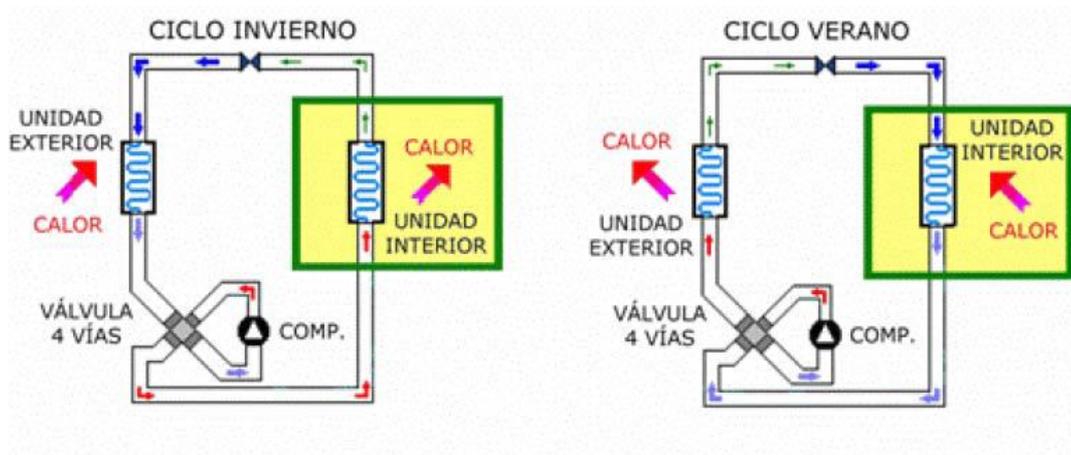


Ilustración 5-7 Esquema bomba de calor reversible - fuente web search

6 DIMENSIONAMIENTO DE LAS INSTALACIONES.

En esta sección se describe como se ha dimensionado cada uno de los sistemas previamente descritos en la sección 3.5.

6.1 Dimensionamiento sistema convencional.

En la presente sección se dimensionarán tanto en tamaño como en costos las instalaciones necesarias para abastecer la potencia térmica que se demande en cada ciudad, suplida vía la tecnología convencional definida en el punto 3.5.1.1.

6.1.1 Calefacción + ACS

Para el dimensionamiento de la caldera alimentada con Gas natural se tomará como dato de partida la demanda de potencia pico calculada en la Tabla 4-3, la cual se definió tomando como referencia el día más frío de año para cada ciudad en comparación con las condiciones de temperatura y humedad definidas de confort en la Tabla 4-1.

Del catálogo de Marca Buderus del Grupo Bosh de calderas Medianas y Grandes del 2015, se selecciona una caldera de baja temperatura con rendimiento del 93%, que tenga un buen aislamiento térmico y que cumpla las normativas europeas EN303. En el Anexo F se detalla la caldera seleccionada y sus principales características.

En la Tabla 6-1 se adjunta la marca y modelo seleccionada para cada nivel de potencia, el costo del equipo y el costo de la instalación llave en mano, así como también los costos operación y mantenimiento (O&M) y sus consumos y generación de CO₂.

Tabla 6-1 Selección de Caldera para Calefacción y ACS en sistema convencional

Calefacción + ACS	Q [kW]	Marca y Modelo	Precio (Eu)	Costo Instlación	Costo EPC (EU)	O&M	Consumo Gas (kg/s)		Contenido CO2
						(Eu/año)	60%	100%	
Sevilla	813	Buderus - SK755-820KW	11,304	50%	16,956	1,696	0,2102	0,3503	10%
Bilbao	936	Buderus - SK755-1040KW	11,716	50%	17,574	1,757	0,2671	0,4451	10%
Madrid	1,239	Buderus - SK755-1400KW	19,345	50%	29,018	2,902	0,3600	0,5999	10%
Sto Domingo	-								

6.1.2 Refrigeración.

Para el dimensionamiento de los sistemas de chillers de agua helada descritos en la sección 3.5.1.1 se tomará como dato de partida la potencia pico calculada en la cual se definió tomando como referencia el día más caluroso de año para cada ciudad en comparación con las condiciones de temperatura y humedad definidas de confort en la Tabla 4-1.

En la siguiente tabla se adjunta la dimensiones y consumos seleccionados para cada nivel de potencia (pasadas a toneladas frigoríficas), el costo del equipo y el costo de la instalación llave en mano, así como también los costos O&M y sus consumos eléctricos.

Tabla 6-2 Selección de conjuntos de chillers para refrigeración en sistema convencional.

Refrigeración	ENERGIA (kWht/año)	Q [kW]	Q [Tonelada]	Equipos Seleccionados		Costo EPC (USD)	O&M 3% (Eu/año)	Consumo (kWh/mes) al 50% de carga	Meses del año al 50% de carga (mes)	Consumo Anual (kWhe/año)
				Cantidad	Tamaño					
Sevilla	320,970	1,451	413	2	200+240 Tn	357,285	10,719	219,000	5.0	1,095,000
Bilbao	69,603	1,060	301	2	200+120 Tn	273,409	8,202	169,000	2.0	338,000
Madrid	259,321	940	267	2	200+90 Tn	250,576	7,517	152,750	4.5	687,375
Santo Domingo	667,394	2,265	644	3	2x200+240 Tn	525,361	15,761	323,000	9.0	2,907,000

Las definiciones que justifican los costos y consumos de la tabla anterior se desarrollan en el Anexo G.

6.2 SISTEMA GEOTÉRMICO

La captación de calor del terreno, o la evacuación al mismo del calor de un edificio, la realiza un medio de transmisión de calor que circula por los intercambiadores subterráneos. Atendiendo a la naturaleza de los intercambiadores se pueden clasificar en sistemas abiertos y sistemas cerrados.

Para nuestro diseño utilizaremos un sistema cerrado, para dimensionar el intercambiador subterráneo se deben de tener en cuenta factores como la tipología del subsuelo, el tipo de bomba y fluido circulante y también se debe evaluar la configuración del sistema y el tipo de tubos a utilizar. En las siguientes secciones se describen estos factores.

6.2.1 Descripción del terreno

Para todas las zonas a estudiar, se ha realizado una búsqueda bibliográfica en la web del instituto geológico y minero de España (IGME), de la cual se han obtenido los mapas geológicos 1/50,000 (ver Anexo H) para cada localidad y las columnas lito estratigráficas (ver Anexo I) tipo de cada zona. Revisada la documentación, se han considerado las siguientes unidades litológicas mostradas en la Tabla 6-2.

Tabla 6-2 Formaciones litológicas

Localidad	Descripción litológica
Bilbao	<u>Areniscas</u> arcillosas con abundantes impregnaciones ferruginosas y cemento silíceo.
Madrid	Niveles Arcosicos (<u>Areniscas</u>) pardos parcialmente enrojecidos de grano grueso y con alternancias de arcillas arenosas.
Sevilla	<u>Areniscas</u> calcáreas rojizas cementadas por óxidos de hierro.
Santo Domingo	Formaciones arrecifales (Haitises) de la llanura costera Caribeña (<u>Calizas</u>)

6.2.2 Diseño del intercambiador enterrado

Para el diseño del intercambiador enterrado se han tenido en cuenta múltiples factores, tales como la localización del hospital, el clima (temperatura y humedad), radiación, la demanda energética, tipología del terreno y sus características térmicas.

Una vez conocidos todos estos factores, se ha procedido al diseño del intercambiador enterrado usando el método International Ground Heat Source Heat Pump Association (IGSHPA).

El método IGSHPA para el diseño de intercambiadores enterrados está basado en la teoría de la fuente de calor en forma de una línea infinita (Kelvin Line Source Theory) desarrollado por Ingersoll y Plass. Según esta teoría un intercambiador de calor que cede calor al suelo se comporta como una fuente de calor con un espesor pequeño y una longitud infinita, y por tanto sólo cede calor en el sentido radial.

Es un método de cálculo estático que asume que el sistema funciona durante un tiempo determinado a una carga constante y con el suelo a la temperatura más desfavorable, cuando la temperatura es más baja en invierno y cuando es más elevada en verano, y con una temperatura de agua fija. Durante los restantes meses, la temperatura del aire será más moderada, y por lo tanto la carga calorífica o frigorífica será menor. Además el suelo no estará tan frío (en invierno) o tan caliente (en verano), lo que hará que la temperatura del agua sea más moderada y el sistema funcionará con un mayor rendimiento.

6.2.2.1 Elección de la bomba de calor

Una vez determinadas las cargas pico necesarias y aplicando la ecuación del flujo de calor latente para la refrigeración en las cuatro localidades seleccionadas, obtenemos la potencia de calefacción en Kw (ver Tabla 4-3 y Tabla 4-4).

Conocida la potencia, se procede a seleccionar el tipo de BCG, para lo cual se ha realizado un cálculo iterativo con diferentes alternativas con diferentes potencias de forma que se escoja para cada alternativa un sistema de bombas de calor que ofrezca un equilibrio entre inversión y su aporte energético de modo que cubra la mayor parte de la demanda posible.

Algunos de los parámetros que determinan el diseño del sistema de intercambio de calor vendrán determinados por las características de la BCG ya que determina el rendimiento del sistema en función de las curvas de potencia, temperatura de la bomba, el caudal circulante y la energía intercambiada con el suelo. La selección de la bomba se realiza de acuerdo al estudio previo de las cargas térmicas necesarias.

Para el caso que nos ocupa se ha realizado un análisis para BCG de grande potencias, llamadas SWP Profesional del fabricante ALPHA INNOTECH (ver Anexo J). Las SWP se clasifican a su vez en dos grupos:

1. las SWP 1100H hasta 1600H, con potencias nominales entre 128kW y 180kW.
2. las SWP 700H hasta 1000H, con potencias nominales entre 77Kw y 110kW.

El resultado de las diferentes BCG escogidas para cada localización, puede observarse en la Tabla 6-3.

Tabla 6-3 SWP Profesional seleccionadas

	SWP1100 (128kW)	SWP1250 (143 kW)	SWP1600 (180 kW)	SWP700H (77 kW)	SWP850H (101 kW)	SWP1000H (110 kW)	POTENCIA INSTALADA (kW)
Sevilla	1	0	3	0	0	0	668
Bilbao	0	3	0	0	1	0	530
Madrid	0	1	4	0	0	0	863
Santo Domingo	0	1	8	0	0	0	1583

6.2.2.2 Elección del fluido circulante

El fluido que se utiliza como fluido de intercambio en el sistema de intercambio es agua o agua con anticongelante, en el caso de que se prevea en el diseño que existe riesgo de congelación en el sistema de intercambio. Otros factores que influyen en la elección del fluido de intercambio son sus características térmicas, sus requerimientos de presión, su corrosividad, toxicidad y inflamabilidad así como su coste. En la tabla Tabla 6-4 se muestran las características de los fluidos más empleados.

Tabla 6-4 Características de los fluidos

	Agua	Etilenglicol	Propilenglicol
Densidad a 20 °C (g/cm ³)	1	0,9259	0,8630
Punto congelación °C (30% volumen)	0	-13	-12
Punto ebullición °C	100	197	187
Calor Específico a 15 °C (kJ/Kg.K)	4,187	2,185	2,50371
Viscosidad a 0 °C (Pa.s) ·10 ⁻³	1,79	57,4	243
Viscosidad a 20 °C (Pa.s) ·10 ⁻³	1,01	20,9	60,5
Viscosidad a 40 °C (Pa.s) ·10 ⁻³	0,655	9,5	18,0
Conductividad térmica a 20 °C (kW/m.K) ·10 ⁻³	0,60	0,26	0,20

6.2.2.3 Elección de la configuración

El sistema de intercambio es donde el fluido caloportador en su interior cede la energía del subsuelo a la bomba y viceversa. Existen sistemas abiertos y cerrados, en los sistemas abiertos el fluido caloportador (agua subterránea) es llevado a la BCG y posteriormente devuelto al suelo y en los sistemas cerrados el fluido circula por el intercambiador en circuito cerrado el y se lleva a la BCG.

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.

Dentro de los sistemas cerrados existen varias configuraciones según el tipo de instalación, horizontal y vertical. En los sistemas de intercambio horizontal (ver **Ilustración 6-1**) el sistema de captación está enterrada en sentido horizontal, a una profundidad de unos dos metros aproximadamente. La superficie del terreno necesaria es aproximadamente de 1,5 m² de circuito por m² de superficie que se debe climatizar, la ventaja es que tiene un coste más bajo que el del sistema vertical, y los inconvenientes son la elevada necesidad de superficie que puede llegar a requerir en función de las necesidades del sistema.

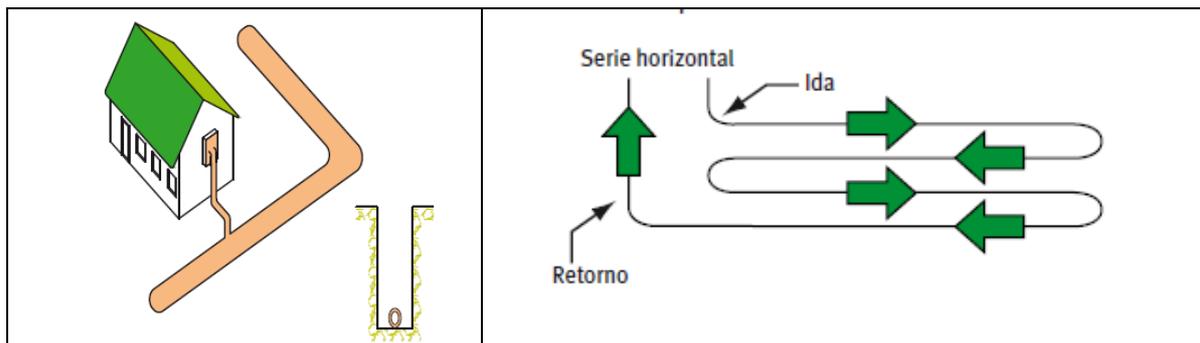


Ilustración 6-1 Sistema de intercambio horizontal

Los intercambiadores verticales (ver Ilustración 6-2), consisten en perforaciones realizadas en el subsuelo, en las que se introducen colectores de calor, un doble tubo en el caso más sencillo, por el que circula el fluido. Estos dispositivos verticales de captación de calor se denominan sondas geotérmicas. Las profundidades de los sondeos se sitúan entre 60 y 200 metros. La longitud y número de sondeos preciso para climatización depende de la transmisión de calor en el medio o conductividad. Este sistema es el más adecuado cuando disponemos de espacio limitado. Sus ventajas son, sus menores requerimientos en cuanto a superficie y un mayor rendimiento que el sistema horizontal mientras que los inconvenientes son que tiene un coste más elevado que el del sistema horizontal, y en algunos terrenos la realización de las perforaciones puede ser complicada.

