

**MÁSTER UNIVERSITARIO EN
INGENIERÍA EN TECNOLOGÍA INDUSTRIAL**

TRABAJO FIN DE MÁSTER

***VIABILIDAD DE BOMBA DE CALOR
DUALAEROTÉRMICA-GEOTÉRMICA PARA LAS
CONDICIONES CLIMÁTICAS DE EUSKADI***

Alumno/Alumna	<i>Fernandez de Gamboa, Ispizua, Jon</i>
Director/Directora	<i>Flores, Abascal, Iván</i>
Departamento	Máquinas y Motores Térmicos
Curso académico	2017-2018

Bilbao, 24, septiembre, 2018

Resumen Trilingüe

Honako lan hau etxebizitza baterako aerotermiko-geotermiko bero ponpa dual baten bideragarritasunari buruzkoa da. Etxebizitza honen berogailu eta ur bero sanitariorako bero sorkuntza sistemaren simulazioan oinarrituta dago urte oso baterako Euskal Autonomi Erkidegoko hiru klima nabarmenetan; hau da, klima atlantikoa, barnealdeko klima mediterraniarra eta hauen tarteko trantzizioko zonalde klimatiko bat. Simulazioak bai bero ponpa aerotermikoarekin bai geotermikoarekin egingo dira, ondoren bero ponpa dualaren jokaera kalkulatzeko. Sistema dual honen helburua instalazioaren errendimendua hobetzea eta, beraz, operazioko gastuak murriztea da, modu honetan aurrezketa lortuz hasierako inbertsioa handiagoa bada ere.

Hitz gakoak: bero ponpa, aerotermia, geotermia, duala.

El presente trabajo trata sobre la viabilidad de una bomba de calor dual aerotérmica-geotérmica para un edificio residencial apoyándose en las simulaciones del sistema de generación de calor para calefacción y ACS de dicho edificio durante un año en los tres climas más significativos de la Comunidad Autónoma del País Vasco; esto es, clima atlántico, clima mediterráneo interior y una zona climática de transición entre ambas. Las simulaciones se realizarán tanto con bomba de calor aerotérmica como geotérmica para finalmente calcular el comportamiento para la bomba de calor dual. El objetivo de dicho sistema dual es el de mejorar el rendimiento de la instalación y por lo tanto reducir gastos de operación, obteniendo de esta forma un ahorro pese a la mayor inversión inicial.

Palabras clave: bomba de calor, geotermia, aerotermia, dual.

This work is about the viability of an arothermal-geothermal dual heat pump for a residential building based on the simulations of the heat generation system for heating and hot water of that building during a year on the three most significant climates of the Basque Autonomous Community; that is, atlantic climate, mediterranean climate and a transitional climatic zone between them. The simulations will be held both with arothermal heat pump and geothermal heat pump to finally calculate the behavior for the dual heat pump. The objective of this dual system is to improve the efficiency of the installation and thus, reduce operation costs, obtaining this way savings in spite of the higher initial investment.

Key words: heat pump, geothermal, arothermal, dual.

Índice

Resumen Trilingüe	1
Índice.....	2
Lista de Tablas, Ilustraciones, Gráficas, Diagramas y Acrónimos	4
MEMORIA	7
1. Introducción	7
2. Objetivos y Alcance del Trabajo	8
3. Beneficios que Aporta el Trabajo	9
4. Análisis del Estado del Arte	9
4.1. Sistemas de bomba de calor por compresión del vapor	10
4.2. Bomba de calor reversible.....	13
4.3. Fuentes de calor.....	15
4.3.1. Aerotermia	15
4.3.2. Geotermia.....	16
5. Datos de Partida	18
5.1. Climatología de la CAPV	18
5.2. Descripción del Edificio.....	19
6. Alternativas a Analizar.....	20
6.1. Sistema de Generación Geotérmico	20
6.2. Sistema de Generación Aerotérmico	26
6.3. Sistema de Generación Dual Geotérmico-Aerotérmico	27
METODOLOGÍA.....	28
1. Descripción de Tareas.....	28
2. Diagrama de Gantt.....	29
3. Cálculos	30
3.1. Geotermia	30
3.2. Aerotermia.....	30

3.3. Dual	33
4. Descripción de los Resultados	33
ASPECTOS ECONÓMICOS	42
1. Análisis de Rentabilidad	42
2. Presupuesto Ejecutado	44
CONCLUSIONES	47
BIBLIOGRAFÍA	49
ANEXOS	51
Anexo I: Catálogo de la Bomba de Calor Geotérmica AERMEC WRL200H	51
Anexo II: Catálogo de la Bomba de Calor Aerotérmica Deron DE-180W/D	59
Anexo III: Catálogo de la Caldera de Condensación Vaillant ecoCRAFTexclusiv VKK1206/3E	62

Lista de Tablas, Ilustraciones, Gráficas, Diagramas y Acrónimos

Tablas

Tabla 1: Distribución de superficies útiles.....	19
Tabla 2: Transmitancia de los cerramientos	20
Tabla 3: Características nominales bomba de calor agua-agua WRL200H	22
Tabla 4: Características nominales de la caldera instalada.....	23
Tabla 5: Características nominales bomba de calor agua-agua WRL200H	26
Tabla 6: Precios electricidad y gas natural	33
Tabla 7: Datos energéticos de las bombas de calor aerotérmica y geotérmica	39
Tabla 8: Datos energéticos de la caldera para bombas de calor aerotérmica y geotérmica	39
Tabla 9: Costes de operación de las bombas de calor aerotérmica y geotérmica.....	40
Tabla 10: Datos energéticos del sistema dual.....	40
Tabla 11: Datos económicos del sistema dual	41
Tabla 12: Costes de operación anuales de los sistemas y climas analizados	42
Tabla 13: Costes unitarios de las inversiones en instalación	43
Tabla 14: Presupuestos totales anuales por sistemas y climas.....	43
Tabla 15: Costes unitarios de los materiales amortizables	44
Tabla 16: Gasto en bienes fungibles.....	44
Tabla 17: Coste de los medios materiales.....	45
Tabla 18: Grupo de trabajo	45
Tabla 19: Presupuesto ejecutado de medios humanos según tareas.....	46
Tabla 20: Resumen del presupuesto ejecutado	46

Ilustraciones

Ilustración 1: Ciclo Carnot de refrigeración (Moran, M.J.; Saphiro, H.N., 1999).....	10
Ilustración 2: Sistema de bomba de calor por compresión del vapor (Moran, M.J.; Saphiro, H.N., 1999).....	11
Ilustración 3: Diagrama T-s del ciclo ideal de bomba de calor por compresión del vapor (Moran, M.J.; Saphiro, H.N., 1999)	12

Ilustración 4: Diagrama T-s del ciclo real de bomba de calor por compresión del vapor (Moran, M.J.; Saphiro, H.N., 1999)	13
Ilustración 5: Bomba de calor reversible (Moran, M.J.; Saphiro, H.N., 1999).....	14
Ilustración 6: Componentes de una bomba de calor reversible	14
Ilustración 7: Unidad interior (arriba) y exterior (abajo) de un aire acondicionado	15
Ilustración 8: Captador geotérmico horizontal	17
Ilustración 9: Captador geotérmico vertical.....	18
Ilustración 10: Zonas Climáticas de la CAPV (Euskalmet).....	19
Ilustración 11: Edificio sobre el que se basa el estudio.....	20
Ilustración 12: Esquema de intercambio geotérmico	21
Ilustración 13: Bomba de calor agua-agua WRL200H de AERMEC	22
Ilustración 14: Caldera VAILLANT ecoCRAFTexclusiv VKK1206/3E	23
Ilustración 15: Circuito de demanda actualmente instalado	24
Ilustración 16: Instalación de calefacción de suelo radiante	25
Ilustración 17: Bomba de calor aire-agua DERON DE-180W/D.....	26
Ilustración 18: Circuito de la instalación con bomba de calor dual	27
Ilustración 19: Simulación con bomba de calor geotérmica	31
Ilustración 20: Simulación con bomba de calor aerotérmica.....	32

Gráficas

Gráfica 1: Simulación geotermia para clima atlántico	34
Gráfica 2: Simulación geotermia para clima mediterráneo	34
Gráfica 3: Simulación geotermia para clima de transición.....	35
Gráfica 4: Simulación aerotermia para clima atlántico	35
Gráfica 5: Simulación aerotermia para clima mediterráneo.....	36
Gráfica 6: Simulación aerotermia para clima de transición	36
Gráfica 7: Aportes diarios de la bomba de calor aerotérmica y caldera en el clima atlántico	38

Diagramas

Diagrama 1: Diagrama de Gantt.....	29
------------------------------------	----

Acrónimos

ACS	Agua Caliente Sanitaria
CAPV	Comunidad Autónoma del País Vasco
CTE	Código Técnico de Edificación
COP	Coefficient Of Performance
DB-HE	Documento Básico de Ahorro de Energía
PCI	Poder Calorífico Inferior
RT	Refrigeration Ton

MEMORIA

1. Introducción

En la sociedad actual, el ahorro de energía está adquiriendo cada vez mayor importancia, así como la optimización de los recursos energéticos disponibles. Esto se da en gran medida debido a la creciente concienciación entorno a los problemas medioambientales que nos acechan, como el cambio climático y el efecto invernadero. Pero también dada la comprensión cada vez más extendida de que los recursos mayoritariamente utilizados para producir energía son finitos y que no es sostenible a largo plazo el modelo de producción que sigue la humanidad.

Por ello, se está aumentando la apuesta en favor de las energías renovables. Ligado a ello resultaría necesario considerar el objeto de estudio del presente trabajo: las bombas de calor. Se trata de máquinas que nos permiten aportar o extraer calor de un ambiente de forma limpia y sin emisiones directas más allá de las generadas en la producción de la energía eléctrica consumida (por ello la idea de que debe ir de la mano de medios de producción eléctricos renovables).

Con las bombas de calor se obtiene un aporte o extracción de energía calorífica gracias al calor acumulado en el medio que se utilice como foco: aire, tierra, agua, etc. Son fuentes de calor limpias y renovables que además están muy equilibradamente repartidas a diferencia de otras fuentes renovables como el viento. En este trabajo, se analizará el comportamiento de dos tipos de bombas de calor en las condiciones climáticas de la CAPV: las geotérmicas, que utilizan como foco la corteza terrestre; y las aerotérmicas, las cuales hacen uso del aire del ambiente.

Las bombas de calor geotérmicas presentan en principio frente a las aerotérmicas la ventaja de que la temperatura del foco utilizado es muy constante a lo largo del año, permitiendo a la bomba funcionar sin grandes variaciones. En cambio, requieren de una instalación mucho más costosa y para extraer calor de la corteza terrestre se debe utilizar un fluido intermedio que lleve dicha energía a la bomba de calor, mientras que en las aerotérmicas es directamente el foco, el aire ambiente, el que transcurre por el evaporador.

Ambos tipos de bombas de calor tienen sus ventajas y sus inconvenientes, y es por eso que este trabajo tratará de analizar el funcionamiento y la viabilidad de un sistema que integre ambas, seleccionando en cada instante la que mejores prestaciones vaya a aportar. En definitiva, un sistema dual aerotermia-geotermia que trate de sacar partido de los aspectos positivos de cada tecnología para un mejor aprovechamiento de la energía consumida.

2. Objetivos y Alcance del Trabajo

En este apartado se describirán los objetivos que persigue este trabajo y los pasos que se seguirán para su consecución. También se tratará de delimitar hasta qué punto se llegará para dicha consecución de objetivos, esto es, en que grado se profundizará en el estudio de los aspectos a analizar.

Tal y como se desprende del título del documento, el objetivo principal de este trabajo es el de analizar la viabilidad de una bomba de calor aerotérmica-geotérmica para la producción de ACS y calefacción en un edificio residencial para las condiciones climáticas de la CAPV. En concreto, se estudiará la factibilidad para los climas atlántico, mediterráneo interior y una última zona de transición entre ambas, las cuales son las tres zonas climatológicas en las que se suele dividir el País Vasco.

Para ello se realizarán simulaciones del comportamiento del sistema de calefacción y ACS de un edificio mediante el software TRNSYS de simulación dinámica de comportamientos de sistemas. Dicho sistema contará con una bomba de calor y una caldera auxiliar para la producción de calor necesaria para ACS y calefacción. Se realizarán simulaciones del sistema contando primeramente con una bomba de calor geotérmica y posteriormente se realizará el mismo ejercicio, pero con una bomba de calor aerotérmica. De esta manera, se obtendrán los datos energéticos de ambos casos durante un año completo.

Estos datos deberán traducirse posteriormente a términos monetarios para conocer el coste que supone cada una de las alternativas para los distintos climas. A continuación, se realizará según los criterios de eficiencia energética por un lado y según los de ahorro económico por otro, la selección de la bomba de calor que debe funcionar en cada hora de dicho año simulado con lo que obtendríamos los datos energéticos y económicos correspondientes a la bomba de calor dual. Esta última instalación dual contaría tanto con la bomba de calor geotérmica como la aerotérmica y su sistema de control seleccionaría la bomba de calor a ser utilizada en cada instante dependiendo de las condiciones que se den.

Finalmente, teniendo en cuenta los costes de instalación y de operación de las alternativas analizadas en cada uno de los climas se estimará un coste anual para todos ellos y se obtendrá de ello un análisis de rentabilidad para concluir cuál es el sistema más adecuado para cada caso.