En nuestro caso de estudio debido a las elevadas necesidades energéticas y a las limitaciones de espacio se considera la instalación de un sistema de intercambio vertical. En función del tipo de sonda instalada el sistema puede ser de simple U, doble U o coaxial. La configuración que se ha seleccionado consistirá en un sistema vertical doble (U) con flujo del fluido en paralelo.

El distanciamiento entre los pozos será al menos de 6 metros para evitar interferencias térmicas entre las perforaciones. La Ilustración 6-2, muestra un esquema de la configuración seleccionada junto con la trayectoria del fluido.

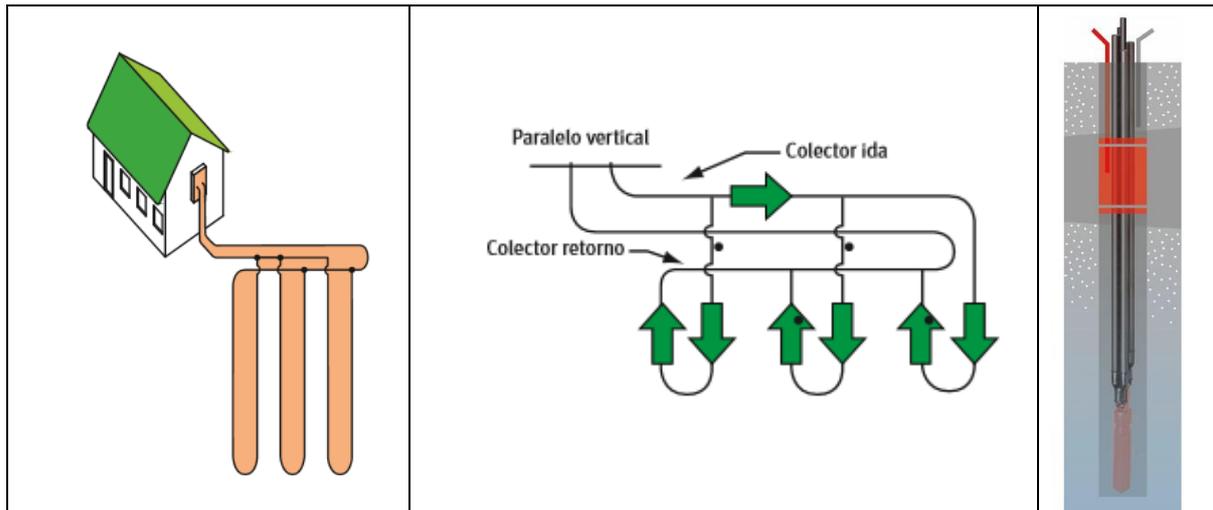


Ilustración 6-2 Sistema de intercambio vertical

6.2.2.4 Elección de los tubos

El polietileno (PE) y polibutileno (PB) son los materiales más comunes en los intercambiadores de calor enterrados. Ambos son flexibles a la vez que resistentes y pueden unirse mediante fusión por calor para formar empalmes más fuertes que el tubo mismo.

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

Tanto el polietileno (PE) como el polibutileno (PB) se comportan adecuadamente a las temperaturas de trabajo del intercambiador de calor, fijadas por la bomba de calor, y que dependen del punto de trabajo de la bomba de calor seleccionada. Es fundamental tener en cuenta que cuando la bomba de calor está en modo calefacción (produciendo en el condensador agua caliente para suministrar al edificio entre 45-55 °C), en el evaporador se produce agua fría a unos 5-15 °C, que es la que circula por las tuberías del intercambiador de calor enterrado. En refrigeración, cuando la bomba de calor produce frío en el evaporador, a una temperatura comprendida entre 7-12 °C, por las tuberías del intercambiador enterrado circulará el agua de intercambio de calor con el condensador a unos 25-35 °C.

Las tuberías del circuito de intercambio geotérmico escogidas son PE100 de 1 1/4” de diámetro nominal y se muestran en la Tabla 6-5 Tuberías de PE.

Tabla 6-5 Tuberías de PE100

Tipo	Diam. Nom (pul)		DN = D _o (mm)	D _i interior (mm)	K _p (W / m K)
PE100	3/4”	PE1003/4”	20.0	16.0	0.4300
PE100	1”	PE1001”	25.0	21.0	0.4300
PE100	1 1/4”	PE1001 1/4”	32.0	28.0	0.4300
PE100	1 1/2”	PE1001 1/2”	40.0	35.4	0.4300
PE100	2”	PE1002”	50.0	45.4	0.4300
PE100	2 1/2”	PE1002 1/2”	63.0	58.2	0.4300

Los tubos de PE estarán estandarizados según las normativas DIN8074 (Dimensionado) y DIN8075 (requisitos generales de calidad y prueba) Estas normativas conforman una duración de vida de más de 100 años en unas condiciones concretas de utilización. El material de PE cumple los siguientes requisitos para su aplicación como sondas geotérmicas:

- Elevada tenacidad y capacidad de alargamiento de ruptura
- Buenas propiedades mecánicas
- Buena resistencia a las sustancias químicas
- Buenas propiedades mecánicas y excelente viscosidad incluso a baja temperatura
- Larga vida
- Baja resistencia hidráulica
- Buena relación calidad / precio

6.2.2.5 Dimensionamiento del intercambiador enterrado

Una vez seleccionados los distintos elementos necesarios para llevar a cabo el dimensionamiento del intercambiador enterrado, se proceden a calcular las longitudes necesarias para cubrir las demandas energéticas de cada localización (ver Anexo K- Cálculos dimensionamiento). Las siguientes formulas son las que se han utilizado para el cálculo de las longitudes necesarias, tanto para calefacción como para refrigeración, el detalle de las mismas se puede ver en el Anexo K. Los resultados de los aportes energéticos para cada localidad se muestran en el Anexo L.

$$L_{CALEFACCIÓN} = \frac{Q_{calefacción} \cdot \frac{COP_{calefacción} - 1}{COP_{calefacción}} (R_p + R_s \cdot F_{calefacción})}{T_L - T_{MIN}} \quad (12)$$

$$L_{REFRIGERACIÓN} = \frac{Q_{refrigeración} \cdot \frac{COP_{refrigeración} + 1}{COP_{refrigeración}} (R_p + R_s \cdot F_{refrigeración})}{T_{MAX} - T_H} \quad (13)$$

Para cada localización se obtiene un valor de longitud en metros (m) tanto para calefacción como para refrigeración, a efectos del dimensionamiento, cogemos la mayor de ambas, ya que de esta manera cubriremos la totalidad. En la Tabla 6-6 se muestran longitudes de calefacción y refrigeración obtenidas para cada localización de las cuales se escogerá la longitud más desfavorable, la tabla también muestra las características del intercambiador en cuanto a su longitud, número de pozos y área ocupada.

Tabla 6-6 Dimensionamiento del intercambiador

	CALEFACCION (m)	REFRIGERACION (m)	Longitud del intercambiador(m)	Nº Pozos 150m	Área ocupada (m²)
Sevilla	3.968,25	4.002,79	4.002,79	27	972
Bilbao	6.572,82	2.279,32	6.572,82	44	1584
Madrid	10.479,97	2.185,57	10.479,97	70	2520
Santo Domingo	-	15.091,64	15.091,64	101	3636

Los datos obtenidos en la Tabla 6-6 muestran longitudes del intercambiador muy variables de entre 4000 y 15000 metros de longitud, los pozos para todas las instalaciones tendrán una profundidad máxima de 150 m con un espaciamiento de 6 m, por lo que se obtienen unas áreas de entre 900 y 3600 m².

6.2.3 Ejecución de la instalación

Obtenida la longitud para cada localización, se procede a la ejecución del intercambiador enterrado, a continuación se enumeran las fases a seguir para un proyecto de estas características:

1. solicitud de accesos y permisos de trabajo;
2. preparación de un plan de seguridad y salud;
3. reunión de arranque de proyecto con todos los subcontratistas involucrados en el mismo;
4. perforación de los sondeos estipulados;
5. relleno de la zanja;
6. pruebas de presión y purgado;
7. montaje de colectores; y
8. sala de maquinas

La Ilustración 6-3 muestra las secciones de intercambiador vertical.

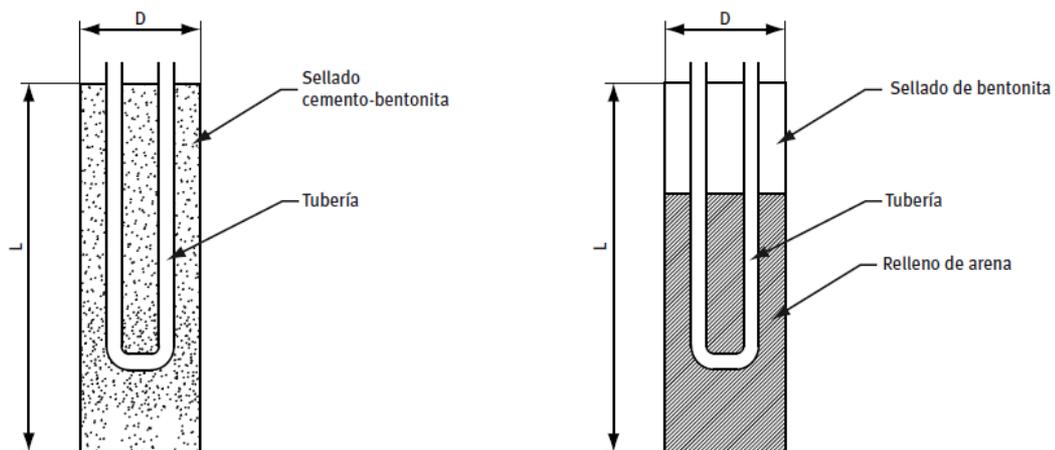


Ilustración 6-3 Secciones de intercambiador vertical

6.2.4 Puesta en marcha de los equipos

Antes de poner en funcionamiento el sistema, se deben realizar los siguientes procesos y comprobaciones para asegurar el buen funcionamiento de la instalación:

- Limpieza del circuito de tuberías
- Purga del aire de la instalación
- Verificación de las condiciones de diseño: presión y caudal
- Carga del intercambiador de calor con anticongelante (cuando sea necesario)
- Presurización de la instalación
- Puesta en marcha de la bomba de calor y comprobación de parámetros

6.2.5 Mantenimiento de la instalación

Las instalaciones de BCG precisan de menor mantenimiento que las instalaciones convencionales, ya que la parte enterrada no necesita ningún tipo de mantenimiento y la bomba de calor agua - tierra necesita de menor mantenimiento que una bomba de calor aire-agua.

El mantenimiento de la instalación será de tipo preventivo de acuerdo con lo dispuesto en el Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de las instalaciones térmicas en los edificios, en lo que se refiere a uso y mantenimiento y sin que ese mantenimiento pueda ser sustituido por la garantía. El mantenimiento de la instalación objeto de este contrato está de acuerdo a lo establecido en la Instrucción Técnica (IT) 3. Esta instrucción técnica contiene las exigencias que deben cumplir las instalaciones térmicas con el fin de asegurar su funcionamiento, a lo largo de su vida útil, se realice con la máxima eficiencia energética, garantizando la seguridad, la durabilidad y la protección del medio ambiente, así como las exigencias establecidas en la memoria técnica de la instalación final realizada.

El plan de mantenimiento propuesto para esta instalación se encuentra en el Anexo M.

6.3 SISTEMA GEOTERMIA + SOLAR FV+ APOYO CONVENCIONAL

6.3.1 Dimensionamiento

El objetivo de esta alternativa híbrida es conseguir un mayor uso de energía renovable del sistema mediante la generación de energía eléctrica procedente de generadores fotovoltaicos para cubrir el consumo eléctrico de la bomba geotérmica aportando la energía que la bomba de calor no llega a cubrir para calefacción y ACS mediante un aporte auxiliar convencional. En principio esta alternativa ofrecerá:

- Menores emisiones de CO₂
- Menor uso de energía primaria no renovable.
- Coste de inversión.

Se dispone de una superficie de 4000 m² en la azotea del hospital. De esta superficie no toda es utilizable, por lo que hemos decidido considerar un 90% de superficie utilizable ya que una parte estará ocupada por otros sistemas, como accesos, maquinaria de ascensores, etc.

Para dimensionar el sistema fotovoltaico hay que tener en cuenta dos factores fundamentalmente:

- Consumo energético de la bomba
- Superficie disponible

Basándonos en parámetros definidos en diferentes experiencias se puede predecir que la superficie necesaria para la instalación de 1 kW_p de potencia se encuentra entre 8 y 10 m²¹ lo que nos puede dar una idea aproximada de la capacidad que es posible instalar en la azotea del hospital, por lo que a priori habría superficie suficiente para cubrir la demanda energética de las BCG en la superficie de la azotea.

Lo primero será determinar el consumo eléctrico asociado al funcionamiento de las bombas de calor empleadas para satisfacer las necesidades de climatización y/ó agua caliente sanitaria de un edificio.

No obstante el cálculo se ha realizado como un cálculo global anual, de modo que se busque igualar el consumo de la bomba geotérmica a la producción fotovoltaica, es decir obtener una producción eléctrica suficiente para alimentar las bombas, si bien esta energía producida puede ser empleada en cualquier instalación del hospital. En aquellos casos en los que se produzca generación eléctrica mediante el sistema fotovoltaico y no sea necesario alimentar a las bombas de calor esta energía podrá ser aprovechada por cualquier otro sistema eléctrico del hospital, por lo que no se considera necesario la instalación de baterías ya que se asume que toda la energía eléctrica generada será consumida, bien por las bombas de calor o bien por las distintas instalaciones del hospital.

Los datos de partida para el cálculo serán datos relativamente sencillos de obtener, localidad (que determina la serie histórica de temperaturas), tipología del edificio (que determina el perfil normalizado del consumo de ACS y los horarios de apertura y cierre), carga punta energética, demanda térmica, pérdidas energéticas, consumo diario y temperatura de ACS y otras características dependientes de la bomba escogida (potencia, temperaturas de funcionamiento y rendimientos).

Para ello se ha partido de la metodología establecida en la norma Pr-EN 15316 pero fijando ciertos valores y asumiendo algunas simplificaciones que, en general, no afecten significativamente a la precisión del resultado.

¹ INEGA: Instituto Enerxético de Galicia

Básicamente se han establecido una serie de BINs de temperatura exterior para la climatización y sobre dichos intervalos se ha aplicado el método de diferencias de temperatura-hora. La demanda térmica se ha repartido linealmente entre los diferentes BINs de temperatura-hora de forma proporcional a sus valores teniendo en cuanto un periodo anual completo.

Para determinar el nivel de regulación de potencia al que funciona la bomba de calor en cada BIN se considera que la carga de calefacción del edificio es lineal con la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior, de tal forma que la carga punta se alcanza para las temperaturas exteriores más desfavorables (mínima en invierno y máxima en verano) y se hace 0 para temperaturas exteriores determinadas como máxima y mínima para el funcionamiento de la calefacción o refrigeración respectivamente.

Si la potencia disponible para la bomba de calor en un BIN determinado es inferior a la carga térmica estimada para el mismo BIN, se ha considerado que la bomba de calor aporta una energía proporcional a la relación entre la potencia disponible y la carga total demandada, siendo el resto aportado de forma auxiliar.

Para realizar el reparto de la demanda térmica de agua caliente sanitaria se emplea el perfil adimensional de consumo horario (que es función del tipo de edificio) se suman las demandas horarias a lo largo del año que se dan en cada intervalo BIN de temperatura exterior. Tal como propone la norma Pr EN 15316 la demanda de ACS no depende de la temperatura exterior pero la temperatura exterior afecta al COP de la bomba de calor.

Con el fin de simplificar el estudio se ha decidido escoger un mismo tipo de panel fotovoltaico HiS-M260RG (Hyundai Policristalinos de alta eficiencia, con una potencia individual de 260W_p, ver Anexo N). En la **Ilustración 6-4 Características panel FV** se muestran sus principales características.

Electrical Characteristics

| Multi-crystalline Type |

		HiS-M260RG		
		250	255	260
Nominal output (P _{mpp})	W	250	255	260
Voltage at P _{mpp} (V _{mpp})	V	30.9	31.0	31.1
Current at P _{mpp} (I _{mpp})	A	8.1	8.2	8.4
Open circuit voltage (V _{oc})	V	37.4	37.6	37.7
Short circuit current (I _{sc})	A	8.7	8.8	8.9
Output tolerance	%	+3/-0		
No. of cells & connections	pcs	60 in series		
Cell type	-	6" Multi-crystalline silicon (Hyundai cell, Made in Korea)		
Module efficiency	%	15.3	15.6	15.9
Temperature coefficient of P _{mpp}	%/K	-0.43	-0.43	-0.43
Temperature coefficient of V _{oc}	%/K	-0.32	-0.32	-0.32
Temperature coefficient of I _{sc}	%/K	0.048	0.048	0.048

※ All data at STC (Standard Test Conditions). Above data may be changed without prior notice.

Ilustración 6-4 Características panel FV

Para estimar el número de paneles solares que serán necesarios para generar la cantidad de energía necesaria en una año es necesario conocer además de la potencia pico de los paneles solares escogidos para el generador, las diferentes condiciones a las que trabajarán los generadores fotovoltaicos, concretamente las Horas solares pico (HSP) en cada localización.

La hora solar pico (HSP) es una unidad que mide la irradiación solar y se define como el tiempo en horas de una hipotética irradiancia solar constante de 1000 W/m². Una hora solar pico equivale a 3,6 MJ/m² o, lo que es lo mismo, 1 kWh/m². La Tabla 6-7 muestra las HSP anuales calculados para cada localización.

Tabla 6-7 HSP anuales para cada localización

	hsp/dia			
	Sevilla	Bilbao	Madrid	Sto Domingo
Ene.	2,64	2,09	2,49	3,71
Feb.	3,72	2,76	3,71	4,10
Mar.	4,56	3,77	4,42	4,47
Abr.	5,60	3,58	5,59	4,54
May.	6,10	4,18	5,86	4,30
Jun.	6,48	4,50	6,40	4,23
Jul.	6,78	4,61	7,29	4,22
Ago.	6,77	4,19	6,99	4,17
Sep.	5,82	4,37	5,63	4,07
Oct.	4,44	3,95	4,24	4,00
Nov.	3,37	2,55	2,98	3,71
Dic.	2,63	2,01	2,31	3,59

A continuación se calcula el número de paneles necesarios para cada localización, los mismo se muestran en la Tabla 6-8.

Tabla 6-8 Numero de paneles por localización

Nº de paneles			
Sevilla	Bilbao	Madrid	Sto Domingo
508	635	568	369

En la Tabla 6-9 se puede comprobar que para las diferentes necesidades energéticas en cada localización es precisa la instalación de un número determinado de paneles fotovoltaicos, ya que las necesidades energéticas son diferentes, pero es necesario tener en cuenta el factor del espacio disponible.

Tabla 6-9 Producción de los paneles por localización

	Sevilla	Bilbao	Madrid	Sto. Domingo
Nº Paneles	508	635	568	369
Potencia paneles (w)	260	260	260	260
HSP	1793,8	1296,0	1764,0	1493,6
Producción (kWh)	236.925,25	213.965,01	260.512,48	143.292,15
Necesidades (kWh)	236759,0	213843,0	260697,0	143200,0
% cubierto	100,07%	100,06%	99,93%	100,06%

Teniendo en cuenta la latitud de cada emplazamiento que determina la inclinación óptima de los paneles fotovoltaicos y el espaciado entre los mismos con el fin de evitar el efecto sombra en la Tabla 6-10 se muestra la superficie (m²) que ocuparían los paneles FV necesarios en cada emplazamiento

Tabla 6-10 Superficie de ocupación de los paneles en para cada localización

	Sevilla	Bilbao	Madrid	Sto Domingo
Superficie (m ²) que ocupan los paneles necesarios	2194,57	3285,13	2683,85	1108,17

No obstante aun habría superficie disponible en la azotea (4.000 m²), que se podría aprovechar para instalar una instalación FV de mayor tamaño con la que poder generar más energía con las que no solo cubrir la demanda energética del hospital sino otras demandas eléctricas como iluminación o cualquier otro tipo de instalaciones eléctricas.

Suponiendo aprovechado la totalidad de la superficie de la azotea se puede calcular (ver el número de paneles que es posible instalar y estimar la máxima producción energética en cada emplazamiento y el porcentaje de demanda energética de las BCG que obtendremos en cada caso.

Tabla 6-11 Producción de los paneles ocupando la totalidad de la superficie disponible

	Sevilla	Bilbao	Madrid	Sto. Domingo
nº Paneles	925	773	847	1331
Potencia paneles (w)	260	260	260	260
HSP	1793,8	1296,0	1764,0	1493,6
Producción (kwh)	431.409,17	260.464,50	388.475,48	516.861,37
Necesidades (kWh)	236.759,00	213.843,00	260.697,00	143.200,00
% Producción	182%	110%	164%	218%

Por lo que se puede comprobar que habría capacidad en la azotea en base a la superficie disponible para cubrir sobradamente la demanda energética eléctrica de la BCG y aportar además incluso energía al consumo general del hospital. Incluso en el caso de Santo Domingo, donde la producción podría doblar la demanda requerida por las BCG superior al doble de se podría verter energía a la red y mediante el sistema de balance neto recuperar parte de la inversión mediante la venta de esa energía sobrante

6.3.2 Mantenimiento de la instalación

Los paneles fotovoltaicos requieren muy escaso mantenimiento por su propia configuración, carente de partes móviles y con el circuito interior de las células y las soldaduras de conexión muy protegidas del ambiente exterior por capas de material protector.

Los trabajos que se deberán llevar a cabo para un buen mantenimiento serán:

- Limpieza periódica del panel
- Inspecciones visual de posibles degradaciones internas y de la estanqueidad del panel
- Control del estado de las conexiones eléctricas y del cableado
- Control de las caracterizadas eléctricas del panel de forma eventual

6.4 SISTEMA GEOTERMIA + SOLAR TÉRMICA + APOYO CONVENCIONAL

La energía solar térmica consiste en el aprovechamiento de la energía del Sol para producir calor que puede aprovecharse para cocinar alimentos o para la producción de agua caliente destinada al consumo de agua doméstico, ya sea agua caliente sanitaria, calefacción, o para producción de energía mecánica y, a partir de ella, de energía eléctrica.

En esta alternativa se plantea combinar el sistema geotérmico con un sistema solar de baja temperatura, que son aquellas instalaciones que proveen un calor útil a temperaturas menores a 65°C mediante la energía solar empleado para el calentamiento de agua para el suministro de ACS y que cuya principal aplicación es la producción de Agua Caliente Sanitaria (ACS) para el sector doméstico y de servicios.

6.4.1 Dimensionamiento

El planteamiento de este sistema se ha realizado desde dos puntos de vista:

- El primero consiste en aportar la totalidad del ACS mediante los colectores solares (y su apoyo auxiliar asociado) como un sistema solar térmico convencional independiente de la geotermia, de modo que la geotermia aporta la energía demandada para la climatización de las diferentes estancias.
- El segundo planteamiento consiste en un sistema en el que hay una mayor interrelación entre la geotermia y la solar térmica ya que el agua circulante por los colectores solares es previamente calentada hasta 45°C por el sistema geotérmico de forma que la temperatura de entrada a los mismos es mucho más elevada que en el primer caso en el que los colectores son alimentados con agua a la temperatura de agua fría de la red de abastecimiento. En este planteamiento será preciso analizar la influencia que tiene en el sistema geotérmico y en el sistema solar térmico el hecho de emplear en los colectores solares el agua a mayor temperatura.

Como se calculó anteriormente en la sección 4.4 se ha estimado una demanda de 55 litros de agua por cama y día a una temperatura de 60 °C, lo que hace un total de 6875 litros/día para cada hospital. Por lo tanto en el primero de los casos será preciso calentar el agua desde la temperatura de la red, diferente en cada localidad hasta la de uso, 60 °C a diferencia del caso en el que empleamos agua precalentada en el sistema geotérmico desde el cual el agua circulante por los colectores solares es precalentada a 45°C.

El hecho de introducir el agua en los colectores solares a mayor temperatura que en un sistema tradicional, en el que el agua presenta temperaturas de agua fría de red, disminuye notablemente las necesidades energéticas (ver Tabla 6-12) de esta instalación en particular. La energía necesaria hasta alcanzar los 45°C es aportada por el sistema geotérmico.

Tabla 6-12 Energía demandada

	Energía Demandada SISTEMA ACS SOLAR TÉRMICO CONVENCIONAL (kWh _t)	Energía Demandada SISTEMA ACS SOLAR TÉRMICO PRECALENTADO 45°C (kWh _t)
Sevilla	129.582	43.705
Bilbao	137.621	43.705
Madrid	135.394	43.705
Santo Domingo	95.887	43.705

La modificación de los requerimientos térmicos de la BCG al no precisar de obtener ACS a una temperatura de 60°C, supone un descenso de su consumo eléctrico (ver Tabla 6-13), si bien apenas tendrá influencia en el dimensionamiento de intercambio geotérmico, ya que este depende fundamentalmente de la potencia del sistema de climatización (ya que tiene mayor peso que el de ACS).

Tabla 6-13 Consumo eléctrico

Consumo eléctrico (KWh)		
	Sistema ACS Convencional	Sistema ACS precalentado 45°C
Sevilla	-	228.020,00
Bilbao	-	205.102,00
Madrid	-	278.978,00
Santo Domingo	-	134.460,00

Lo primero que se ha realizado es determinar la demanda energética de ACS en cada localización y a partir de ahí mediante el método F-Chart (ver Anexo P) dimensionar el tamaño de la instalación solar teniendo en cuenta los requerimientos del RITE.

En el caso de A.C.S. se debe tener en cuenta que el sistema solar se debe diseñar y calcular en función de la energía que aporta a lo largo del día y no en función de la potencia del generador (captadores solares), por tanto se debe prever una acumulación acorde con la demanda y el aporte, al no ser ésta simultánea con la generación. Para esta aplicación el área total de los captadores tendrá un valor tal que se cumpla la condición: $50 < V/A < 180$ donde A será el área total de los captadores, expresada en m², y V es el volumen del depósito de acumulación solar, expresado en litros, cuyo valor recomendado es aproximadamente la carga de consumo diaria $M: V = M$.

Hemos escogido un Volumen de acumulación solar de 6875 litros, tal y como habíamos estimado en apartados anteriores como demanda diaria del hospital.

Una vez determinado este volumen de acumulación se determina la superficie de absorción. Esta superficie y el modelo de panel escogido determinaran el número de los mismos que se debe emplear.