El presente trabajo se circunscribirá únicamente al análisis energético y económico de cada uno de los sistemas, sin entrar en profundidad en cuestiones referidas al diseño concreto de dicho sistema dual. Los análisis económicos que se realicen serán una aproximación a la realidad sin entrar al detalle de los costes de cada componente instalado, sino que se realizará una estimación en función de la capacidad de la instalación.

3. Beneficios que Aporta el Trabajo

El análisis a realizar en este trabajo permitirá conocer los consumos energéticos estimados de sistemas diversos de bomba de calor (geotérmico, aerotérmico y dual) para la producción de ACS y calefacción en edificios residenciales en las tres zonas climáticas existentes en la CAPV (atlántica, mediterránea y de transición). También se conocerán los gastos económicos que supone cada uno y por lo tanto permitirá decidir cuál es el sistema más idóneo (económica y energéticamente) para cada uno de los climas.

Por tanto, este trabajo puede resultar beneficioso para, en futuras construcciones o remodelaciones de edificios residenciales, ayudar a seleccionar de manera correcta el sistema de bomba de calor a instalar de forma que se dé un mejor funcionamiento y un ahorro de energía y capital. En este sentido, un mayor conocimiento acerca de las bombas de calor puede ocasionar que se aumenten las instalaciones que cuenten con una de estas, contribuyendo a una disminución de emisiones por combustión de gas natural a las que sustituirían. Eso sí, siempre que se apueste a su vez por energías limpias y renovables puesto que de otra manera tan solo estaríamos trasladando dichas emisiones de las calderas de los hogares a los centros de producción de energía eléctrica que abastecen a estos.

4. Análisis del Estado del Arte

El objetivo de una bomba de calor es mantener la temperatura de una vivienda u otro tipo de edificio por encima de la temperatura ambiente o aportar calor a procesos industriales que tienen lugar a altas temperaturas. Estos equipos extraen calor de un foco frío con temperatura T_c a través de un evaporador e inyectan una cantidad de calor mayor a un foco caliente mediante un condensador. Los ciclos termodinámicos de bomba de calor y refrigeración son exactamente los mismos, la única diferencia reside en qué transferencia de calor es el objetivo del ciclo: el calor que se extrae del foco frío (refrigeración) o el calor que se inyecta al foco caliente (bomba de calor).

Existe una gran variedad de bombas de calor, pudiendo clasificarse de diferentes maneras.

Según el proceso podemos considerar dos tipos de equipos:

- De Impulsión Mecánica.
- De accionamiento Térmico (Bombas de Calor por Absorción).

Según la naturaleza del foco frío y foco caliente, esto es, de qué elemento extrae calor el evaporador y a qué elemento inyecta calor el condensador, pueden clasificarse como:

- Agua-Aire.
- Agua-Agua.
- Aire-Aire.

- Aire-Agua.
- Tierra-Aire.
- Tierra-Agua.

Según su modo de construcción:

- Compactas. Todos los elementos están dentro de la misma carcasa.
- Split o partidas. Formadas por dos unidades separadas.
- Multi-Split. Constituidas por una unidad exterior y varias interiores.

En cuanto a su funcionamiento:

- Reversibles. Pueden funcionar tanto en ciclo de refrigeración como de calefacción.
- No Reversibles. Únicamente funcionan en ciclo de calefacción.
- Termofrigobombas. Se aprovecha tanto la producción frigorífica como la de calefacción.

Las bombas de calor más habituales en el mercado son las de ciclo de compresión mecánica, aire-aire y reversibles. Durante este trabajo tan solo se considerarán las bombas de calor de impulsión mecánica.

4.1. Sistemas de bomba de calor por compresión del vapor

El ciclo de refrigeración de Carnot, el cual se consigue invirtiendo el sentido del ciclo de potencia de Carnot, es el ciclo básico de la refrigeración y, por lo tanto, de las bombas de calor. Lo componen un evaporador, un compresor, un condensador y una turbina.

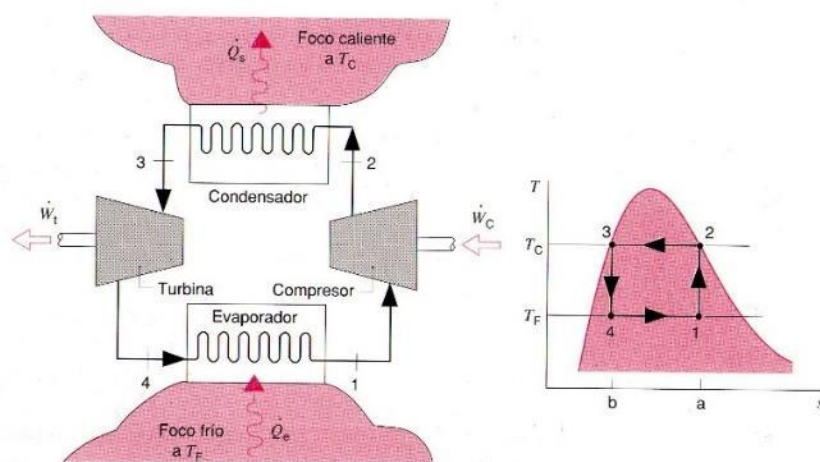


Ilustración 1: Ciclo Carnot de refrigeración (Moran, M.J.; Saphiro, H.N., 1999)

El coeficiente de rendimiento o COP de este ciclo, es el máximo de cualquier ciclo de bomba de calor que trabaja entre zonas a temperaturas T_C y T_H :

$$COP_{max} = \frac{\dot{Q}_{out}/\dot{m}}{\dot{W}_c/\dot{m} - \dot{W}_t/\dot{m}} = \frac{\text{área}(2,a,b,3,2)}{\text{área}(1,2,3,4,1)} = \frac{T_H(s_a - s_b)}{(T_H - T_C)(s_a - s_b)} = \frac{T_H}{T_H - T_C}$$

Siguiendo esta ecuación, cuanto menor sea la temperatura del foco frío, T_C , menor será el coeficiente de trabajo de la bomba de calor. Los sistemas reales de bomba de calor, en general, presentan esta misma característica; por ello, cuando el papel de foco frío lo constituye la atmósfera local, son necesarios sistemas auxiliares de calentamiento en días donde la temperatura ambiente es muy baja.

En los sistemas reales se dan ciertas desviaciones con respecto al ciclo de Carnot. Así, se obtiene el denominado sistema de bomba de calor por compresión del vapor, el sistema más utilizado en la actualidad. Analizando los diferentes elementos en él presentes:

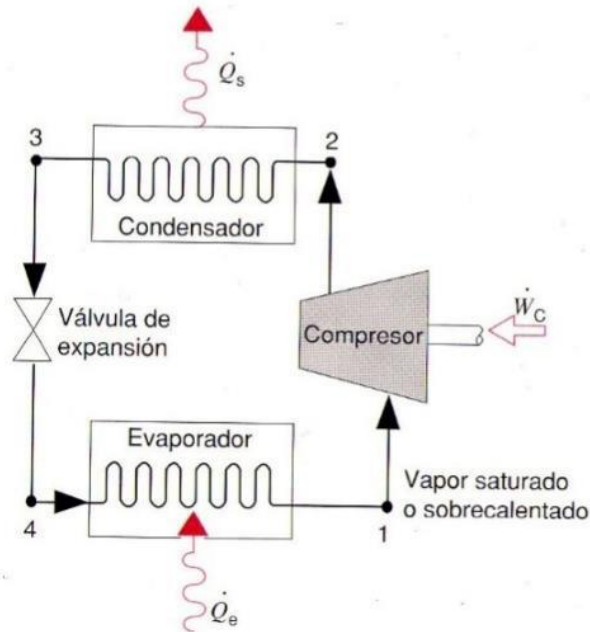


Ilustración 2: Sistema de bomba de calor por compresión del vapor (Moran, M.J.; Saphiro, H.N., 1999)

1. **Evaporador:** Al transcurrir el refrigerante por él, se evapora a consecuencia de la transferencia de calor desde el foco frío. Para conseguir una transferencia de calor suficiente entre el foco frío y el refrigerante, la temperatura del refrigerante en el interior del evaporador deberá ser algunos grados menor que la del foco frío (T_c'). La expresión de la transferencia de calor:

$$\frac{\dot{Q}_{evap}}{\dot{m}} = h_1 - h_4$$

2. **Compresor:** comprime el refrigerante que sale del evaporador hasta presiones y temperaturas relativamente altas. El compresor trabaja tan solo con vapor, realiza una compresión seca. Suponiendo que no existen transferencias de calor en él:

$$\frac{\dot{W}_c}{\dot{m}} = h_2 - h_1$$

3. **Condensador:** El refrigerante se condensa y ocurre una transferencia de calor desde éste al foco caliente. Para mantener la temperatura T_H del foco caliente con un condensador de un tamaño manejable, la temperatura del refrigerante dentro del condensador, deberá ser algunos grados mayor que la del foco caliente (T_H').

$$\frac{\dot{Q}_{cond}}{\dot{m}} = h_2 - h_3$$

4. **Válvula de Expansión:** La expansión produce una cantidad de trabajo relativamente baja en comparación con la aportada en la compresión. El conseguido por una turbina real sería todavía menor por lo que se renuncia a dicho trabajo instalando en lugar de la turbina una válvula de expansión simple. El refrigerante se expande hasta la presión del evaporador. Se suele modelar como un proceso de estrangulamiento donde disminuye la presión en una expansión adiabática irreversible y aumenta la entropía.

$$h_4 = h_3$$

De esta manera, el coeficiente de trabajo resulta en:

$$\gamma = \frac{\dot{Q}_{cond}/\dot{m}}{\dot{W}_C/\dot{m}} = \frac{h_2 - h_3}{h_2 - h_1}$$

Es interesante analizar el ciclo ideal de bomba de calor por compresión del vapor puesto que este establece un límite superior a la operación de este. Si dejamos de lado las irreversibilidades internas del evaporador y del condensador, no hay caídas de presión causadas por fricción y el refrigerante transcurre a presión constante a través de ambos intercambiadores de calor. También se considerará que la compresión ocurre sin irreversibilidades y sin transferencias de calor con el entorno, por lo que el proceso de compresión será isoentrópico.

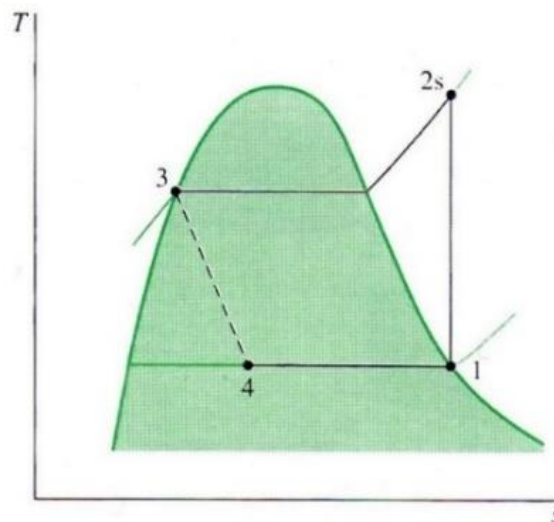


Ilustración 3: Diagrama T-s del ciclo ideal de bomba de calor por compresión del vapor (Moran, M.J.; Saphiro, H.N., 1999)

En el ciclo real las transferencias de calor entre el refrigerante y los focos frío y caliente no ocurren de forma reversible: la temperatura del refrigerante en el evaporador es menor que la del foco frío mientras que la temperatura de éste en el condensador es mayor que la del foco caliente. De esta manera el coeficiente de trabajo se ve disminuido.

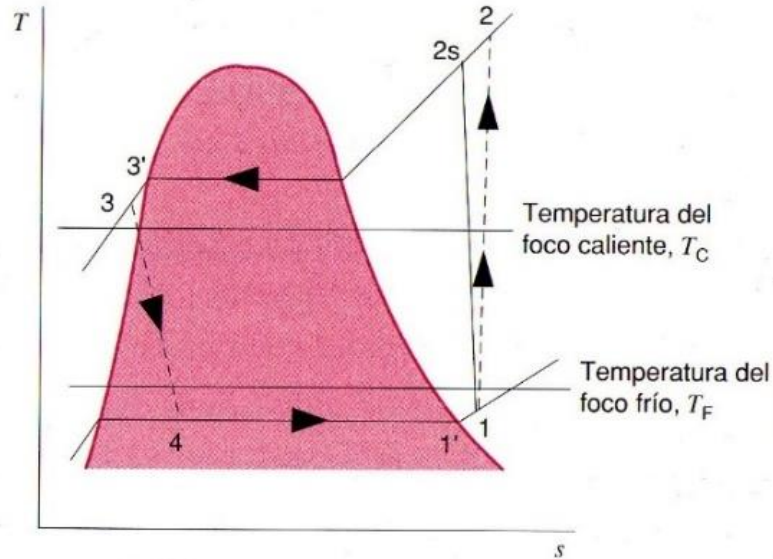


Ilustración 4: Diagrama T-s del ciclo real de bomba de calor por compresión del vapor (Moran, M.J.; Saphiro, H.N., 1999)

Además, se dan irreversibilidades en la compresión, caracterizadas mediante el rendimiento isoentrópico del compresor:

$$\eta_c = \frac{(\dot{W}_c/\dot{m})_s}{(\dot{W}_c/\dot{m})} = \frac{h_{2s} - h_1}{h_2 - h_1}$$

Por otro lado, también se da una situación de vapor sobrecalentado a la salida del evaporador y otra de líquido subenfriado a la salida del condensador. Finalmente, se da otro fenómeno que no está reflejado en el diagrama T-s anterior y este es la pérdida de presión del refrigerante en el evaporador, condensador y las tuberías del sistema.