El colector térmico escogido ((ver Anexo Q).) en el estudio es un colector policristalino de alto rendimiento FERROLI modelo. ECOTOP VRF A 2.8, la Tabla 6-14 muestra las características del colector seleccionado.

Tabla 6-14 Características colector térmico

		VRFA 2.0	VRFA 2.3	VRFA 2.8	HRF 2.3
Sup. Total	m ²	1,97	2,32	2,78	2,32
Sup. Apertura	m²	1,89	2,23	2,69	2,23
Sup. Absorbedor	m ²	1,86	2,20	2,65	2,21
Altura	mm	1.700	2.000	2.400	1.160
Ancho	mm	1.160	1.160	1.160	2.000
Fondo	mm	80	80	80	80
Número de conexiones		4	4	4	4
Diámetro conexiones	"	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"
Peso en vacío	Kg	35	41	49	43,5
Contenido diluido	l	1,4	1,5	1,6	1,9
Caudal de trabajo recomendado	l/h	100-250	100-250	100-250	100-250
Presión máx. de trabajo	bar	10	10	10	10
Temperatura de estancamiento (Tª ambiente de 25 °C)	°C	175	175	175	177
Aislamiento en lana de roca de espesor	mm	40	40	40	40
Grado de absorción	%	95	95	95	95
Emisividad	%	5	5	5	5
Máximo número de colectores en paralelo		8	8	8	4
CÓDIGO		032116170	032116200	032116240	031200110

El rendimiento de este tipo de colector queda definido con los parámetros de rendimiento óptico y pérdidas térmicas indicados en la Tabla 6-15.

Tabla 6-15 Rendimiento colector térmico

Valores referentes a superficie de apertura	Ecotop VRFA 2.0	Ecotop VRFA 2.3	ECOTOP VRFA 2.8	Ecotop HRF 2.3
η_D	0,76	0,76	0,768	0,737
α_1	3,656 W/m ² K	3,656 W/m ² K	3,591 W/m ²	3,775 W/m ² K
α_2	0,016 W/m ² K	0,016 W/m ² K	0,016 W/m ²	0,018 W/m ² K

Para cubrir las diferentes demandas energéticas en cada localidad que varían dependiendo de la temperatura del agua fría (ver Tabla 6-17) de la red de abastecimiento se ha calculado un tamaño de instalación diferente para cada localidad que aporte al menos la contribución mínima necesaria según lo determinado en el CTE HE4: Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria, se muestra en la Tabla 6-16.

Tabla 6-16 Contribución solar mínima

	Zonificación Radiación Solar	Fracción solar mínima
Sevilla	V	70 %
Bilbao	IV	30 %
Madrid	I	70 %
Santo Domingo ²		70 %

Tabla 6-17 Temperatura del agua fría

Temperatura Agua fría (°C)				
Mes	Sevilla	Bilbao	Madrid	Sto Domingo
Ene	11	9	8	27
Feb	11	10	8	26
Mar	13	10	10	25
Abr	14	11	12	26
May	16	13	14	27
Jun	19	15	17	27
Jul	21	17	20	27
Ago	21	17	19	28
Sep	20	16	17	28
Oct	16	14	13	29
Nov	13	11	10	28
Dic	11	10	8	27

La energía no cubierta por la instalación solar deberá ser aportada por un sistema auxiliar.

² Se ha considerado como una zona de elevada radiación solar de España para indicar un valor mínimo de Fracción Solar

En la Tabla 6-18 y Tabla 6-19 se presentan los resultados obtenidos en cuanto a producción energética de las dos alternativas planteadas en cada localización.

Tabla 6-18 Producción energética sistema ACS convencional

Sistema ACS Convencional							
	Demanda	Nº Colectores	Volumen de acumulación	Energía aportada	Rendimiento	FS%	Energía aporte auxiliar
Sevilla	129.582	45	6.875	91.159	39,42	70,3	38.424
Bilbao	137.621	35	6.875	56.344	46,32	40,9	81.276
Madrid	135.394	56	8.000	94.990	35,37	70,2	40.403
Santo Domingo	95.887	35	6.875	73.088	39,38	76,2	22.799

Tabla 6-19 Producción energética sistema ACS agua precalentada

Sistema ACS Agua precalentada 45ºc							
	Demanda	Nº Colectores	Volumen de acumulación	Energía aportada	Rendimiento	FS%	Energía aporte auxiliar
Sevilla	43.705	35	6.875	35.360	19,66	80,99	8.345
Bilbao	43.705	35	6.875	26.001	21,38	59,5	17.704
Madrid	43.705	35	6.875	32.371	19,50	74,9	10.974
Santo Domingo	43.705	35	6.875	38.628	20,81	88,4	5.077

Otro aspecto a tener en cuenta en el dimensionamiento de la instalación es el de la disposición del espacio para la instalación ya que es preciso comprobar la disponibilidad de espacio para la instalación.

Teniendo en cuenta las diferentes latitudes, que determinan la inclinación óptima para evitar efector sombra y el tamaño de los colectores solares

La orientación a óptima de los captadores solares coincide con la orientación del Sur geográfico. Unas desviaciones de hasta unos 25º hacia el Este o hacia el Oeste tienen una influencia pequeña sobre la producción energética solar anual. En las suposiciones realizadas se ha estimado la orientación Sur de los captadores.

La inclinación de los captadores debe elegirse en función de la latitud del lugar y de la estacionalidad de la demanda. Es habitual que la demanda energética derivada del consumo de agua caliente sanitaria sea ligeramente inferior en verano que en invierno, ya que, aun suponiendo que el consumo de agua se mantenga constante, la temperatura del agua de red es algo superior en los meses más calurosos.

En estas condiciones, el máximo aprovechamiento de la radiación solar se logra cuando la inclinación de los captadores solares es 10º superior a la latitud del lugar.

Por lo tanto en función del número de colectores de cada sistema propuesto y en base la localización geográfica de las instalaciones cada una de ellas ocuparía las superficies indicadas en la Tabla 6-20 y la Tabla 6-21, por lo que se comprueba que hay espacio suficiente en la azotea (4.000 m²) para la instalación de la misma.

Tabla 6-20 Superficie ocupada sistema ACS agua precalentada

Sistema ACS Agua precalentada 45°C				
	Sevilla	Bilbao	Madrid	Sto. Domingo
Numero de colectores solares	35	35	35	35
Superficie ocupada (m ²)	174,35	209,65	190,79	120,81

Tabla 6-21 Superficie ACS convencional

Sistema ACS Convencional				
	Sevilla	Bilbao	Madrid	Sto. Domingo
Numero de colectores solares	45	35	56	35
Superficie ocupada (m ²)	224,16	209,65	305,27	120,81

6.4.2 Caudal en los captadores

El caudal del circuito primario de captadores se establece en un valor próximo a 50 litros/h por m² de captación solar, para captadores solares conectados en paralelo. Con este caudal se asegura una correcta extracción de la energía captada y con valores superiores no se logran aumentos significativos de la producción solar.

En cualquier caso, es aconsejable tener en cuenta las indicaciones del fabricante acerca del caudal recomendado para su captador con el fin de comprobar si el sistema diseñado podrá aportar el caudal preciso. En función de caudal indicado en las especificaciones del fabricante se calcula el caudal que circula por una batería de captadores en paralelo, como la suma de los caudales que circulan por cada uno de los captadores.

$$Q = Q_{\text{captador}} \cdot N \cdot S_c$$

El caudal permitido por los captadores escogidos según sus especificaciones técnicas puede oscilar entre 1y 5 litros/min, lo que equivale a caudales en el sistema, teniendo en cuenta el mínimo número de captadores en los sistemas propuestos (35) y la superficie de captación, entre 45 y 470 litros/hora, por lo cual, es superior en todos los casos teniendo en cuenta que las necesidades volumétricas ascienden a 6.875 litros/día (286 litros/hora)

6.4.3 Mantenimiento de la instalación.

Una instalación solar bien diseñada y correctamente instalada no tiene porqué presentar inconvenientes en su funcionamiento habitual si bien es conveniente realizar unas ciertas labores de mantenimiento, de un alcance parecido a las correspondientes a cualquier otro tipo de sistemas de calefacción o de agua caliente sanitaria.

Un seguimiento rutinario será suficiente para poder garantizar el correcto funcionamiento del sistema durante toda su vida útil. Las revisiones a cargo del propietario consistirán en observar los parámetros funcionales principales, para verificar que no se ha producido ninguna anomalía con el paso del tiempo. Por su parte, una empresa especializada tendrá la responsabilidad de intervenir cuando se produzca alguna situación anormal y efectuar un mantenimiento preventivo mínimo periódicamente.

Básicamente hay tres modos de actuación sobre la instalación para garantizar un correcto funcionamiento durante toda la vida útil de la misma:

- a) Vigilancia, aquellas operaciones que permiten asegurar que los valores operacionales de la instalación sean correctos. Es un plan de observación simple de los parámetros funcionales principales, para verificar el correcto funcionamiento de la instalación. Será llevado a cabo, normalmente, por el usuario, que asesorado por el instalador, observará el correcto comportamiento y estado de los elementos. En casos de instalaciones con una superficie de captación superior a 20 m², se deberá llevar a cabo una revisión cada seis meses según el CTE.
- b) Mantenimiento preventivo, operaciones de inspección visual, verificación de actuaciones y otras, que aplicadas a la instalación deben permitir mantener dentro de límites aceptables las condiciones de funcionamiento, prestaciones, protección y durabilidad de la misma. El plan de mantenimiento debe realizarse por personal técnico especializado que conozca la tecnología solar térmica y las instalaciones mecánicas en general. La instalación tendrá un libro de mantenimiento en el que se reflejen todas las operaciones realizadas, así como el mantenimiento correctivo. El mantenimiento preventivo ha de incluir todas las operaciones de mantenimiento y sustitución de elementos fungibles o desgastados por el uso, necesarias para asegurar que el sistema funcione correctamente durante su vida útil.
- c) Mantenimiento correctivo, Son operaciones realizadas como consecuencia de la detección de cualquier anomalía en el funcionamiento de la instalación, en el plan de vigilancia o en el de mantenimiento preventivo.

6.5 SISTEMA GEOTERMIA + SOLAR FV + SOLAR TÉRMICA

El esquema tecnológico descrito en el la sección 3.5.1.5, se compone esencialmente de la suma de los tres esquemas precedentes descritos en las secciones 6.2,6.3 y 6.4.

Mientras la alternativa de hibridación con el sistema fotovoltaico genera la energía eléctrica que consumen las bombas geotérmicas, las dos configuraciones posibles de sistemas Solares Térmicos reducen los consumos de dichas bombas, al tomar total o parcialmente la carga del ACS.

Como se detalla en la sección 7.6, en ambas posibilidades de la hibridación con la tecnología solar térmica se incrementan los costos anuales del sistema, ya que se producen más gastos producto de la anualidad de la inversión en comparación con la mínima reducción del consumo de las bombas geotérmicas. Este tema se verá en detalle en la comparación financiera y las conclusiones sobre la tecnología solar térmica.

7 COMPARACION FINANCIERA DE LAS ALTERNATIVAS

En la siguiente sección se compararán los costos globales de operación de las alternativas tecnológicas definidas y dimensionadas en la sección 6 del informe.

Como metodología para la comparación financiera entre las alternativas tecnológicas, al tratarse los sistemas de HVAC y ACS servicios obligatorios para instalaciones hospitalarias y que por tanto no se pueden asociar a rentabilidad de un producto, se procederá por consiguiente a comparar sus costos anualizados de funcionamiento.

En la Tabla 7-1 se definen las variables comunes y las tarifas eléctricas y de GNC a que están sujetas las alternativas tecnológicas en su comparación:

Tabla 7-1 Variables y tarifas para la comparación financiera

País	Variable	Valor	Unidad	Descripción
Común	n	20	años	Años de vida útil. El mismo para todas las tecnologías.
	ke	5%	%	Coste de capital o tasa de descuento (valor del dinero en el tiempo)
	Amortización	10%	%	Proporción anual de aumento de "costos" de la inversión inicial
	tasa cambio	1.1	USD/EUR	Relación entre monedas
España	ISR	30%	%	tasa de Impuestos Rentas Sociedades. % sobre ganancias.
	Energía	0.089	EU/Kwhe	Dato promedio año 2015 tarifa grandes clientes mayores 1 MW.
	GNC	0.053	EU/kWh PCS	Precio a PCS en Tarifa de acceso 2.3 (media 2015 Hospital Galdakao)
	η caldera	92%	%	Rendimiento caldera de calefacción y ACS.
	Conversión	0.900	kWh PCS/kWh PCI	factor de conversión entre poder caloríficos superior e inferior.
	GNC	0.064	EU/kWh PCI	Ver detalle del método de cálculo en Anexo 6.1.
República Dominicana	ISR	27%	%	tasa de Impuestos sobre las Rentas, % sobre ganancias.
	Energía	0.190	USD/Kwhe	Tarifa energía eléctrica. Cuadro tarifario MTD1 en RD.
	GNC	0.122	USD/kWh PCI	Precio del Gas Natural Comprimido.

Los costos globales anuales de cada configuración tecnológica del HVAC y ACS estarán compuestos por las siguientes variables:

- a. Inversión Anualizada. El costo total EPC (llave en mano) de cada configuración tecnológica se prorratea por los 20 años de vida útil, a la tasa de descuento común.
- b. O&M Anuales. Los costos de operación y mantenimiento anualizados.
- c. Consumo Anual. El gasto que representa el consumo de energía de las tecnologías. En caso de ser un valor negativo implica un egreso de dinero y en caso de ser positivo un ahorro de dinero.
- d. Amortización. El costo total de la inversión EPC se divide por los años de vida útil. En general las leyes contables establecen un periodo mínimo de 10 años para estas tecnologías y se adopta, para simplificar la comparación un periodo de 20 años.
- e. Reducción Impositiva. Al permitir las leyes contables considerar el monto de Amortización Anual para reducir las ganancias, por tanto el impuesto a pagar sufre una reducción en función de la tasa del 30% en España y 27% en RD. Este valor es siempre positivo, lo que implica una reducción en el gasto anual.
- f. Costos Totales Anuales. Dicho costo se compondrá de la suma de todos los puntos precedentes, a excepción del concepto de Amortización debido a que este concepto tiene solo implicancias contables y no refleja un egreso real de la inversión, solo lo calcularemos para determinar la reducción impositiva anual.

7.1 Costos anuales alternativa 100% energía convencional

El detalle de los cálculos de la alternativa tecnológica convencional, descrita en la sección 3.5.1.1 y dimensionada en la sección 6.1, se expone en el Anexo R1.

En la siguiente Tabla 7-2, se exponen los resultados de los costos anuales de la presente alternativa tecnología para cada ciudad.

Tabla 7-2 Costos anuales alternativa tecnológica convencional

Costos Anualizados	Sevilla	Bilbao	Madrid	Sto Domingo
Inversión Anualizada	- 30,030	- 23,349	- 22,435	- 42,387
O&M	- 19,560	- 15,428	- 15,431	- 26,556
Consumos	- 139,696	- 87,550	- 130,788	- 512,790
Amortización	- 18,712	- 14,549	- 13,980	- 26,412
Reducción Impositiva	5,614	4,365	4,194	7,131
Gasto Total (EU/año)	- 183,673	- 121,962	- 164,460	- 574,602

7.2 Costos anuales alternativa geotérmica + convencional de apoyo

El detalle de los cálculos de la alternativa tecnológica geotérmica más convencional de apoyo, descrita en la sección 3.5.1.2 y dimensionada en la sección 6.2, se exponen en el Anexo R2.

En la Tabla 7-3, se exponen los resultados de los costos anuales de la presente alternativa tecnología para cada ciudad:

Tabla 7-3 Costos anuales alternativa tecnológica geotérmica + convencional de apoyo

Tipos de sistemas	Tipo de gasto/costo	Sevilla	Bilbao	Madrid	Sto Domingo
Sistema Geotérmico	Inversión Anualizada	- 27,204	- 33,939	- 51,035	- 49,363
	O&M	- 4,320	- 4,320	- 4,320	- 4,320
	Consumos	- 21,076	- 19,036	- 25,612	- 27,208
	Amortización	- 16,951	- 21,148	- 31,800	- 30,759
	Reducción Impositiva	5,085	6,344	9,540	8,305
Sistema Convencional de apoyo	Inversión Anualizada	- 1,265	- 863	- 372	- 13,373
	O&M	- 800	- 609	- 463	- 8,333
	Consumos	- 4,830	- 5,643	- 11,112	- 159,813
	Amortización	- 788	- 538	- 232	- 8,333
	Reducción Impositiva	236	161	69	2,250
Gasto Total (EU/año)		- 54,172	- 57,905	- 83,304	- 251,854

7.3 Costos anuales alternativa geotérmica + convencional de apoyo + fotovoltaica.

El detalle de los cálculos de la alternativa tecnológica geotérmica más convencional de apoyo y fotovoltaica, descrita en la sección 3.5.1.3 y dimensionada en la sección 6.3, se exponen en el Anexo R3 y se detallan en la Tabla 7-4.

Tabla 7-4 Costos anuales sistema fotovoltaico

Sistema Fotovoltaico	Inversión y O&M				Producción Eléctrica	
	Inversion Total (EU)	O&M anual de 1% (EU)	Inversion Anualizada (EU)	Amortización Anual (EU)	CONSUMO ENERGETICO BCG (kWh/año)	CONSUMO ENERGETICO BCG (Eu/año)
Sevilla	158,496	1,585	- 12,718	7,925	236,925	21,091
Bilbao	198,120	1,981	- 15,898	9,906	213,965	19,047
Madrid	177,216	1,772	- 14,220	8,861	260,512	23,190
Sto Domingo	78,863	789	- 6,328	3,943	143,292	27,226

En la Tabla 7-5 , se exponen los resultados de los costos anuales de la presente alternativa tecnología para cada ciudad.

Tabla 7-5 Costos anuales alternativa geotérmica + convencional de apoyo + fotovoltaica

Tipos de sistemas	Tipo de gasto/costo	Sevilla	Bilbao	Madrid	Sto Domingo
Sistema Geotérmico	Inversión Anualizada	- 27,204	- 33,939	- 51,035	- 49,363
	O&M	- 4,320	- 4,320	- 4,320	- 4,320
	Consumos	- 21,076	- 19,036	- 25,612	- 27,208
	Amortización	- 16,951	- 21,148	- 31,800	- 30,759
	Reducción Impositiva	5,085	6,344	9,540	8,305
Sistema Convencional de apoyo	Inversión Anualizada	- 1,265	- 863	- 372	- 13,373
	O&M	- 800	- 609	- 463	- 8,333
	Consumos	- 4,830	- 5,643	- 11,112	- 159,813
	Amortización	- 788	- 538	- 232	- 8,333
	Reducción Impositiva	236	161	69	2,250
Sistema Solar Fotovoltaico. Provee el 100% de la energía consumida por las Bombas Geotérmicas	Inversión Anualizada	- 12,718	- 15,898	- 14,220	- 6,328
	O&M	- 1,585	- 1,981	- 1,772	- 789
	Consumos	21,091	19,047	23,190	27,226
	Amortización	- 7,925	- 9,906	- 8,861	- 3,943
	Reducción Impositiva	2,377	2,972	2,658	1,065
Gasto Total (EU/año)		- 45,007	- 53,765	- 73,448	- 230,681

En el caso del sistema fotovoltaico, los consumos generados se colocan con signo positivo ya que descuentan al monto total anual del sistema. El sistema FV se ha diseñado de tal forma que produzca la cantidad de energía que consumen las bombas geotérmicas por tanto reducirán los costos anuales en la proporción de la energía que inyectan a las bombas y aumentarán dichos costos según los costos anualizados de la inversión y el O&M de estos equipos.

7.4 Costos Anuales Alternativa Geotérmica + Convencional de Apoyo + Solar Térmica (precalentada a 45°C)

En el presente esquema tecnológico el agua de ACS que ingresa a los calentadores solares es precalentada por el sistema geotérmico hasta los 45°C.

El detalle de los cálculos de la alternativa tecnológica geotérmica más convencional de apoyo y el calentamiento del ACS vía solar térmica descrita en la sección 3.5.1.4 y dimensionada en la sección 6.4, se exponen en el Anexo R4.

En la Tabla 7-6 , se exponen los resultados de los costos anuales de la presente alternativa tecnología para cada ciudad.

Tabla 7-6 Costos anuales geotérmica + apoyo convencional + solar térmica (45 °C)

Tipos de sistemas	Tipo de gasto/costo	Sevilla	Bilbao	Madrid	Sto Domingo
Sistema Geotérmico	Inversión Anualizada	- 27,204	- 33,939	- 51,035	- 49,363
	O&M	- 4,320	- 4,320	- 4,320	- 4,320
	Consumos	- 20,298	- 18,258	- 24,834	- 25,547
	Amortización	- 16,951	- 21,148	- 31,800	- 30,759
	Reducción Impositiva	5,085	6,344	9,540	8,305
Sistema Convencional de Apoyo al Geotérmico y Solar Térmico	Inversión Anualizada	- 1,282	- 891	- 395	- 13,385
	O&M	821	643	493	8,348
	Consumos	- 4,830	- 5,643	- 11,112	- 159,813
	Amortización	- 799	- 555	- 246	- 8,340
	Reducción Impositiva	240	167	74	2,252
Sistema Térmico Solar para ACS.	Inversión Anualizada	3,230	3,230	3,230	3,230
	O&M	- 1,553	- 1,208	- 1,932	- 725
	Consumos	-	-	-	-
	Amortización	- 2,013	- 2,013	- 2,013	- 2,013
	Reducción Impositiva	604	604	604	543
Gasto Total (EU/año)		- 49,506	- 53,271	- 79,688	- 230,475

7.5 Costos anuales alternativa geotérmica + convencional de apoyo + solar térmica (ACS tomado a temperatura ambiente).

En el presente esquema tecnológico el agua de ACS que ingresa a los calentadores solares se toma directamente de los ductos de agua a la temperatura ambiente.

El detalle de los cálculos financieros de la alternativa tecnológica geotérmica más convencional de apoyo y el calentamiento del ACS vía solar térmica sin precalentamiento se exponen en el Anexo R5.

En la Tabla 7-7, se exponen los resultados de los costos anuales de la presente alternativa tecnología para cada ciudad:

Tabla 7-7 Costos anuales geotérmica + apoyo convencional + solar térmica

Tipos de sistemas	Tipo de gasto/costo	Sevilla	Bilbao	Madrid	Sto Domingo
Sistema Geotérmico	Inversión Anualizada	- 27,204	- 33,939	- 51,035	- 49,363
	O&M	- 4,320	- 4,320	- 4,320	- 4,320
	Consumos	- 18,910	- 16,635	- 23,207	- 22,596
	Amortización	- 16,951	- 21,148	- 31,800	- 30,759
	Reducción Impositiva	5,085	6,344	9,540	8,305
Sistema Convencional de Apoyo al Geotérmico y Solar Térmico	Inversión Anualizada	- 1,282	- 891	- 395	- 13,385
	O&M	821	643	493	8,348
	Consumos	- 4,830	- 5,643	- 11,112	- 159,813
	Amortización	- 799	- 555	- 246	- 8,340
	Reducción Impositiva	240	167	74	2,252
Sistema Térmico Solar para ACS.	Inversión Anualizada	- 4,153	- 3,230	- 5,168	- 1,163
	O&M	- 1,553	- 1,208	- 1,932	- 725
	Consumos	-	-	-	-
	Amortización	- 2,588	- 2,013	- 3,220	- 1,208
	Reducción Impositiva	776	604	966	326
Gasto Total (EU/año)		- 55,328	- 58,109	- 86,096	- 232,133

7.6 Costos anuales alternativa geotérmica + convencional de apoyo + solar térmica + fotovoltaica.

Como se ha concluido en las dos secciones precedentes, los esquemas que incluyen el calentamiento del ACS vía la tecnología renovable solar térmica, tanto en el caso de tomar el ACS precalentada a 45°C o directamente a temperatura ambiente, aumentan los costos anualizados de su operación. Por tanto no tiene sentido analizar financieramente un esquema tecnológico configurado por Geotérmica + Convencional de Apoyo + Solar térmica + FV, ya que necesariamente resultará con costos anualizados mayores que la alternativa tecnológica sin la inclusión de solar térmica.

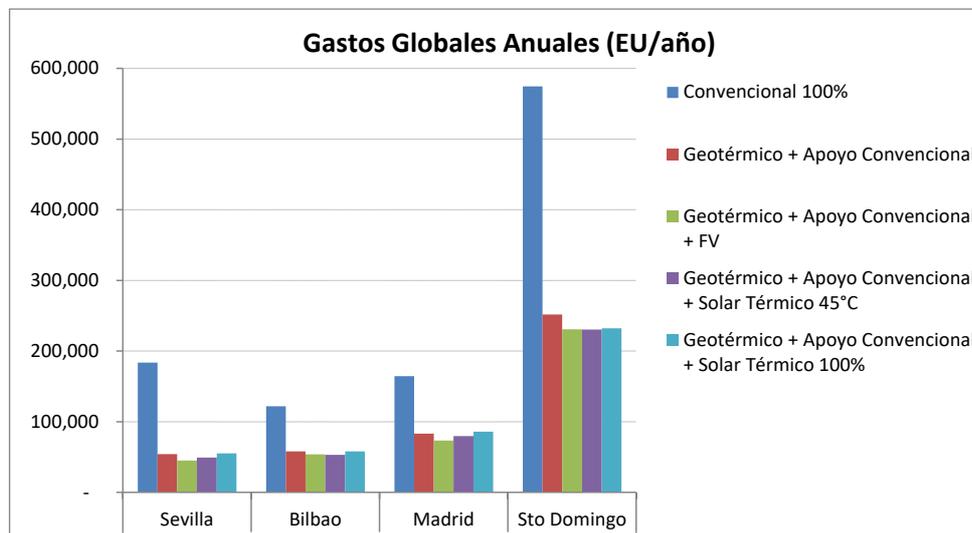
7.7 Resumen de costos anuales de alternativa tecnológicas

En la Tabla 7-8 y en el Grafico 7-1 se resumen los costos anualizados de todas las alternativas tecnológicas analizadas en los puntos precedentes, en valores absolutos monetarios.