4.2. Bomba de calor reversible

Tal como se ha mencionado anteriormente, las bombas de calor reversibles, pueden funcionar tanto en ciclo de refrigeración como de calefacción. Esto se consigue gracias a una válvula reversible (válvula de 4 vías). Si se quiere utilizar la bomba de calor como aire acondicionado, tan solo habría que accionar dicha válvula invirtiendo el flujo del refrigerante tal como puede verse en la siguiente imagen:

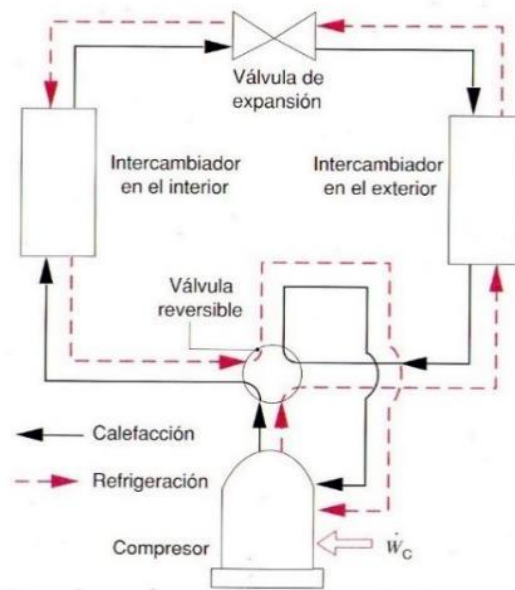


Ilustración 5: Bomba de calor reversible (Moran, M.J.; Saphiro, H.N., 1999)

De esta manera, al refrigerar el intercambiador de calor exterior actuará como condensador y el interior como evaporador.

Además de la válvula de 4 vías, también serán necesario que cumplan lo siguiente:

- Sistema de expansión que funcione en ambos sentidos. En instalaciones pequeñas que realizan la expansión mediante tubo capilar esto no presenta problema alguno. En grandes instalaciones se realiza con sistemas controlados termostáticamente.
- Existirá un depósito de acumulación entre la válvula inversora y la aspiración del compresor para que no llegue refrigerante líquido al compresor.

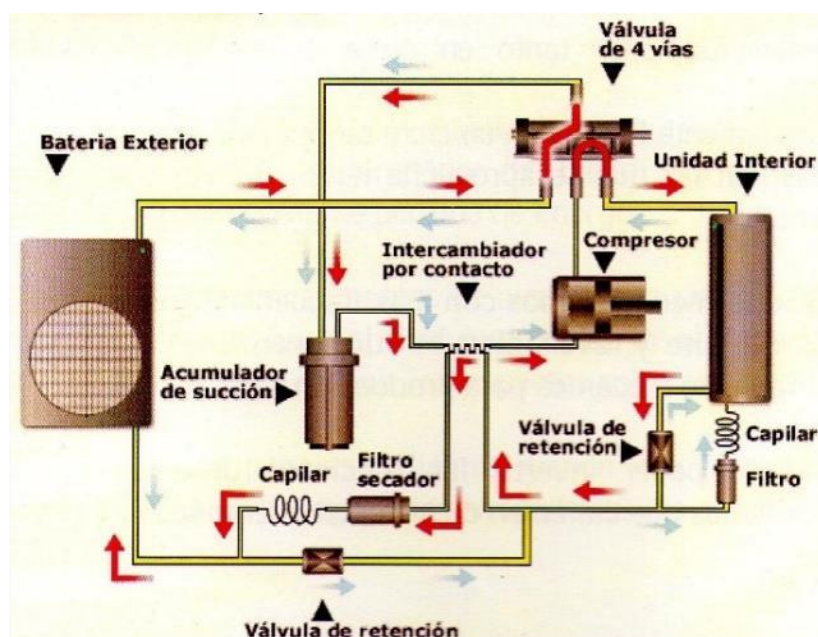


Ilustración 6: Componentes de una bomba de calor reversible

Por lo tanto, aunque la instalación y operación de una bomba de calor puedan resultar más caras que otros sistemas de calentamiento, pueden resultar competitivas si tenemos en cuenta el potencial de doble uso.

4.3. Fuentes de calor

Existen muchas fuentes disponibles para la transferencia de calor hacia el refrigerante que pasa por el evaporador. Entre ellos están el aire, la tierra o el agua de lagos, ríos o pozos. También puede utilizarse como fuente de calor líquido que después de calentarse en un captador solar se acumula en un depósito aislado. Las bombas de calor industriales utilizan el calor residual o corrientes de líquido o gas caliente, siendo capaces de obtener en el condensador temperaturas relativamente altas, adecuadas para ser utilizadas en radiadores de baja temperatura, suelo radiante o fan coils.

En el presente trabajo se analizarán las bombas de calor que utilizan como foco frío el aire (aerotérmicas) y las que utilizan la corteza terrestre (geotérmicas).

4.3.1. Aerotermia

Pueden distinguirse dos tipos de bombas de calor aerotérmicas:

- **Aire-aire:** Es el sistema más común, formando parte de equipos como aires acondicionados. Obtiene la energía latente del ambiente y la libera en el mismo. Como puntos negativos tienen el no ser capaces de producir agua caliente sanitaria y la generación de corrientes, las cuales pueden ser molestas en ocasiones. Suele contar con una unidad exterior con el condensador, compresor y válvula de expansión y otra interior con el evaporador:



Ilustración 7: Unidad interior (arriba) y exterior (abajo) de un aire acondicionado

- **Aire-agua:** Se trata de un sistema que está ganando popularidad en los últimos años. Extrae el calor del aire exterior transfiriendo la energía calorífica al sistema de calefacción y al depósito de agua caliente sanitaria. Tan solo necesitan de la conexión al circuito de calefacción para ser instaladas y suelen instalarse junto con paneles solares y/o calderas de condensación.

La capacidad de generación de calor de las bombas de calor aerotérmicas depende de la temperatura ambiente, la cual es bastante cambiante. A medida que está temperatura disminuye, la capacidad de la bomba de calor de absorber calor también cae. Por ello suelen ser necesarios sistemas auxiliares de calentamiento para los días en los que la temperatura cae mucho. Una de las mayores ventajas de estos sistemas es el ahorro energético que aporta en comparación con los sistemas de calefacción convencionales; mediante un suelo radiante puede llegar a conseguirse en torno al 60-75% de ahorro en el consumo. En los últimos años han llegado a fabricarse bombas de calor aerotérmicas de hasta 700kW de potencia nominal.

Si la temperatura exterior baja cerca o por debajo de la temperatura de congelación cuando la bomba de calor está operando en el modo calefacción, la humedad del aire que pasa por el evaporador se condensará y posteriormente congelará creando escarcha. Esta acumulación de escarcha, disminuye la eficiencia del intercambiador de calor disminuyendo su capacidad de transferir calor al refrigerante. Por lo tanto, la escarcha debe removerse y para ello se utiliza el ciclo de desescarche. Primero, la válvula de cuatro vías revertirá el ciclo como si quisiéramos refrigerar la vivienda. Esto envía gas caliente al intercambiador exterior para derretir la escarcha. Al mismo tiempo, se apaga el ventilador exterior para disminuir la disipación de calor y derretir a escarcha antes.

4.3.2. Geotermia

Las bombas de calor geotérmicas extraen calor de la corteza terrestre para su funcionamiento. Son sustancialmente más eficientes energéticamente que las aerotérmicas porque aprovechan de las temperaturas relativamente constantes de la tierra, mucho más uniformes que la temperatura ambiente. Este hecho, puede llegar a reducir el consumo energético aproximadamente entre un 25% y un 50% comparada con bombas de calor con aire como fuente de calor. También son más silenciosas, tienen una vida más larga y necesitan de poco mantenimiento. Con esta tecnología se han conseguido potencias nominales mayores que con la aerotermia, del orden de 1.300kW.

La instalación consta de dos partes: un circuito de bombeo subterráneo y una unidad de bomba de calor dentro de la vivienda. El sistema de bombeo puede ser de ciclo abierto o cerrado:

- **Ciclo abierto:** Aprovecha el calor retenido en un cuerpo de agua subterráneo. El agua se bombea directamente al evaporador de la bomba de calor donde se le extrae calor. Después, el agua se descarga a un cuerpo de agua bajo tierra, como un arroyo o pozo o de vuelta al mismo cuerpo mediante un pozo separado.

- **Ciclo cerrado:** Recogen el calor de la tierra usando un ciclo continuo de bombeo enterrado bajo tierra. Puede usarse como fluido de trabajo en este ciclo tanto agua como una solución anticongelante (o refrigerante en el caso de sistemas de expansión directa).

El caso más habitual entre estas dos alternativas expuestas se trata del de ciclo cerrado. En ellos, los captadores geotérmicos pueden estar dispuestos tanto verticalmente como horizontalmente:

- **Horizontal:** En este caso, el captador es enterrado horizontalmente a una profundidad de entre 1,5 y 2 metros. Se suele necesitar aproximadamente dos veces la superficie calefactada en la vivienda y el terreno queda condicionado ya que no se pueden colocar árboles, arbustos o viviendas sobre el captador puesto que esto afectaría a su rendimiento. Ofrece peor rendimiento estacional que la captación vertical, sobre todo causado por la temperatura más variable que se da a tan escasa profundidad en el terreno.



Ilustración 8: Captador geotérmico horizontal

- **Vertical:** Se trata del sistema de captación más extendido, aunque también el menos económico. Se realizan perforaciones verticales de hasta 150 metros y en el interior se introduce una sonda geotérmica. Para asegurar el perfecto contacto entre los tubos y el terreno, el espacio entre las sondas y las perforaciones se rellena con un material altamente conductor. A estas profundidades la temperatura del terreno es mucho más estable durante todo el año por lo que el punto de funcionamiento de la bomba de calor variará mucho menos. Además, requieren de poco espacio y la superficie superior puede ser utilizada para edificaciones.



Ilustración 9: Captador geotérmico vertical

A diferencia de las bombas de calor aerotérmicas, las geotérmicas no necesitan de ciclo de desescarche. Las temperaturas subterráneas son mucho más estables que las ambientales y la bomba de calor está situada en el interior de la vivienda, por lo que el problema de la escarcha no aparece.

5. Datos de Partida

5.1. Climatología de la CAPV

Atendiendo a la climatología, la Comunidad Autónoma del País Vasco puede dividirse en tres zonas climáticas (Euskalmet):

- **La vertiente atlántica:** Comprende las provincias de Bizkaia y Gipuzkoa, así como el norte de Araba. Presenta un clima de temperaturas moderadas y muy lluvioso denominado Clima Atlántico. El océano Atlántico ejerce una gran influencia, provocando que las variaciones de temperatura entre día y noche o invierno y verano sean poco acusadas. Debido a la orografía las precipitaciones anuales se sitúan entre 1.200mm y más de 2.000mm.
- **El sur:** En la zona de la Rioja Alavesa encontramos un clima con verano seco y caluroso e invierno frío y de escasas precipitaciones denominado Mediterráneo de interior o Continental mediterráneo. Las oscilaciones térmicas estacionales son importantes, en verano se superan los 22°C de temperatura media algunos meses y en invierno las bajas temperaturas causan heladas y nieblas. Las medias pluviométricas mensuales suelen ser escasas, menores a 50mm y bastante constantes.
- **La zona media:** Se trata de una zona de transición entre los dos anteriores climas donde predominan las características atlánticas. Ocupa gran parte de Araba (Valles Occidentales, Llanada Alavesa, Treviño y Montaña Alavesa).

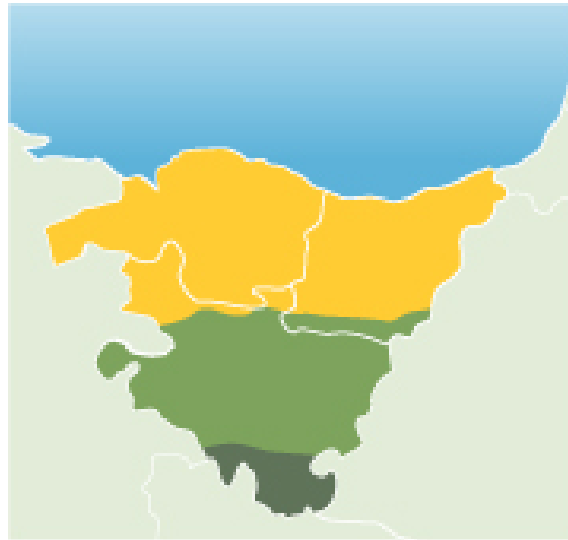


Ilustración 10: Zonas Climáticas de la CAPV (Euskalmet)

5.2. Descripción del Edificio

Para el estudio del comportamiento y consumos de las bombas de calor, así como el análisis de la viabilidad de la bomba dual, se utilizará como modelo la simulación de un edificio existente. De esta manera se hará uso mediante el programa TRNSYS de una disposición de equipos que trabajen de forma similar a las reales de este edificio en particular.