Tabla 7-8 Resumen costos anuales de alternativas tecnológicas en unidades monetarias

Esquemas Tecnológicos	Gastos Globales (Eu/año)			
	Sevilla	Bilbao	Madrid	Sto Domingo
Convencional 100%	183,673	121,962	164,460	574,602
Geotérmico + Apoyo Convencional	54,172	57,905	83,304	251,854
Geotérmico + Apoyo Convencional + FV	45,007	53,765	73,448	230,681
Geotérmico + Apoyo Convencional + Solar Térmico 45°C	48,678	52,627	78,657	230,088
Geotérmico + Apoyo Convencional + Solar Térmico 100%	55,328	58,109	86,096	232,133

Grafico 7-1 Resumen costos anuales de alternativas tecnológicas en unidades monetarias

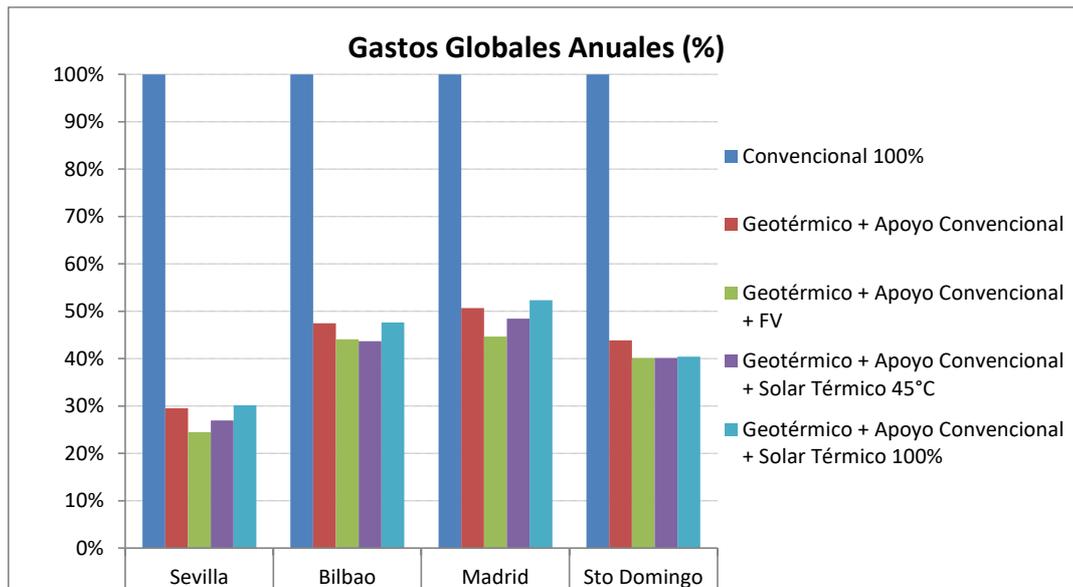


En la Tabla 7-9 y en el Grafico 7-2 se resumen los costes anuales de todas las alternativas tecnológicas analizadas en los puntos precedentes en valores porcentuales tomando como referencia la alternativa de tecnología convencional al 100%.

Tabla 7-9 Resumen costos anuales de alternativas tecnológicas en unidades porcentuales

Gastos Globales Anuales (%)	Gastos Globales Anuales (%)			
	Sevilla	Bilbao	Madrid	Sto Domingo
Convencional 100%	100%	100%	100%	100%
Geotérmico + Apoyo Convencional	29%	47%	51%	44%
Geotérmico + Apoyo Convencional + FV	25%	44%	45%	40%
Geotérmico + Apoyo Convencional + Solar Térmico 45°C	27%	43%	48%	40%
Geotérmico + Apoyo Convencional + Solar Térmico 100%	30%	48%	52%	40%

Grafico 7-2 Resumen costos anuales de alternativas tecnológicas en unidades porcentuales



8 COMPARATIVA ENERGÉTICA Y DE EMISIONES DE LA ALTERNATIVAS

8.1 Consumo de energía primaria no renovable.

Uno de los parámetros que se valoran en el Documento HE0 Limitación del consumo energético y por el cual se pretende determinar el cumplimiento de un edificio de la exigencia básica de limitación del consumo energético que se establece respecto a esa misma sección, es la energía primaria no renovable.

Esta energía es aquella energía suministrada al edificio procedente de fuentes no renovables, que no ha sufrido ningún proceso previo de conversión o transformación. Es la energía contenida en los combustibles y otras fuentes de energía e incluye la energía necesaria para generar la energía final consumida, incluyendo las pérdidas por su transporte hasta el edificio, almacenamiento, etc.

Para su determinación se emplean los coeficientes de conversión de energía final a energía primaria establecidos en el documento *Factores de emisión de CO2 y coeficientes de paso a energía primaria de diferentes fuentes de energía final consumidas en el sector de edificios en España (Versión 20/07/2014)*

Esos coeficiente de paso se han obtenido mediante un procedimiento de cálculo que se basa en obtener la relación entre el consumo de combustible de las centrales de producción eléctrica y el consumo de energía eléctrica en el punto de consumo, realizando la regresión desde el consumo eléctrico final hasta el consumo de combustible, en función del tipo de central de producción eléctrica, y considerando para todos los casos:

- las pérdidas en generación,
- las pérdidas en distribución,
- los rendimientos de cada tipo de central de producción eléctrica y,
- las emisiones de CO2 producidas por el combustible utilizado

Los valores empleados para dichos coeficientes en función de la fuente de energía empleada, electricidad y gas natural en el caso de los sistemas convencionales que hemos planteado aparecen en la Tabla 8-1.

Tabla 8-1 Factores de conversión de energía primaria

Factores de conversión de energía final a primaria					
	Fuente	Valores aprobados			Valores previos (****)
		kWh E.primaria renovable /kWh E. final	kWh E.primaria no renovable /kWh E. final	kWh E.primaria total /kWh E. final	kWh E.primaria /kWh E. final
Electricidad convencional Nacional	(*)	0,396	2,007	2,403	
Electricidad convencional peninsular	(**)	0,414	1,954	2,368	2,61
Electricidad convencional extrapeninsular	(**)	0,075	2,937	3,011	3,35
Electricidad convencional Baleares	(**)	0,082	2,968	3,049	
Electricidad convencional Canarias	(**)	0,070	2,924	2,994	
Electricidad convencional Ceuta y Melilla	(**)	0,072	2,718	2,790	
Gasóleo calefacción	(***)	0,003	1,179	1,182	1,08
GLP	(***)	0,003	1,201	1,204	1,08
Gas natural	(***)	0,005	1,190	1,195	1,01
Carbón	(***)	0,002	1,082	1,084	1,00
Biomasa no densificada	(***)	1,003	0,034	1,037	
Biomasa densificada (pelets)	(***)	1,028	0,085	1,113	

8.1.1 Alternativa 100% Convencional

En la Tabla 8-2, se exponen los resultados del consumo de energía primaria de la alternativa tecnológica convencional para cada localización.

Tabla 8-2 Consumos de energía primaria del Sistema 0

		SEVILLA	BILBAO	MADRID	STO DOMINGO
CONSUMO ENERGETICO (kWh t)	CALEFACCIÓN	526.199,22	754.895,03	944.215,39	
	REFRIGERACIÓN	320.969,59	69.603,07	259.321,16	667.394,03
	ACS	129.705,93	137.752,13	136.985,06	95.979,03
SISTEMA CONVENCIONAL	ENERGÍA PRIMARIA (KWh)	1.268.875,36	1.249.879,37	1.741.221,00	991.555,23

8.1.2 Alternativa Geotermia

En la Tabla 8-3, se exponen los resultados del consumo de energía primaria de la alternativa tecnológica de geotermia para cada localización.

Tabla 8-3 Consumos de energía primaria del Sistema 1

		SEVILLA	BILBAO	MADRID	STO DOMINGO	
DEMANDA ENERGÉTICA (kWh t)	CALEFACCIÓN	526.199,22	754.895,03	944.215,39		
	REFRIGERACIÓN	320.969,59	69.603,07	259.321,16	667.394,03	
	ACS	129.705,93	137.752,13	136.985,06	95.979,03	
SISTEMA GEOTÉRMICO	CONSUMO ENERGÉTICO BCG (kWhe)	236.759,00	213.843,00	287.719,00	143.200,00	
	ENERGÍA PRIMARIA (KWh)	560.882,07	506.594,07	681.606,31	339.240,80	
SISTEMA CONVENCIONAL (APOYO)	CONSUMO ENERGETICO (kWh t)	CALEFACCIÓN	9.255,00	71.685,00	172.620,00	
		REFRIGERACIÓN	13.942,00	2.380,00		211.707,00
		ACS				
	ENERGIA PRIMARIA (KWh))	30.130,89	96.203,99	224.218,37	274.988,98	
SISTEMA COMPLETO	ENERGIA PRIMARIA NO RENOVABLE (KWh)	591.012,96	602.798,06	905.824,68	614.229,78	

8.1.3 Alternativa Geotermia + Solar Fotovoltaica +Apoyo Convencional

En la Tabla 8-4, se exponen los resultados del consumo de energía primaria de la alternativa tecnológica geotérmica más convencional de apoyo y fotovoltaica para cada localización.

Tabla 8-4 Consumos de energía primaria del Sistema 2

		SEVILLA	BILBAO	MADRID	STO DOMINGO	
DEMANDA ENERGÉTICA (kWh t)	CALEFACCIÓN	526.199,22	754.895,03	944.215,39		
	REFRIGERACIÓN	320.969,59	69.603,07	259.321,16	667.394,03	
	ACS	129.705,93	137.752,13	136.985,06	95.979,03	
SISTEMA GEOTÉRMICO	CONSUMO ENERGÉTICO BCG (kWh)	236.759,00	213.843,00	287.719,00	143.200,00	
	ENERGÍA PRIMARIA (KWh)	560.882,07	506.594,07	681.606,31	339.240,80	
SISTEMA CONVENCIONAL (APOYO)	CONSUMO ENERGÉTICO (kWh)	CALEFACCION	9.255,00	71.685,00	172.620,00	-
		REFRIGERACIÓN	13.942,00	2.380,00	-	211.707,00
		ACS	-	-	-	-
	ENERGÍA PRIMARIA	30.130,89	96.203,99	224.218,37	274.988,98	
SISTEMA FV	PRODUCCIÓN ENERGETICA (kWh)	236.925,25	213.965,01	260.512,48	143.292,15	
	ENERGÍA PRIMARIA	- 561.275,92	- 506.883,12	- 617.154,07	- 339.459,09	
SISTEMA COMPLETO	ENERGIA PRIMARIA NO RENOVABLE (KWh)	29.737,04	95.914,94	288.670,61	274.770,69	

8.1.4 Alternativa Geotermia + Solar Térmica (100%) +Apoyo Convencional

En el presente esquema tecnológico el agua de ACS que ingresa a los calentadores solares se toma directamente de los ductos de agua a la temperatura ambiente. En la Tabla 8-5 de resumen, se exponen los resultados del consumo de energía primaria de la alternativa tecnológica geotérmica más convencional de apoyo y el calentamiento del ACS vía solar térmica para cada localización.

Tabla 8-5 Consumos de energía primaria del Sistema 3

		SEVILLA	BILBAO	MADRID	STO DOMINGO	
DEMANDA ENERGÉTICA (kWh t)	CALEFACCIÓN	526.199,22	754.895,03	944.215,39		
	REFRIGERACIÓN	320.969,59	69.603,07	259.321,16	667.394,03	
	ACS	129.705,93	137.752,13	136.985,06	95.979,03	
SISTEMA GEOTÉRMICO	CONSUMO ENERGÉTICO BCG (kWh)	212.429,00	186.876,00	260.698,00	118.927,00	
	ENERGÍA PRIMARIA (KWh)	503.244,30	442.709,24	617.593,56	281.738,06	
SISTEMA SOLAR BAJA TEMPERATURA	APORTE ENERGÉTICO (kWh)	ACS	91.159,00	56.344,00	94.990,00	73.088,00
		ENERGÍA PRIMARIA				
	EMISIONES CO2 (kg)					
SISTEMA CONVENCIONAL (APOYO)	CONSUMO ENERGÉTICO (kWh)	CALEFACCION	9.255,00	71.685,00	172.620,00	
		REFRIGERACIÓN	13.942,00	2.380,00		211.707,00
		ACS	38.424,00	81.276,00	40.403,00	22.799,00
	ENERGÍA PRIMARIA	80.040,32	201.774,45	276.698,35	304.602,90	
SISTEMA COMPLETO	ENERGIA PRIMARIA NO RENOVABLE (KWh)	583.284,62	644.483,69	894.291,91	586.340,96	

8.1.5 Alternativa Geotérmica + Convencional de Apoyo + Solar Térmica (precalentada a 45°C)

En el presente esquema tecnológico el agua de ACS que ingresa a los calentadores solares es precalentada por el sistema geotérmico hasta los 45°C. En la Tabla 8-6, se exponen los resultados del consumo de energía primaria de la alternativa tecnológica geotérmica más convencional de apoyo y el calentamiento del ACS vía solar térmica para cada localización.

Tabla 8-6 Consumo de energía primaria del Sistema 3

		SEVILLA	BILBAO	MADRID	STO DOMINGO	
DEMANDA ENERGÉTICA (kWh t)	CALEFACCIÓN	526.199,22	754.895,03	944.215,39	-	
	REFRIGERACIÓN	320.969,59	69.603,07	259.321,16	667.394,03	
	ACS	129.705,93	137.752,13	136.985,06	95.979,03	
SISTEMA GEOTÉRMICO	CONSUMO ENERGÉTICO BCG (kWhe)	228.020,00	205.102,00	278.978,00	134.460,00	
	ENERGÍA PRIMARIA (KWh)	540.179,38	485.886,64	660.898,88	318.535,74	
SISTEMA SOLAR BAJA TEMPERATURA (ACS)	APORTE ENERGÉTICO (kWh t)	35.360,00	26.001,00	32.731,00	38.628,00	
	ENERGÍA PRIMARIA (KWh)					
SISTEMA CONVENCIONAL (APOYO)	CONSUMO ENERGÉTICO (kWh)	CALEFACCION	9.255,00	71.685,00	172.620,00	
		REFRIGERACIÓN	13.942,00	2.380,00		211.707,00
		ACS	8.345,00	17.704,00	10.974,00	5.077,00
	ENERGÍA PRIMARIA (KWh)	40.970,32	119.199,95	238.472,64	281.583,57	
SISTEMA COMPLETO	ENERGÍA PRIMARIA NO RENOVABLE (KWh)	581.149,70	605.086,59	899.371,52	600.119,31	

8.1.6 Resumen de consumo de energía primaria no renovable

A continuación en la Tabla 8-7y en el Grafico 8-1 se muestra un resumen del consumo de energía primaria no renovable.