Dicho edificio consta de 26 Viviendas y está compuesto por cinco plantas más ático sobre rasante destinadas a viviendas y dos plantas bajo rasante, destinadas a garajes y trasteros con la distribución y superficies útiles que pueden apreciarse en la siguiente tabla:

	PLANTA	DESCRIPCIÓN	SUPERFICIE ÚTIL (m ²)
SOBRE RASANTE	Baja	Zona de accesos a plantas, 4 viviendas de 1 dormitorios, sala de calderas	212,15
	1º a 5º	4 viviendas de 2-3 dormitorios (63 y 80 m ² respectivamente)	283,37
	Ático	2 viviendas de 1 dormitorio	108,01
BAJO RASANTE	Sótano -1	19 plazas de garaje, 18 trasteros, sala técnica	592,35
	Sótano -2	19 plazas de garaje, 19 trasteros	592,66
SUPERFICIE ÚTIL TOTAL			2.922,02

Tabla 1: Distribución de superficies útiles

Existe una caja de escaleras para acceder a las viviendas desde la planta baja hasta la planta ático y otra más para acceder a garajes desde planta baja a sótano -2. En la siguiente imagen podemos apreciar el aspecto de la construcción:



Ilustración 11: Edificio sobre el que se basa el estudio

6. Alternativas a Analizar

Una vez definidos el edificio que va a ser utilizado como modelo y los climas en los que se va a analizar, tan solo falta definir las alternativas que van a ser analizadas para la generación de calor necesaria para ACS y calefacción. Estas alternativas van a ser tres: un sistema de generación geotérmico, un sistema de generación aerotérmico y finalmente, un sistema de generación dual que integre ambos tipos de generación seleccionando en cada instante cuál va a ser la utilizada en función de las condiciones que se den.

6.1. Sistema de Generación Geotérmico

La instalación del edificio se compone en resumidas cuentas del circuito de tierra, una bomba de calor agua-agua, una caldera auxiliar, el circuito de demanda y un sistema de calefacción por suelo radiante.

Para determinar el diseño y dimensionamiento de los sistemas, en primer lugar, se calculó la potencia térmica requerida para atender a la demanda de calefacción partiendo del cálculo de cargas de los locales calefactados en función de los diferentes cerramientos correspondientes a un edificio que cumple el CTE de 2006.

Cerramiento	Transmitancia (W/m ² °C)
Muro	0,6
Tabique	1,0
Cubierta	0,6
Solera	1,2
Ventana	3,4

Tabla 2: Transmitancia de los cerramientos

De ello se obtuvo una potencia pico de calefacción de 94,78kW. Partiendo de dicha potencia de calefacción y añadiendo la estimación de los consumos de ACS según el DB-HE4 del CTE se calculó el consumo de energía estimada por horas. A partir de estos consumos se decidió instalar una bomba de calor de 68kW que cubre la potencia base del edificio y una caldera de condensación de 120kW que alimenta las cargas puntas (y es capaz de cubrir la demanda total en caso de necesidad).

Las sondas geotérmicas introducidas en el terreno absorben energía térmica del terreno para alimentar una bomba de calor agua-agua. Estas sondas tienen una disposición vertical y el fluido circula continuamente por ellas, ya que forman un circuito cerrado. Ya en la bomba de calor, el refrigerante absorbe el calor del circuito de tierra en el evaporador y, por otro lado, el condensador de la bomba de calor cede calor al circuito de demanda térmica del edificio.

El dimensionamiento del sistema de intercambio geotérmico se estima en 70kW de potencia y la potencia nominal de la bomba de calor es de 68kW. El campo de captación está limitado por la planta del edificio y mantiene una distancia entre sondas de 8m para evitar interacciones térmicas. Está formado por 12 perforaciones de 130m de profundidad cada una.

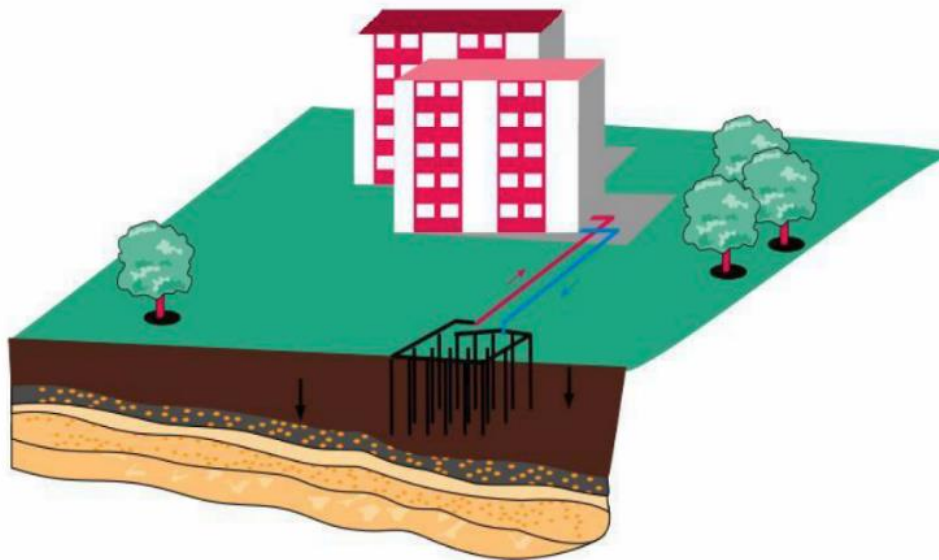


Ilustración 12: Esquema de intercambio geotérmico

El circuito de tierra une el circuito de intercambio geotérmico con la bomba de calor. Una bomba de circulación impulsa el caudal nominal de la bomba de calor con una altura manométrica suficiente para vencer las pérdidas de carga. También consta de un vaso de expansión, una válvula de seguridad, filtro y válvula antirretorno.

La bomba de calor instalada es el modelo WRL200H del fabricante AERMEC con las siguientes características nominales (proporcionadas por el fabricante para un salto térmico de 5°C cuando la temperatura de salida del evaporador es de 5°C y de salida del condensador de 45°C):

Potencia térmica (kW)	Consumo de potencia (kW)	C.O.P.
68	16,7	4,1

Tabla 3: Características nominales bomba de calor agua-agua WRL200H

Dicha bomba de calor está equipada con dos compresores tipo Scroll de alimentación trifásica que permite regular la potencia. El fluido refrigerante es el R410A y los caudales nominales son para el circuito del evaporador 9,17m³/h y para el condensador 11,76m³/h.



Ilustración 13: Bomba de calor agua-agua WRL200H de AERMEC

La bomba de calor aporta la potencia base del edificio, pero las cargas puntas deberán alimentarse mediante una caldera auxiliar. Para ello se instaló una caldera de condensación, un tipo de calderas de alto rendimiento (110% PCI) gracias al aprovechamiento del calor de condensación de los humos de combustión. Dicho aprovechamiento, reduce en gran medida la temperatura de los gases de combustión hasta valores del orden de 65°C limitando también las emisiones de gases contaminantes. Si las comparamos con las calderas convencionales, estas calderas de condensación consiguen un ahorro de hasta el 30% en el consumo de energía y reducen hasta en un 70% las emisiones de NO_x y CO₂.



Ilustración 14: Caldera VAILLANT ecoCRAFTexclusiv VKK1206/3E

La caldera instalada en este caso es la caldera de condensación a gas natural modelo ecoCRAFTexclusiv VKK1206/3E del fabricante VAILLANT, que consta de las siguientes características nominales:

	Salto Térmico (°C)	Rango de Potencia (kW)	Rendimiento (%)
Potencia calorífica nominal de calefacción	80/60	21,3 – 113,4	97,8
	60/40	22,1 – 116,5	100,5
	50/30	22,7 – 119,4	103
	40/30	23,1 – 121,8	105,1

Tabla 4: Características nominales de la caldera instalada

El circuito hidráulico de demanda une el equipo generador de calor con el circuito de calefacción y/o producción de ACS y cuenta con los siguientes equipos: una bomba de circulación del condensador, un acumulador de inercia de 200 litros de capacidad, una válvula de tres vías, un acumulador de ACS, un vaso de expansión, válvula de seguridad, filtro y válvula antirretorno. Los dos generadores de calor (bomba de calor y caldera) alimentan dos circuitos hidráulicos. Uno de ellos atiende la demanda de calefacción del edificio y el otro la producción de ACS mediante un sistema de semiacumulación. El sistema priorizará la producción de ACS frente a la calefacción sin afectar en el confort de los usuarios ya que el sistema de calefacción cuenta con un depósito de inercia que permite almacenar la energía térmica generada.

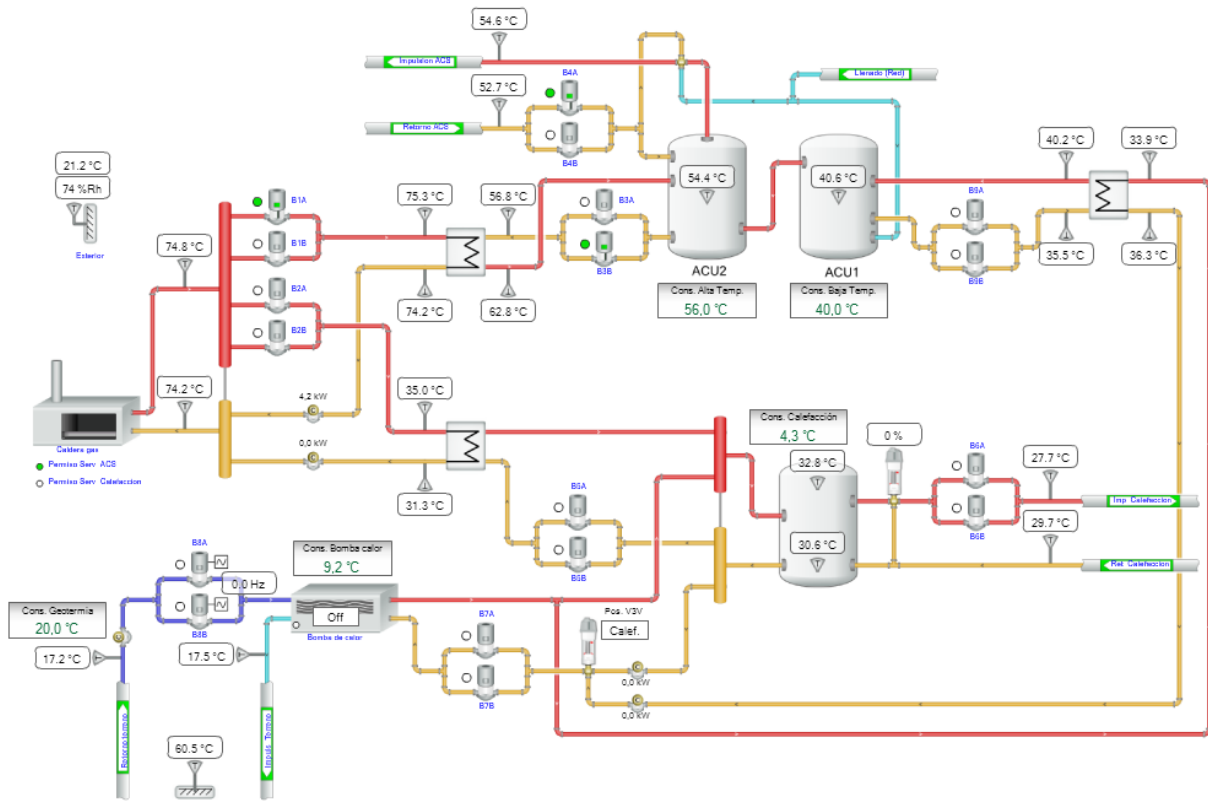


Ilustración 15: Circuito de demanda actualmente instalado

La bomba de calor trabaja contra un circuito cerrado, por lo que el condensador alimenta el circuito de demanda de la instalación o circuito primario, cediendo el calor producido al depósito de inercia de 2000 litros para la calefacción del edificio o al circuito primario del depósito acumulador de ACS de precalentamiento según la posición de una válvula de tres vías todo o nada comandada por la regulación del sistema en función de las necesidades de los usuarios y las condiciones climatológicas.

En el caso de la caldera, ésta alimenta, por un lado, al depósito de inercia de 2000 litros del circuito de calefacción. En este caso, entrará en funcionamiento solo cuando la bomba de calor no llegue a cubrir las necesidades. Por otro lado, también alimentará al circuito primario de producción de ACS como sistema de apoyo al precalentamiento obtenido con la bomba de calor.

Así mismo, la calefacción instalada en el edificio utiliza un sistema de suelo radiante. Se trata de una red de tuberías embebidas en el pavimento por el que se hace circular un fluido caloportador a una temperatura de 30-50°C. Este sistema tiene como ventaja la utilización de un fluido a menor temperatura por lo que el sistema de generación de calor debería ser de menor consumo energético, como por ejemplo, las bombas de calor. Por otro lado, resulta en un confort térmico mayor ya que produce radiación calorífica uniforme en todas las direcciones.



Ilustración 16: Instalación de calefacción de suelo radiante

El sistema de regulación y control comanda los distintos elementos de control para atender las necesidades energéticas mediante un uso eficiente de la energía. Gestiona los siguientes elementos:

- La marcha o paro de la bomba de calor en función de la demanda.
- Entrada en funcionamiento de la caldera de gas para apoyo.
- El servomotor de la válvula de tres vías de precalentamiento de ACS a partir de energía geotérmica.
- El servomotor de la válvula de tres vías mezcladora proporcional del circuito de impulsión a calefacción.
- Activación de bombas de circulación de diferentes circuitos hidráulicos.

En función de la temperatura exterior se impulsará el agua de calefacción a una temperatura según la curva de calefacción que produzca la potencia mínima necesaria para hacer frente a las pérdidas. Cuando la temperatura medida en el depósito de inercia sea inferior a la temperatura de impulsión a calefacción calculada, se pone en marcha la bomba de calor hasta que la temperatura del depósito es mayor en 2°C a la nominal. Cuando se registre un descenso de la temperatura en el depósito acumulador de ACS, se actúa sobre la válvula de tres vías para que el calor producido por la bomba de calor circule por el circuito primario de ACS del acumulador transfiriendo el calor al agua acumulada hasta que se alcance la temperatura de consigna.

6.2. Sistema de Generación Aerotérmico

Para la simulación del comportamiento del sistema, si contase con un sistema aerotérmico en lugar del geotérmico previamente descrito, se ha seleccionado una bomba de calor aire-agua de características similares que se instalaría sustituyendo la actual bomba de calor agua-agua. Asimismo, tampoco se instalarían en dicho supuesto las sondas geotérmicas ni el circuito de tierra. Sin embargo, el resto de elementos y sistemas que se han descrito anteriormente para el caso de la geotermia (circuito de demanda, caldera de condensación, calefacción de suelo radiante etc.) sí que se mantendrían por lo que también sería aplicable lo anteriormente dicho acerca de ellos para este supuesto.

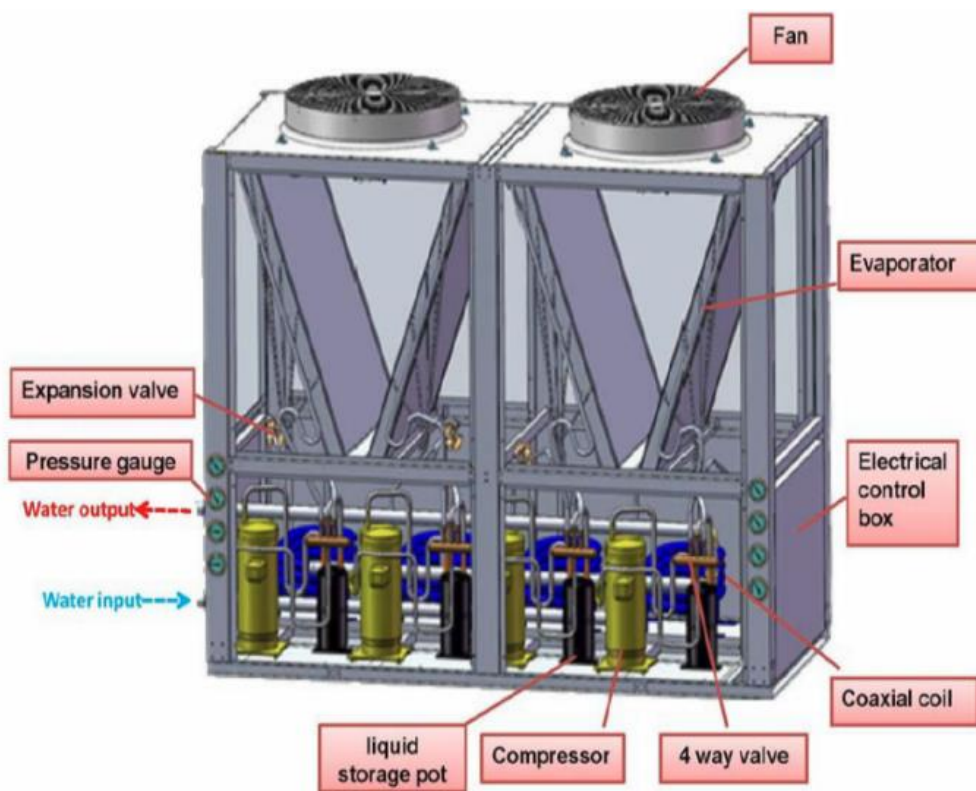


Ilustración 17: Bomba de calor aire-agua DERON DE-180W/D

La bomba de calor aerotérmica aire-agua seleccionada es la DE-180W/D del fabricante DERON con las características nominales que pueden verse en la tabla 5:

Potencia térmica (kW)	Consumo de potencia (kW)	C.O.P.
74,5	18	4,1

Tabla 5: Características nominales bomba de calor agua-agua WRL200H

6.3. Sistema de Generación Dual Geotérmico-Aerotérmico

Por otro lado, la simulación del sistema en el caso de que contase con un sistema de bomba de calor dual aerotérmico-geotérmico se realizará combinando las anteriores bombas de calor utilizadas en la instalación. Dicha instalación sería similar a la descrita para el caso de la geotermia, pero contaría con una válvula de tres vías en la entrada del agua al condensador que seleccionaría la bomba de calor a utilizar en función de las condiciones climáticas del momento.

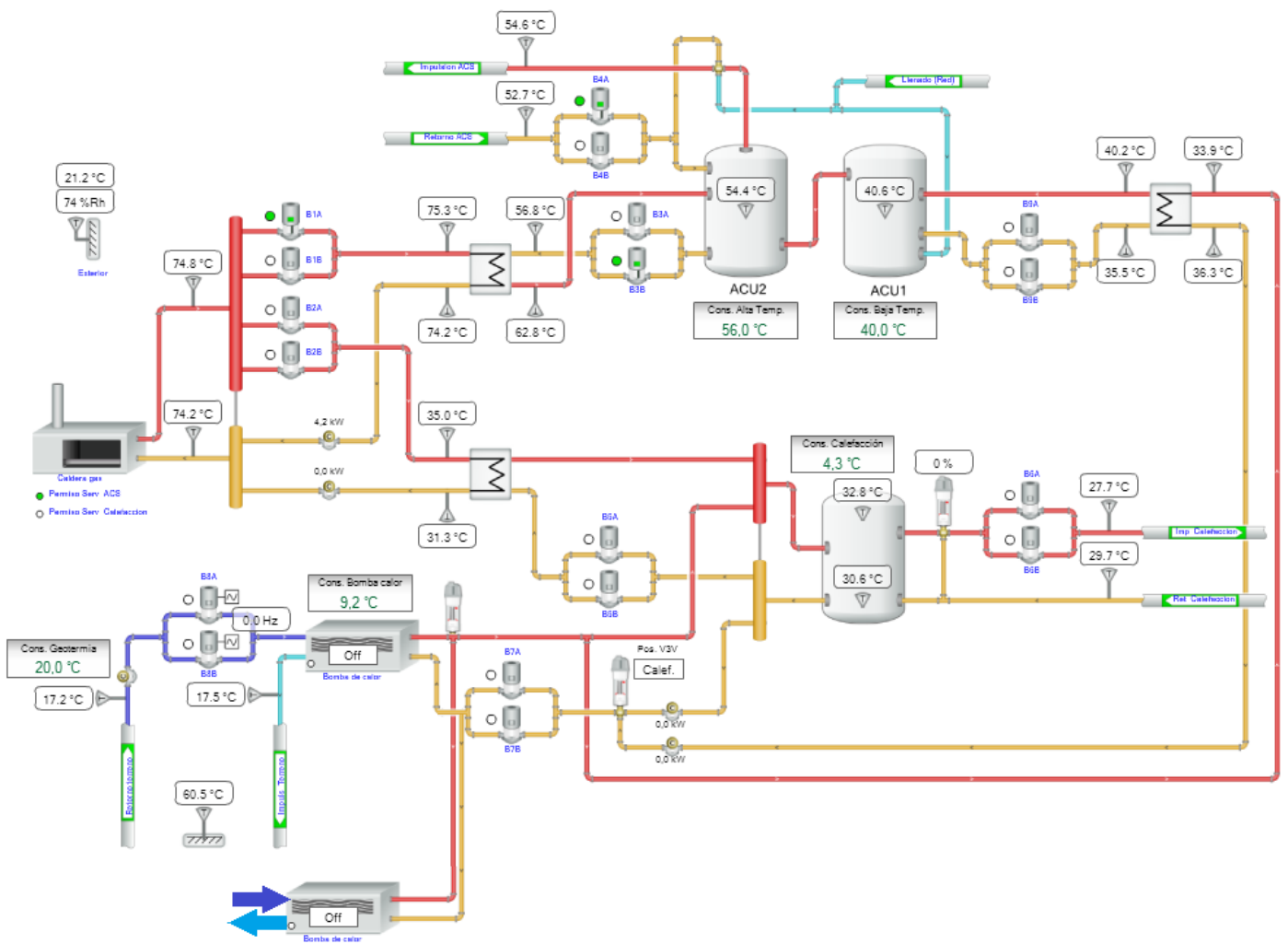


Ilustración 18: Circuito de la instalación con bomba de calor dual

METODOLOGÍA

1. Descripción de Tareas

En esta sección se describirán las diferentes tareas realizadas en el desarrollo del trabajo junto con la determinación de su duración. Las tareas que se han seguido son las siguientes:

PT1. Búsqueda de información (83 días)

En este primer grupo de tareas, se ha desarrollado una búsqueda y lectura de la bibliografía relacionada con el tema del trabajo para obtener conocimientos sobre ello y tomar las mejores decisiones en adelante. Contiene tres tareas:

T1.1. Bombas de calor

Se realizará una búsqueda y un estudio de la bibliografía sobre bombas de calor para un mejor entendimiento de su funcionamiento y las especificidades de los distintos tipos de bombas de calor existentes.

T1.2. Edificio existente

Se llevará a cabo un estudio del edificio existente en Durango sobre el que se basará el presente trabajo para un mejor entendimiento de los sistemas de calefacción y ACS existentes en él y su funcionamiento.

T1.3. Búsqueda de catálogos

Búsqueda de catálogos de bombas de calor aire-agua para extraer los datos necesarios de ellos para de esta forma poder simular la bomba de calor aerotérmica.

PT2. Formación (20 días)

En este apartado se llevará una formación en los aspectos necesarios para el desarrollo del trabajo de simulación.

T2.2. TRNSYS

Se recibirá una formación sobre el programa de simulación transitoria de sistemas TRNSYS que va a ser utilizado para la simulación de los sistemas de ACS y calefacción.

PT3. Desarrollo del trabajo (60 días)

Aquí se realizarán las tareas necesarias para el desarrollo del trabajo.

T3.1. Realización de los cálculos

Se llevarán a cabo las simulaciones para los tres supuestos a estudio en el programa TRNSYS o, en su defecto, a través de una hoja de Excel para extraer los datos de comportamiento de los sistemas del edificio a estudiar.

T3.2. Análisis de los resultados

Se analizarán los resultados obtenidos de las simulaciones y se trabajará con ellos para extraer conclusiones de este análisis.

PT4. Finalización (9 días)

Se llevarán a cabo las tareas necesarias para la correcta finalización del trabajo y el documento a entregar.

T4.1. Revisión

Con el objetivo de comprobar que se ha desarrollado el trabajo correctamente, se revisará en busca de fallos ortográficos o gramaticales y errores conceptuales o de cálculo.

PT5. Redacción (130 días)

Paralelamente al desarrollo del trabajo mediante la realización de las tareas previamente mencionadas se realizará la redacción del documento que va a entregarse cuidando gramática, ortografía, estructura y diseño de este.

2. Diagrama de Gantt

Con las tareas descritas en el anterior apartado se ha desarrollado el siguiente diagrama de Gantt. El diagrama se ha realizado suponiendo que se trabajan 3,8 horas diarias:

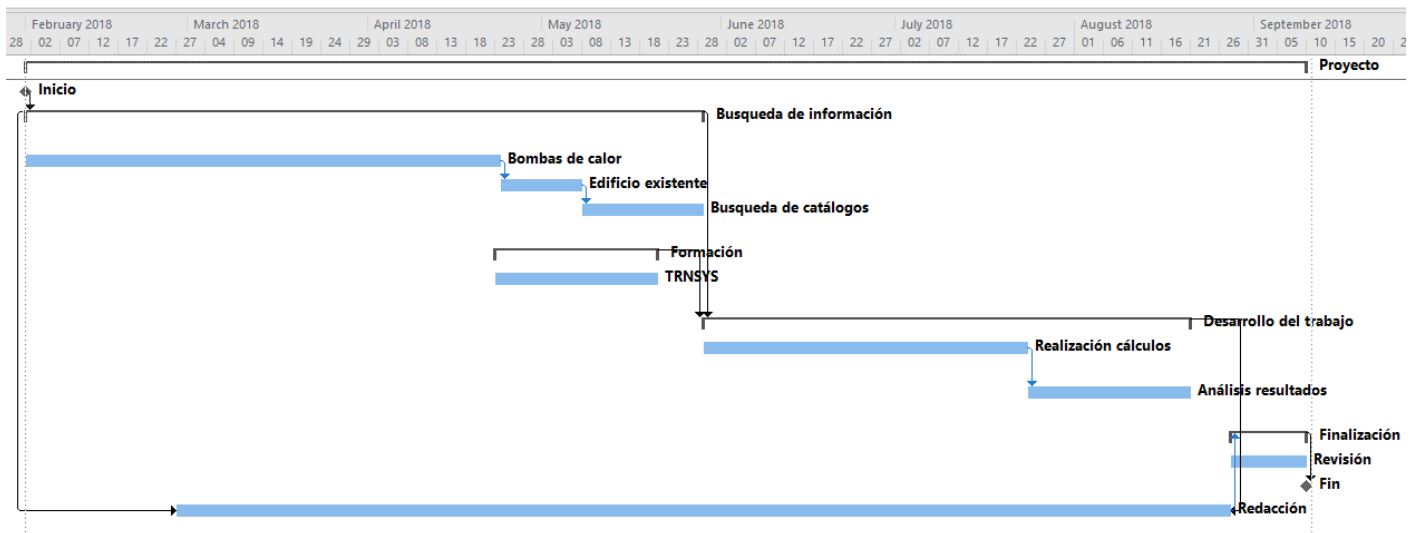


Diagrama 1: Diagrama de Gantt

La fecha de comienzo del trabajo se ha establecido el 1 de febrero de 2018 y la finalización el 10 de septiembre del mismo año.