Grafico 8-1 Resumen de consumo de energía primaria no renovable

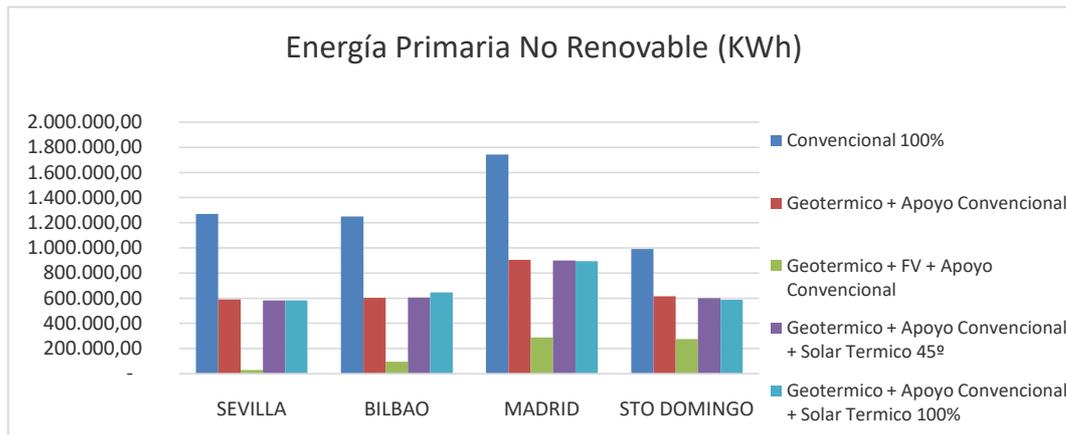


Tabla 8-7 Resumen del consumo de energía primaria no renovable

	SISTEMA CONVENCIONAL	SISTEMA GEOTERMICO	SIST. GEOT + FV	SIST. GEOT + SOLAR 45ºC	SIST. GEOT + SOLAR 100%
SEVILLA	1.268.875,36	591.012,96	29.737,04	581.149,70	583.284,62
BILBAO	1.249.879,37	602.798,06	95.914,94	605.086,59	644.483,69
MADRID	1.741.221,00	905.824,68	288.670,61	899.371,52	894.291,91
STO DOMINGO	991.555,23	614.229,78	274.770,69	600.119,31	586.340,96

8.2 Emisiones de CO₂.

La minimización de las emisiones de CO₂ es uno de los claros objetivos de las políticas energéticas a nivel global, para ello es fundamental determinar la cantidades de emisiones que se generan en cada actividad. En este sentido la certificación energética española ha utilizado como indicador principal las emisiones de CO₂, aunque complementado con otros indicadores como la demanda energética y la energía primaria. La razón de esta elección es la Directiva 93/76/CE, de 13 de septiembre, relativa a la limitación de las emisiones de dióxido de carbono mediante la mejora de la eficiencia energética. En esta directiva se utiliza la eficiencia energética como un medio para conseguir reducir las emisiones de CO₂. Posteriormente la Directiva 2002/91/CE, de 16 de diciembre de 2002, relativa a la eficiencia energética de los edificios, tampoco era muy explícita sobre el uso de indicadores, ya que se limitaba a señalar que la eficiencia energética de un edificio se expresara de forma clara y podrá incluir un indicador de las emisiones de CO₂”.

La nueva directiva 2010/31/UE, introduce por primera vez de forma explícita la exigencia de un indicador de energía primaria, lo que hace necesario actualizar los indicadores de eficiencia energética, energía primaria y emisiones de CO₂ que actualmente se emplean en la normativa energética española de edificación.

Para ellos se emplean los factores de emisión establecidos en el documento *Factores de emisión de CO₂ y coeficientes de paso a energía primaria de diferentes fuentes de energía final consumidas en el sector de edificios en España (Versión 20/07/2014)*

Al igual que en el caso de la energía primaria estos coeficientes de emisión se han calculado basándose en obtener la relación entre el consumo de combustible de las centrales de producción eléctrica y el consumo de energía eléctrica en el punto de consumo, realizando la regresión desde el consumo eléctrico final hasta el consumo de combustible, en función del tipo de central de producción eléctrica, y considerando para todos los casos:

- las pérdidas en generación,
- las pérdidas en distribución,
- los rendimientos de cada tipo de central de producción eléctrica y,
- las emisiones de CO₂ producidas por el combustible utilizado

Los factores de emisión empleados para este cálculo en función de la fuente de energía empleada, electricidad y gas natural en el caso de los sistemas convencionales que hemos planteado se presentan en la Tabla 8-8.

Tabla 8-8 Factores de emisión de CO₂

Factores de emisiones de CO ₂			
	Fuente	Valores aprobados	Valores previos (****)
		kg CO ₂ /kWh E. final	kg CO ₂ /kWh E. final
Electricidad convencional Nacional	(*)	0,357	
Electricidad convencional peninsular	(**)	0,331	0,649
Electricidad convencional extrapeninsular	(**)	0,833	0,981
Electricidad convencional Baleares	(**)	0,932	
Electricidad convencional Canarias	(**)	0,776	
Electricidad convencional Ceuta y Melilla	(**)	0,721	
Gasóleo calefacción	(***)	0,311	0,287
GLP	(***)	0,254	0,244
Gas natural	(***)	0,252	0,204
Carbón	(***)	0,472	0,347
Biomasa no densificada	(***)	0,018	neutro
Biomasa densificada (pelets)	(***)	0,018	neutro

8.2.1 Alternativa 100% convencional

En la Tabla 8-9, se exponen los resultados de las emisiones de CO₂ de la alternativa tecnológica convencional para cada localización.

Tabla 8-9 Emisiones CO₂ del Sistema 0

		SEVILLA	BILBAO	MADRID	STO DOMINGO
CONSUMO ENERGETICO (kWh t)	CALEFACCIÓN	526.199,22	754.895,03	944.215,39	
	REFRIGERACIÓN	320.969,59	69.603,07	259.321,16	667.394,03
	ACS	129.705,93	137.752,13	136.985,06	95.979,03
SISTEMA CONVENCIONAL	EMISIONES CO2 (kg)	267.578,74	263.572,89	367.186,35	209.097,84

8.2.2 Alternativa geotermia

En la Tabla 8-10 , se exponen los resultados de las emisiones de CO₂ de la alternativa tecnológica de geotermia para cada localización.

Tabla 8-10 Emisiones de CO₂ del Sistema 1

		SEVILLA	BILBAO	MADRID	STO DOMINGO	
DEMANDA ENERGÉTICA (kWh t)	CALEFACCIÓN	526.199,22	754.895,03	944.215,39		
	REFRIGERACIÓN	320.969,59	69.603,07	259.321,16	667.394,03	
	ACS	129.705,93	137.752,13	136.985,06	95.979,03	
SISTEMA GEOTÉRMICO	CONSUMO ENERGÉTICO BCG (kWh e)	236.759,00	213.843,00	287.719,00	143.200,00	
	EMISIONES CO2 (kg)	78.367,23	70.782,03	95.234,99	47.399,20	
SISTEMA CONVENCIONAL (APOYO)	CONSUMO ENERGÉTICO (kWh)	CALEFACCION	9.255,00	71.685,00	172.620,00	
		REFRIGERACIÓN	13.942,00	2.380,00		211.707,00
		ACS				
	EMISIONES CO2 (kg)	6.353,96	20.287,37	47.282,87	57.989,31	
SISTEMA COMPLETO	EMISIONES CO2 (kg)	84.721,19	91.069,40	142.517,86	105.388,51	

8.2.3 Alternativa geotermia + solar fotovoltaica +apoyo convencional

En la Tabla 8-11, se exponen los resultados de las emisiones de CO₂ de la alternativa tecnológica geotérmica más convencional de apoyo y fotovoltaica para cada localización.

Tabla 8-11 Emisiones de CO2 del Sistema 2

		SEVILLA	BILBAO	MADRID	STO DOMINGO	
DEMANDA ENERGÉTICA (kWh t)	CALEFACCIÓN	526.199,22	754.895,03	944.215,39		
	REFRIGERACIÓN	320.969,59	69.603,07	259.321,16	667.394,03	
	ACS	129.705,93	137.752,13	136.985,06	95.979,03	
SISTEMA GEOTÉRMICO	CONSUMO ENERGÉTICO BCG (kWhe)	236.759,00	213.843,00	287.719,00	143.200,00	
	EMISIONES CO2 (kg)	78.367,23	70.782,03	95.234,99	47.399,20	
	EMISIONES CO2 (kg)					
SISTEMA CONVENCIONAL (APOYO)	CONSUMO ENERGÉTICO (kWh)	CALEFACCION	9.255,00	71.685,00	172.620,00	-
		REFRIGERACIÓN	13.942,00	2.380,00	-	211.707,00
		ACS	-	-	-	-
	EMISIONES CO2 (kg)	6.353,96	20.287,37	47.282,87	57.989,31	
SISTEMA FV	PRODUCCION ENERGÉTICA (kWh)	236.925,25	213.965,01	260.512,48	143.292,15	
	EMISIONES CO2 (kg)	78.422,26	70.822,42	86.229,63	47.429,70	
SISTEMA COMPLETO	EMISIONES CO2 (kg)	6.298,93	20.246,98	56.288,23	57.958,81	

8.2.4 Alternativa geotermia + solar térmica (100%) +apoyo convencional

En el presente esquema tecnológico el agua de ACS que ingresa a los calentadores solares se toma directamente de los ductos de agua a la temperatura ambiente. En la Tabla 8-12, se exponen los

Tabla 8-12 Emisiones de CO₂ del Sistema 3

		SEVILLA	BILBAO	MADRID	STO DOMINGO	
DEMANDA ENERGÉTICA (kWh t)	CALEFACCIÓN	526.199,22	754.895,03	944.215,39		
	REFRIGERACIÓN	320.969,59	69.603,07	259.321,16	667.394,03	
	ACS	129.705,93	137.752,13	136.985,06	95.979,03	
SISTEMA GEOTÉRMICO	CONSUMO ENERGÉTICO BCG (kWhe)	212.429,00	186.876,00	260.698,00	118.927,00	
	EMISIONES CO2 (kg)	70.314,00	61.855,96	86.291,04	39.364,84	
SISTEMA SOLAR BAJA TEMPERATURA	APORTE ENERGETICO (kWht) ACS	91.159,00	56.344,00	94.990,00	73.088,00	
	EMISIONES CO2 (kg)					
SISTEMA CONVENCIONAL (APOYO)	CONSUMO ENERGÉTICO (kWh)	CALEFACCION	9.255,00	71.685,00	172.620,00	
		REFRIGERACIÓN	13.942,00	2.380,00		211.707,00
		ACS	38.424,00	81.276,00	40.403,00	22.799,00
	EMISIONES CO2 (kg)	16.878,80	42.549,93	58.349,78	64.234,25	
SISTEMA COMPLETO	EMISIONES CO2 (kg)	87.192,79	104.405,88	144.640,82	103.599,09	

8.2.5 Alternativa Geotérmica + Convencional de Apoyo + Solar Térmica (precalentada a 45°C)

En el presente esquema tecnológico el agua de ACS que ingresa a los calentadores solares es precalentada por el sistema geotérmico hasta los 45°C. En la Tabla 8-13 se exponen los resultados de las emisiones de CO₂ de la alternativa tecnológica geotérmica más convencional de apoyo y el calentamiento del ACS vía solar térmica para cada localización.

Tabla 8-13 Emisiones de CO₂ del Sistema 3

		SEVILLA	BILBAO	MADRID	STO DOMINGO	
DEMANDA ENERGETICA	CALEFACCIÓN	526.199,22	754.895,03	944.215,39	-	
	REFRIGERACIÓN	320.969,59	69.603,07	259.321,16	667.394,03	
	ACS	129.705,93	137.752,13	136.985,06	95.979,03	
SISTEMA GEOTERMICO	CONSUMO ENERGÉTICO BCG (kWhe)	228.020,00	205.102,00	278.978,00	134.460,00	
	EMISIONES CO2 (kg)	75.474,62	67.888,76	92.341,72	44.506,26	
SISTEMA SOLAR BAJA TEMPERATURA (ACS)	APORTE ENERGÉTICO (kWht)	35.360,00	26.001,00	32.731,00	38.628,00	
	EMISIONES CO2 (kg)					
SISTEMA CONVENCIONAL (APOYO)	CONSUMO ENERGÉTICO (kWh)	CALEFACCION	9.255,00	71.685,00	172.620,00	
		REFRIGERACIÓN	13.942,00	2.380,00		211.707,00
		ACS	8.345,00	17.704,00	10.974,00	5.077,00
	EMISIONES CO2 (kg)	8.639,77	25.136,73	50.288,79	59.379,97	
SISTEMA COMPLETO	EMISIONES CO2 (kg)	84.114,39	93.025,49	142.630,51	103.886,23	

8.2.6 Resumen de emisiones de CO₂

A continuación en la Tabla 8-14 Tabla 8-7y en el Grafico 8-2Grafico 8-1 se muestra un resumen de las emisiones de CO₂.

Grafico 8-2 Resumen emisiones de CO₂

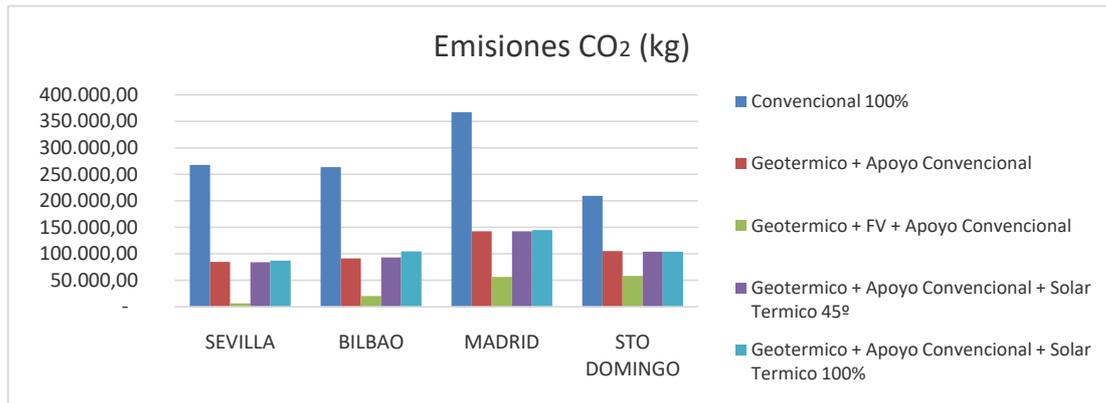


Tabla 8-14 Resumen emisiones de CO₂

	SISTEMA CONVENCIONAL	SISTEMA GEOTERMICO	SIST. GEOT + FV	SIST. GEOT + SOLAR 45ºC	SIST. GEOT + SOLAR
SEVILLA	267.578,74	84.721,19	6.298,93	84.114,39	87.192,79
BILBAO	263.572,89	91.069,40	20.246,98	93.025,49	104.405,88
MADRID	367.186,35	142.517,86	56.288,23	142.630,51	144.640,82
STO DOMINGO	209.097,84	105.388,51	57.958,81	103.886,23	103.599,09

9 CONCLUSIONES

Finalmente, en el presente capítulo serán resumidas las principales conclusiones derivadas del presente trabajo Proyecto Thermos.