3. Cálculos

Para la caracterización de las zonas climáticas de Euskadi en el desarrollo de las simulaciones se han utilizado los datos climatológicos anuales de tres lugares, uno de cada clima analizado. Concretamente se trata de Sondika para la caracterización del clima atlántico, Gasteiz para la zona de transición y Logroño para el clima mediterráneo interior. Este último, pese a no encontrarse dentro de la CAPV, se encuentra a poca distancia de la región de la Rioja Alavesa y el clima es prácticamente el mismo a dicha región.

Primeramente, se utilizará el software TRNSYS de simulación dinámica de comportamiento de sistemas para caracterizar los sistemas con bomba de calor geotérmica y aerotérmica en los distintos climas. El programa brindará al usuario las gráficas y archivos de Excel con datos que se le indiquen con los parámetros de las simulaciones realizadas. Seguidamente, se realizará la selección, hora por hora, de la bomba de calor a utilizar en cada instante para simular el comportamiento de la bomba de calor dual.

3.1. Geotermia

Para la simulación de la instalación de ACS y calefacción del edificio con la bomba de calor geotérmica se ha utilizado, tal como se ha mencionado previamente, el programa TRNSYS. Concretamente la disposición que puede verse en la ilustración 19.

En la simulación se ha caracterizado la caldera de condensación como dos calderas, una para el circuito de calefacción y otra para el de ACS, pese a que en la realidad se trata de una única caldera. Los datos de la temperatura del terreno que necesita el *type* o unidad de las sondas geotérmicas se obtiene de los datos climatológicos. Por otro lado, los datos de consumo ACS se obtienen a través de una distribución estándar para edificios residenciales y los de calefacción a partir de las características de los cerramientos. Se considera que del 15 de mayo al 15 de octubre la calefacción no se activa. Los datos de potencias de la bomba de calor agua-agua obtenidos del catálogo del fabricante también se han introducido en función de caudales y temperaturas del agua del circuito de tierra y de demanda. Se prioriza la producción de ACS por parte de la bomba de calor frente a la calefacción. En ambos circuitos se trabaja contra depósitos de inercia.

3.2. Aerotermia

Para la simulación del funcionamiento de la instalación con bomba de calor aerotérmica, se han sustituido los *types* correspondientes a la bomba de calor agua-agua y el circuito de tierra (con su bomba y sondas geotérmicas incluidas) por una bomba de calor aire-agua. De esta forma la simulación sería tal como vemos en la ilustración 20.

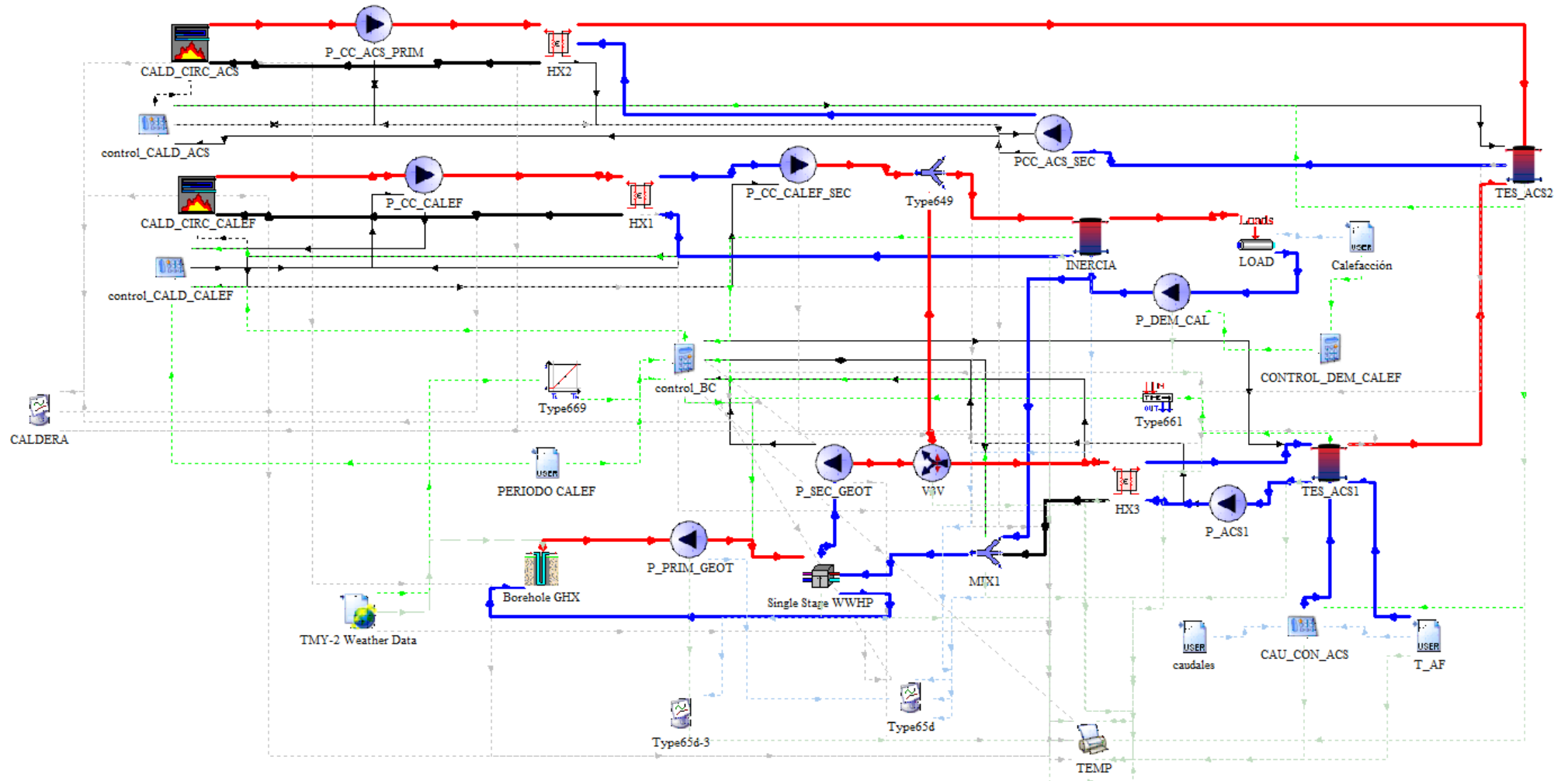


Ilustración 19: Simulación con bomba de calor geotérmica

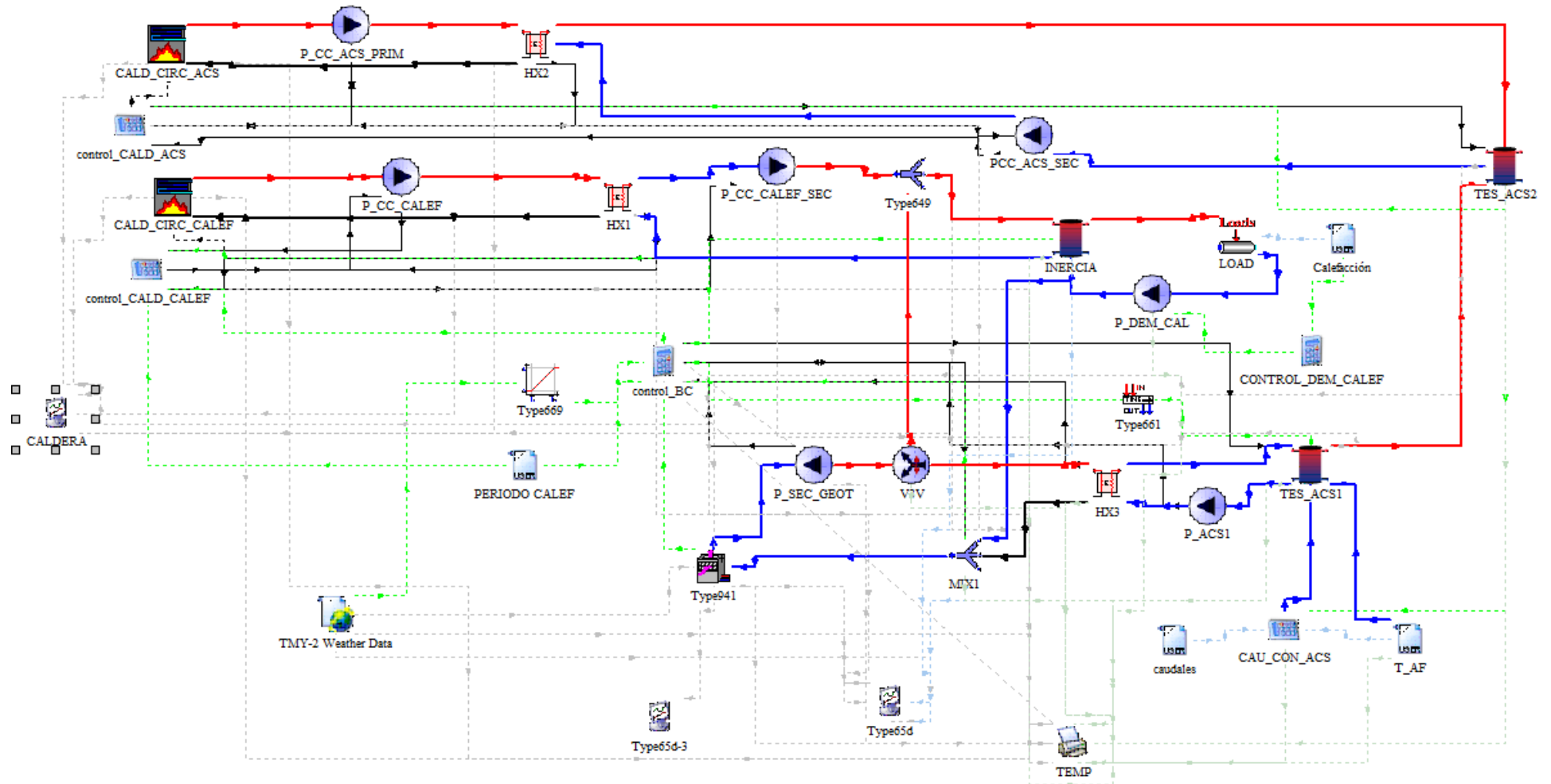


Ilustración 20: Simulación con bomba de calor aerotérmica

La estructura del sistema simulado es prácticamente la misma que en el caso geotérmico anteriormente analizado, con excepción de la bomba de calor aire-agua, cuyos datos de potencias extraídos del catálogo del fabricante se han introducido en función de las temperaturas de entrada de aire y agua al condensador y evaporador respectivamente de la bomba de calor.

3.3. Dual

Finalmente, para la caracterización del sistema dual, se han utilizado los datos de las anteriores dos simulaciones, seleccionando en cada momento el funcionamiento de la bomba de calor más adecuada para las condiciones que se den. Por lo tanto, se ha seleccionado un sistema de control que no trabaja con hibridación de ambas bombas de calor, sino que selecciona en cada instante cuál de las dos debe funcionar. Esta selección se ha realizado bajo dos criterios: primeramente, se ha realizado bajo criterios energéticos priorizando el ahorro de gas natural consumido por la caldera, mientras que en la segunda selección realizada se han utilizado criterios exclusivamente económicos. La selección según criterios económicos se ha realizado con los siguientes precios:

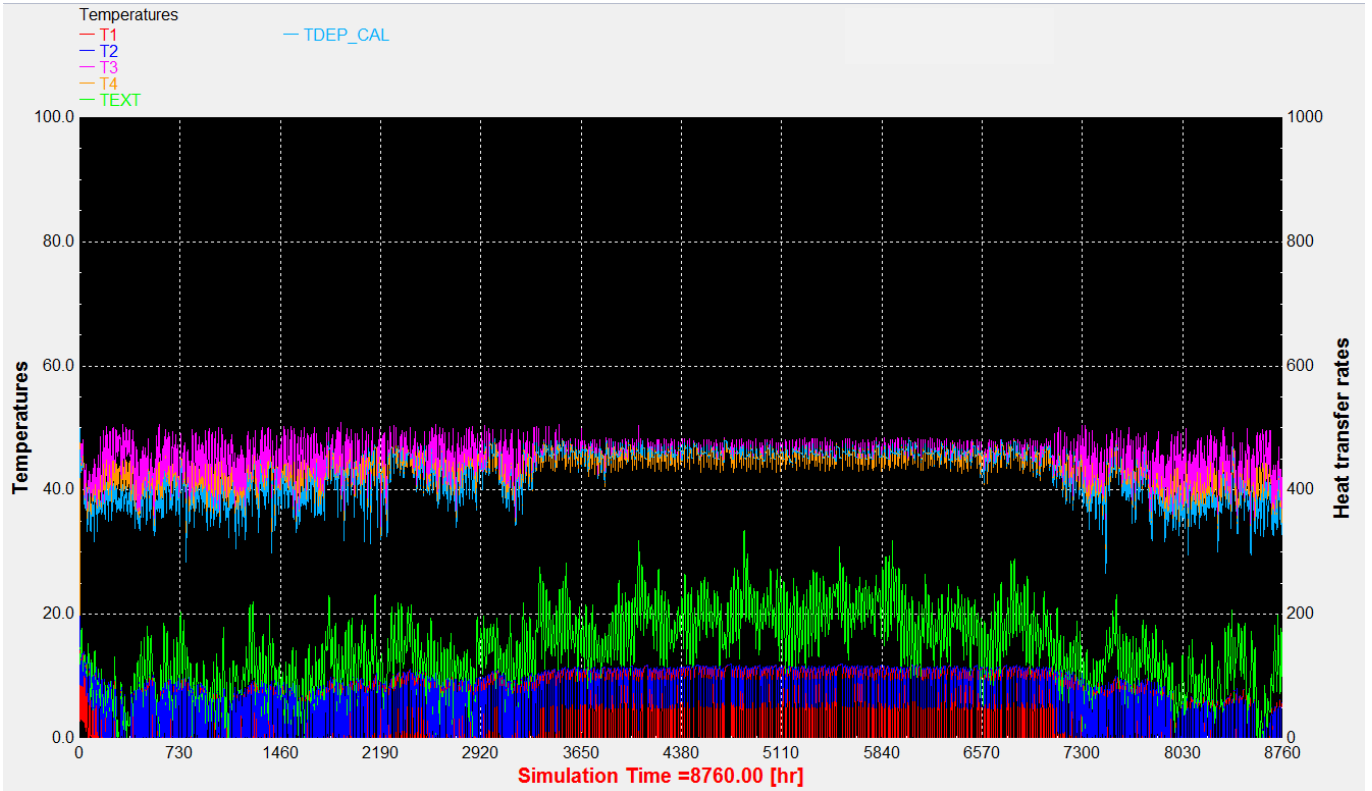
	Electricidad	Gas Natural
Precio	13 cts€/kWh	5 cts€/kWh

Tabla 6: Precios electricidad y gas natural

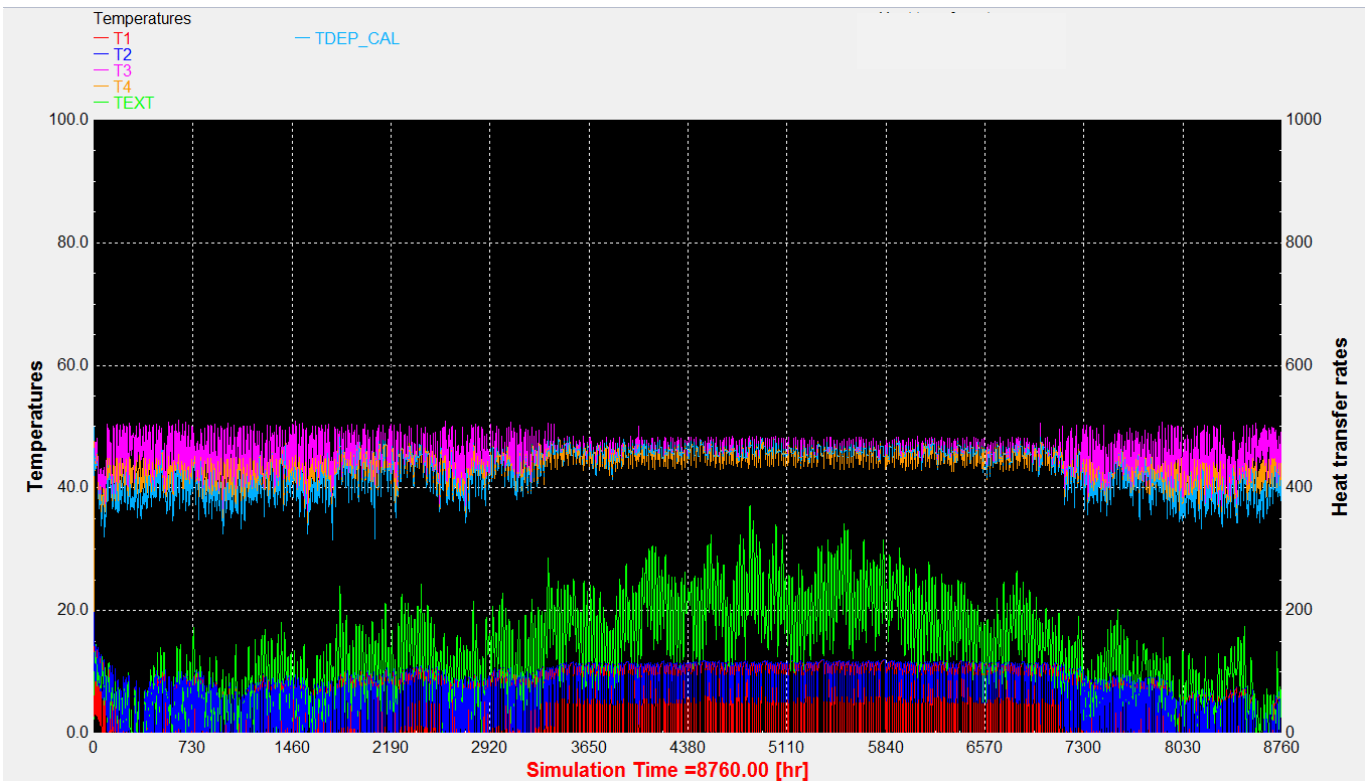
4. Descripción de los Resultados

En este apartado se describirán los resultados de las simulaciones realizadas con el programa TRNSYS, así como de la caracterización de la bomba de calor dual en excel a partir de la selección en cada instante de la bomba de calor que debe trabajar. De las simulaciones de TRNSYS se han obtenido, además de gráficas que genera el programa, unas tablas de Excel con datos horarios de temperaturas y transferencias de energía, de las cuales se comentarán las más relevantes para el estudio realizado.

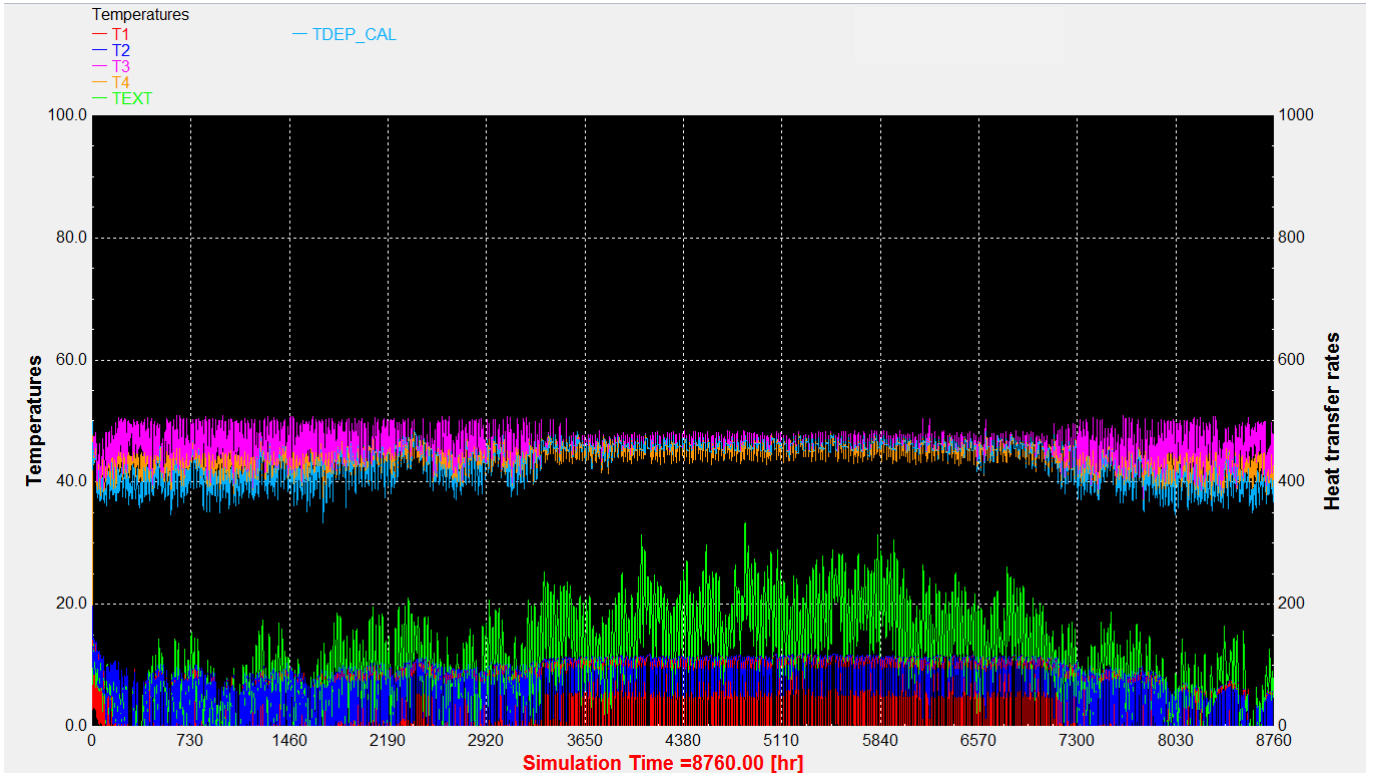
A partir de las simulaciones realizadas en TRNSYS con los sistemas de generación geotérmico y aerotérmico para los climas atlántico, mediterráneo y de transición, se han obtenido las siguientes seis gráficas de las temperaturas de diferentes puntos del sistema a lo largo del año simulado:



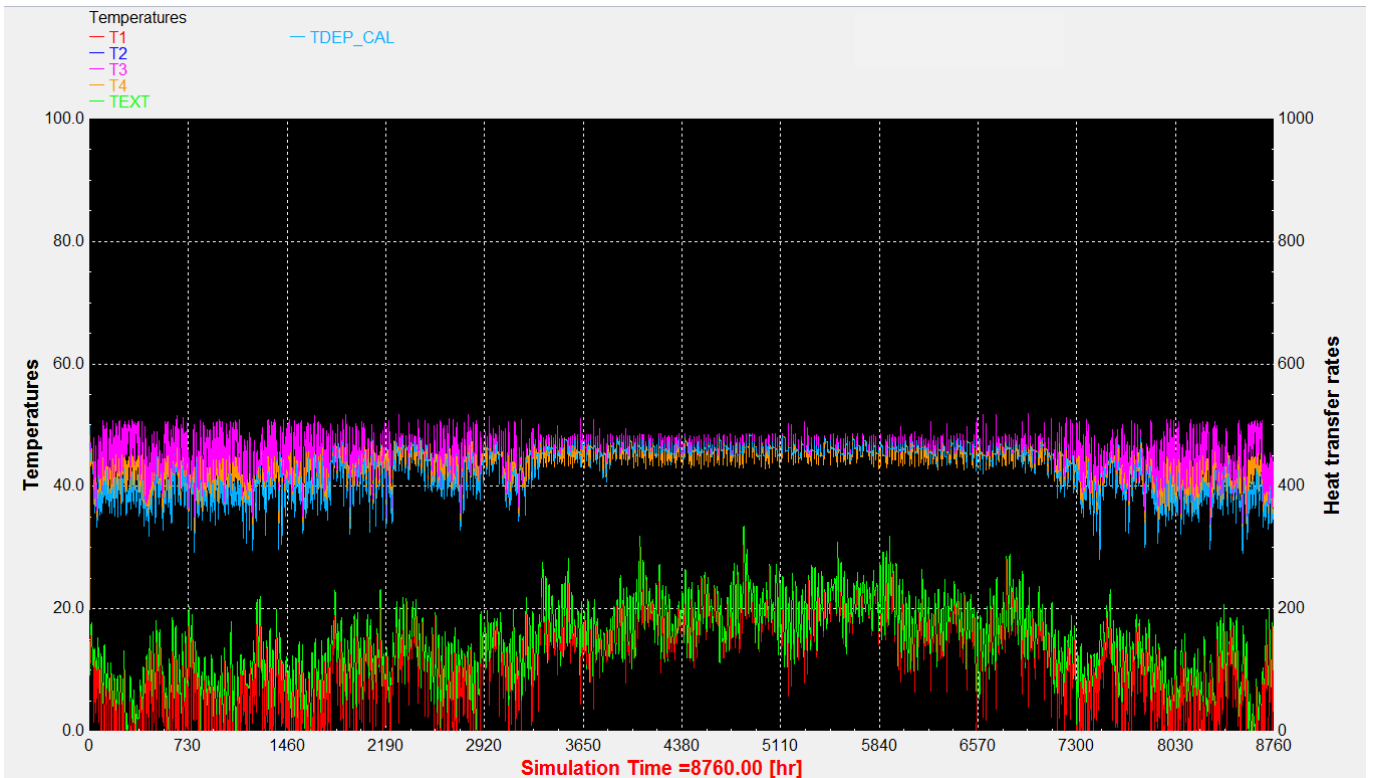
Gráfica 1: Simulación geotermia para clima atlántico