En primer lugar se resumirán los principales aprendizajes en las etapas de definición de las necesidades energéticas y alternativas y dimensionamientos tecnológicos, en un segundo análisis se verán los resultados de las comparaciones de las energías primarias de cada alternativa y sus emisiones de CO₂ asociadas, luego se comentará las conclusiones de las comparaciones financieras, para finalmente sugerir una lista de posibles acciones posteriores que den continuidad a los aprendizajes adquiridos en el presente trabajo.

9.1 Aprendizaje metodológico:

9.1.1 Definición de demanda y energía de climatización y ACS

- Aunque inicialmente se utilizó la metodología de obtención de los valores de demanda y energía térmica recomendadas por el CENER, se tuvo que descartar debido a que, como es obvio, no es posible calcular para ciudades fuera de España y de alguna las proyecciones sugeridas para nuestro caso (área de 20.000 m²) se obtuvieron datos que no se ajustaban a los datos reales obtenidos de las memorias de hospitales existentes.
- Para la definición de la energía térmica demanda por la instalación se utilizó la metodología de los “Grados Días” la cual recoge la diferencia diaria entre la temperatura media y la temperatura de confort definida y está disponible para cualquier ciudad del mundo que tenga una estación meteorológica que solo registre la temperatura media diaria. Se contrastaron los resultados obtenidos con los resultados vía el Proyecto de Norma de AENOR PNE-prEN 15316-4-3, obteniendo diferencias despreciables.
- En el cálculo de la energía térmica, posee un peso muy considerable los valores de transmitancia térmica de los cerramientos de la envolvente del edificio (principalmente paredes, techo y ventanas). Un buen diseño deberá compensar que los mayores gastos mejorando la envolvente se justifiquen contra los ahorros energéticos durante la vida útil del edificio. Adicionalmente una buena práctica en la operación de la climatización debe velar porque un “hermetismo” exagerado no perjudique la calidad del aire a niveles insalubres, tal vez esta práctica puede alcanzarse regulando el aporte exterior de aire al sistema de climatización en función de los niveles de CO₂ del aire interior.
- En el cálculo de la potencia de climatización vía la expresión de transferencia de volumen de calor latente (al existir variación de humedad relativa) destacamos la notable influencia del efecto de la humedad. Este dato se calcula definiendo las peores condiciones de temperaturas anuales para el día más frío o más cálido y con el dato obtenido se dimensionarán los equipamientos de climatización. Como ejemplo notable, al ser en Madrid la temperatura máxima mayor que Santo Domingo (33°C vs 32°C) y sus humedades muy diferentes (39% en Madrid vs 85% Santo Domingo) generan notables diferencias en las variaciones de entalpia produciendo una demanda en Santo Domingo tres veces mayor que en Madrid para el caso de la refrigeración. Un segundo ejemplo destacado es siendo la temperatura máxima en Bilbao sensiblemente menor que en Madrid (26°C vs 33°C) pero muy diferentes en humedades relativas (77% en Bilbao vs 39% en Madrid) la potencia de refrigeración resulta mayor en Bilbao y por tanto la necesidad de mayor potencia en los equipos a instalar.

9.1.2 Definición de esquemas tecnológicos y su dimensionamiento

- Respecto a sistema geotérmico, en cuanto a su dimensionamiento es destacable como el factor de mayor importancia es la potencia necesaria. Y que a igualdad de potencia de refrigeración y calefacción, la longitud de intercambio precisa para cada requerimiento es habitualmente mayor para calefacción. Este hecho es fundamentalmente debido a la influencia de la temperatura media, a menor temperatura las diferencias del ciclo de calefacción y refrigeración serán menores en el de calefacción, lo que revierte en una mayor longitud de intercambio y viceversa si bien hay multitud de factores que finalmente influyen en la longitud del intercambiador requerido como el diámetro del tubo o la eficiencia de las bombas en los ciclos de refrigeración y calefacción.
- En cuanto al fotovoltaica, si bien su dimensionamiento se ha realizado de forma global para todo un año, por la simplificación de los cálculos el modo correcto hubiera sido en base a los consumos diarios o al menos mensuales de las bombas, si bien se advierte que los resultados que ofrece son óptimos, ya que si se dispone de la superficie precisa es capaz de generar una gran cantidad de energía a muy bajo coste.
- Respecto a la solar térmica de baja temperatura es destacable el hecho de que la introducción del agua precalentada ofrece resultados satisfactorios con respecto a la toma de agua a temperatura de la red, ya que se obtiene mejores aportes renovables, englobando los sistemas de geotermia y solar térmica de baja temperatura con respecto al uso aislado de los colectores solares con una menor inversión en esta tecnología (menor número de colectores), si bien la eficiencia de los mismos decrece en gran medida.

9.2 Conversiones a Energía primaria y CO₂

- En el Sistema 1 (geotermia + convencional), es muy notable la reducción del consumo de energía primaria. Lo cual se debe mayormente a que la tecnología geotérmica solo consume del sistema el consumo eléctrico de las BCG y la mayor parte de la transferencia de calor se realiza vía el subsuelo, como fuente infinita de intercambio. Por tanto, esta reducción de energía primaria es muy beneficiosa a nivel país para reducir los aportes necesarios de la matriz energética nacional (reducir generadoras, la factura de combustibles fósiles y la dependencia de las importaciones). Todo esto se completa con los buenos resultados obtenidos del análisis financiero que los cuales presentan unos ahorros de 50% a 65%, sumado a la reducción significativa de las emisiones de CO₂. La geotermia al tener un consumo prácticamente despreciable (en comparación con el aporte térmico y con la tecnología convencional) de energía eléctrica por tanto también refleja una muy notable reducción de emisión de CO₂. Lo cual pone de manifiesto las grandes ventajas ambientales que se suman a las financieras para la impulsión de la tecnología como una de las herramientas claves para la lucha contra el cambio climático hacia las climatizaciones en edificaciones.
- El Sistema 2 (geotermia+ solar FV +apoyo convencional) anula el mínimo consumo energético de las BCG resultando en un sistema de consumo cero y por tanto también de consumo de energía primaria cero y cero emisiones de CO₂. Este Sistema para la demanda de la climatización es el óptimo sobre todo para las edificaciones que estén buscando ser autosuficientes desde el punto de vista energético. Al ser en cualquier edificación el consumo de la climatización el de mayor proporción dentro de los distintos consumos energéticos, este esquema tecnológico es el que aportaría, en números totales, mayores ahorros.
- El Sistema 4(geotermia + solar FV + la solar térmica + apoyo convencional), si bien se ha comprobado que económicamente encarece los gastos anuales y por tanto no sería recomendable desde el punto de vista financiero, se concluye que desde el punto de vista ambiental si lo sería, ya que reduce la energía demandada al sistema de apoyo convencional y por lo tanto reduce todavía más la demanda de energía primaria y como consecuencia de esto el volumen de emisiones de CO₂ respecto al sistema 2.

9.3 Valoración financiera de las alternativas tecnológicas.

- Comparando los costos anualizados del servicio de climatización y ACS vía los cinco esquemas tecnológicos propuestos en las cuatro ciudades se destaca principalmente que la alternativa geotérmica es el esquema que mayor desmonte de costos provoca en comparación con la alternativa convencional (calderas y chillers). Queda de esta forma completamente claro que a la hora de seleccionar un esquema tecnológico si en lugar de valorar solo el costo inicial se pone en consideración los costos de operación durante la vida útil de la tecnología el sistema geotérmico presenta, hoy por hoy, una de las alternativas más económica y más recomendables del mercado para satisfacer las demandas de climatización y ACS.
- Optar por el esquema geotérmico dónde las bombas son alimentadas por energía producida por plantas fotovoltaicas es rentable económicamente. Esta rentabilidad es marginal, debido principalmente a la gran eficiencia de los sistemas geotérmicos y el escaso consumo de energía eléctrica de sus bombas, sumado al relativamente bajo costo de la energía eléctrica. Las plantas fotovoltaicas aportan energía (valorada en dinero) por el doble del costo que implica anualmente su inversión y O&M, así y todo la reducción financiera del sistema completo baja menos del 4%, respecto de lo serían los costos son con sistemas convencionales. Aclarando su peso relativo la inclusión del sistema fotovoltaico es por tanto también recomendable.
- Al respecto de la configuración incluyendo tecnología Solar Térmica para el ACS, se han analizado los esquemas tomando el agua precalentada a 45 °C y tomando directamente el agua a la temperatura ambiente. En ambos casos los costos anualizados aumentan respecto de los esquemas sin la utilización de la tecnología Solar Térmica, aportando más gastos fruto de la inversión y el O&M que los ahorros provocados en los consumos del sistema geotérmico. Esto se debe fundamentalmente al alto rendimiento del sistema geotérmico. Por tanto se desaconseja “hibridar”, en el caso del estudio, la tecnología geotérmica con la solar térmica ya que provoca aumentos de los gastos anuales.
- Tomando las conclusiones del punto anterior sobre la hibridación con tecnologías Solares Térmicas, se desprender que la alternativa tecnológica de Geotérmica + FV+ Solar Térmica por tendría costos superiores, para el caso de estudio, que la alternativa Geotérmica + FV, por tanto se desaconseja desde el punto de vista financiero el esquema que convine todas las alternativas vistas de Geotérmica + apoyo convencional + FV + Solar Térmica.

9.4 Futuros pasos sugeridos

En vista de que los resultados obtenidos fruto de modelar el uso de la tecnología geotérmica en las cuatro localizaciones, han sido muy promisorios, tanto desde el punto de vista financiero para inversores como desde el punto de vista ambiental al reducir muy considerablemente el consumo de energía primaria y las emisiones de CO₂, y considerando que el presente estudio tiene un alcance a nivel de perfil o pre factibilidad, se aconseja por tanto dar el paso a la siguiente etapa de profundización para que dicho estudio pueda servir de herramienta a agentes tomadores de decisiones (tales como inversores, instituciones públicas, clientes, etc.) al respecto de la divulgación de la energía geotérmica. La continuación del presente estudio debería por lo menos abarcar los siguientes análisis:

- Obtenciones reales de cotización por empresas especialistas en sondeos y Epecistas geotérmicos, que contengan el diseño de la ingeniería base tal cual se construiría en un proyecto real.
- Análisis de costos reales de sistemas geotérmicos funcionando que se tomen de referencia. Se debe incluir sus consumos registrados y el O&M real.
- Definición de las condiciones del terreno y espacio requerido por el sondeo para conocer los parámetros que debe reunir un proyecto (existente o nuevo) para permitir el uso de la tecnología geotérmica.
- Cálculo preciso de la demanda energética del edificio en concreto.
- Introducción de los factores de eficiencia de las bombas en función de las distintas cargas de trabajo y temperaturas exteriores para el cálculo de su consumo energético.
- Definición y ejecución de un estudio TRT que ofrezca datos reales sobre las capacidades térmicas del terreno y el impacto que puede tener el intercambio de energía en el mismo.
- Estudiar el caso de los pilotes geotérmicos y los sondeos por debajo de zonas construidas para definir las capacidades que se podría instalar en zonas densamente pobladas.

10 REFERENCIAS

Documentos

ASEPEYO (Jaime Acle Olivo) - Memorias de consumos energéticos de tres hospitales en la Comunidad de Madrid

Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de mayo de 2010, relativa a la eficiencia energética de los edificios Directiva 2002/91/CE.

Documento Básico de Ahorro de Energía del Código Técnico de Edificación (CTE DB HE) Oficina Nacional de Meteorología (ONAMET).

Departamento de Sanidad del Gobierno Vasco - Memoria del consumo energético de un hospital en Vizcaya.

Folleto comercial y manual de la bomba de calor geotérmica de grandes potencias SWP.

Informe interno sobre la sustitución con Energía geotérmica de baja entalpia en Hospitales. Octubre 2012. IDAE.

Instituto geológico y minero de España (IGME).

IDAE Guia_tecnica_diseno_de_sistemas_de_intercambio_geotermico_de_circuito_cerrado, 2012.

IDAE Manual_Geotermia_A2008.

IDAE: Software CHEQ4.

INEGA: Instituto Enerxetico de Galicia.

IEA PVPS TRENDS 2015 IN PHOTOVOLTAIC APPLICATIONS.

Manual Técnico Básico del 2010, del Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios (RITE).

Master Ejecutivo en EERR de la Escuela de Organización Industrial (EOI), Programa online 2015/2016 - Apuntes del módulo de Energía Geotérmica.

Presupuestos facilitados por las empresas Intragas Climatización de Ponferrada y el Centro de Geotermia y Control de Almería.

Real Decreto 314/2006 de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación (CTE).

Webs

Base de datos climáticos www.weatherbase.com

Carta Psicométrica www.sc.ehu.es/nmwmigaj/CartaPsy.htm

Base de datos de temperaturas www.temperatureweather.com

Metodología grados días www.degreedays.net