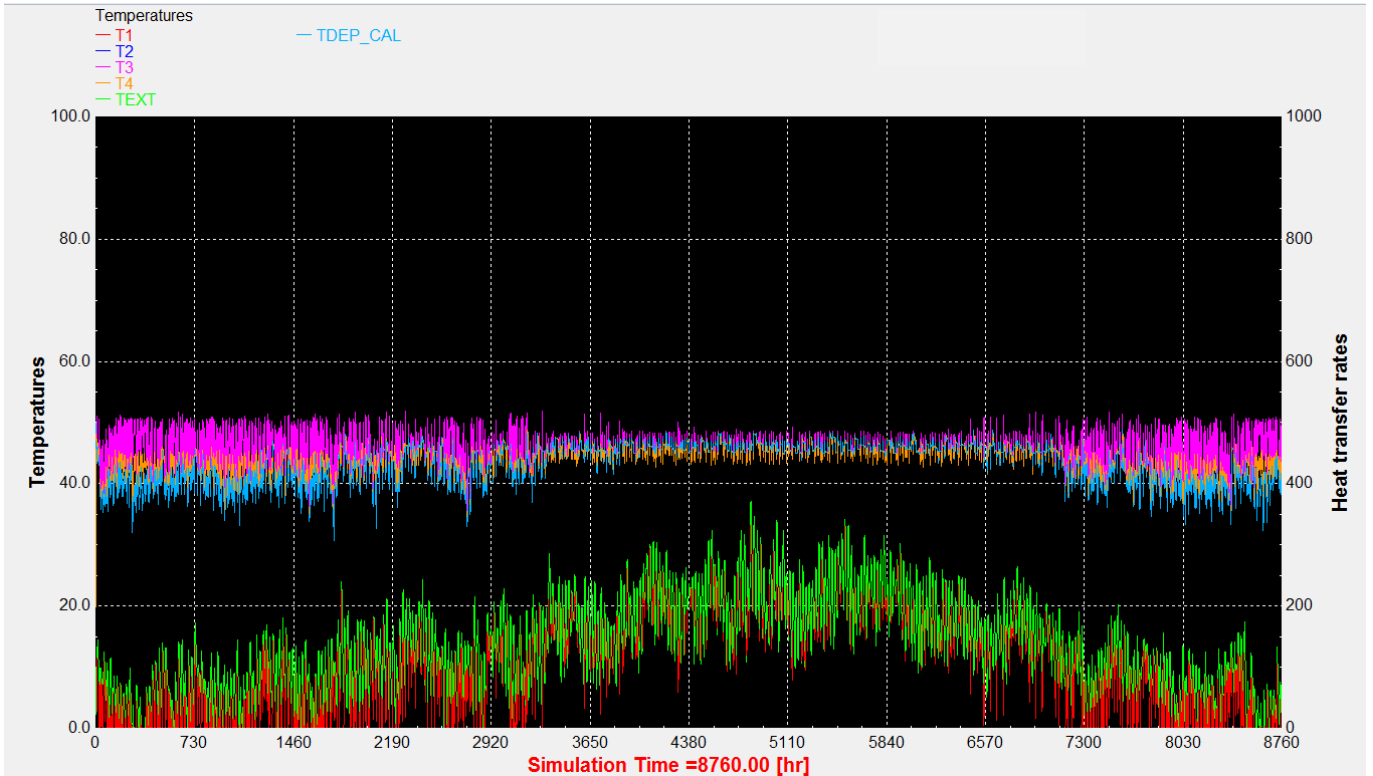
Gráfica 2: Simulación geotermia para clima mediterráneo



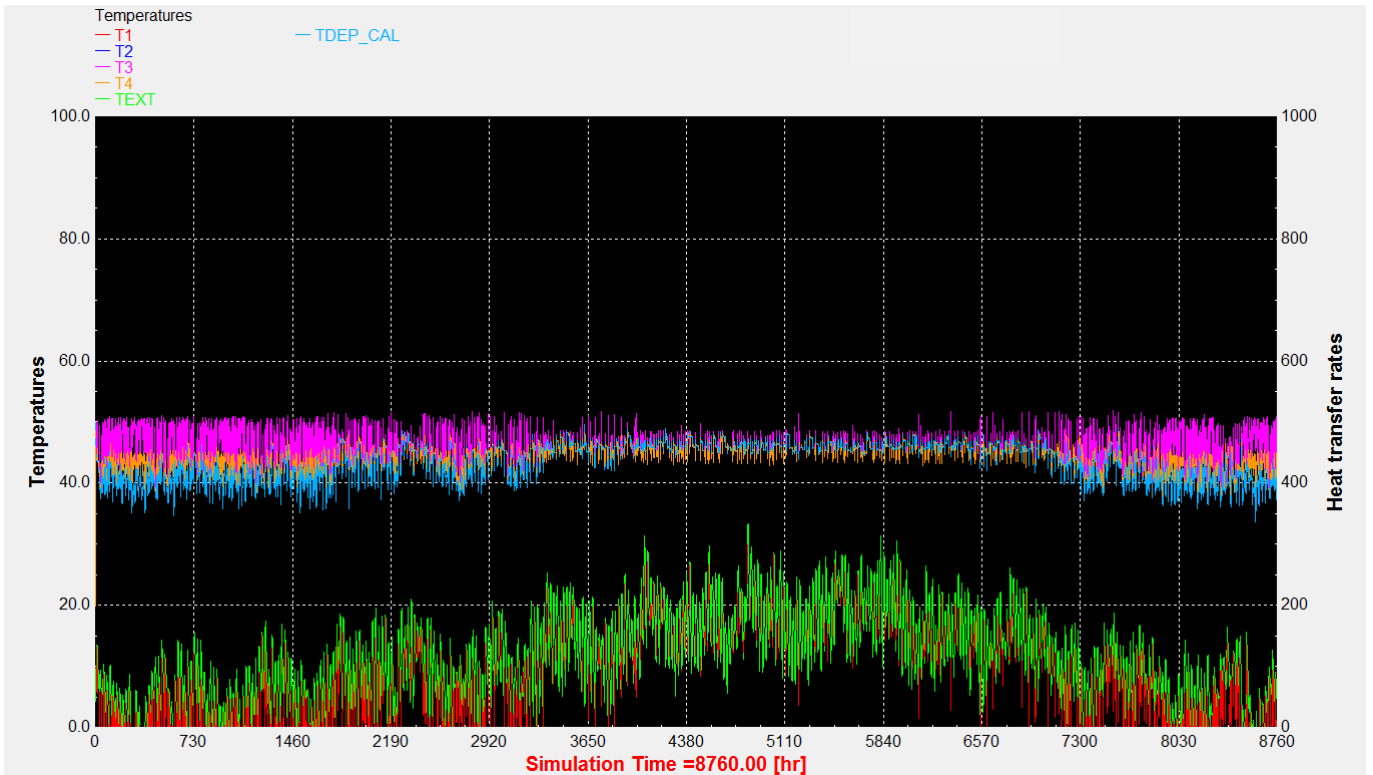
Gráfica 3: Simulación geotermia para clima de transición



Gráfica 4: Simulación aerotermia para clima atlántico



Gráfica 5: Simulación aeroterma para clima mediterráneo



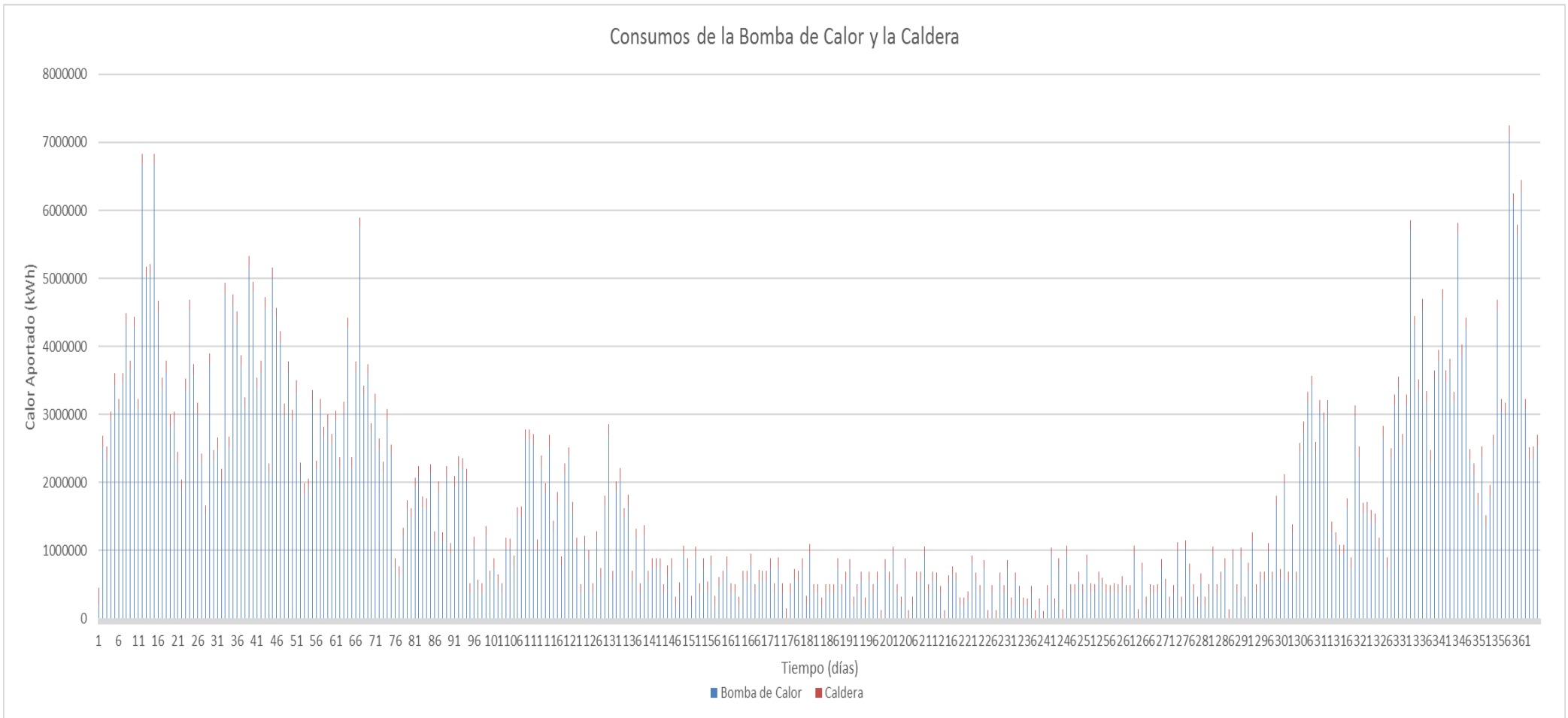
Gráfica 6: Simulación aeroterma para clima de transición

Si se analizan las gráficas, lo primero que se comprueba es cómo la temperatura exterior (TEXT, en verde) es mucho más variable tanto en las distintas épocas del año como entre día y noche, lo cual es consecuente con las características de dichos climas. Por otro lado, si prestamos atención a las temperaturas T1 y T2 (temperatura de salida y entrada respectivamente del fluido del circuito de tierra en el caso de la bomba geotérmica y del aire en el caso de la aerotérmica) se comprueba que lógicamente son mucho más dependientes de la temperatura exterior en el caso de la aerotérmica, puesto que en esta bomba de calor es directamente el aire exterior el que transmite calor al evaporador. En el caso de la bomba de calor geotérmica no se aprecian diferencias sustanciales en dichas temperaturas para los diferentes climas, lo cual es esperable puesto que la temperatura del terreno a la profundidad de las sondas geotérmicas es muy estable y sufre pocas variaciones en función de la temperatura exterior.

En cuanto a las temperaturas del circuito de demanda, esto es T3 (salida del condensador), T4 (entrada del condensador) y TDEP_CAL (temperatura del depósito de calefacción), también se pueden extraer ciertas conclusiones. La más palpable es la variabilidad de la temperatura TDEP_CAL en los meses de invierno mientras que en los de verano se mantiene bastante estable. Esto ocurre para ambos tipos de bomba de calor y todos los climas y es debido a que en los meses más calurosos la calefacción no está activa, causando que no haya extracción de agua caliente del depósito de inercia y, por lo tanto, que dicha temperatura no caiga, al contrario de lo que ocurre en los meses más fríos en los que la calefacción sí que está activa. Por otro lado, aunque con variaciones, las temperaturas T3 y T4 se mantienen relativamente estables dentro de unos márgenes puesto que son dependientes del funcionamiento de la bomba de calor, y por lo tanto de las condiciones climáticas, sobre todo en el caso de la aerotermia. T4 tiene menor variabilidad debido a la influencia del depósito de inercia. La variabilidad de estas tres temperaturas se acentúa sobre todo en el caso del clima atlántico, probablemente a causa de que la bomba de calor trabaje fuera de su punto óptimo por las condiciones meteorológicas de la zona.

Por otro lado, en los archivos Excel generados a partir de las simulaciones, se obtienen los datos energéticos del sistema hora a hora. En la gráfica situada a continuación podemos apreciar los aportes diarios tanto de la bomba de calor como de la caldera de condensación para el caso del sistema aerotérmico en el clima atlántico. El resto de los casos presenta un perfil similar por lo que no se han incluido aquí:

Consumos de la Bomba de Calor y la Caldera



Gráfica 7: Aportes diarios de la bomba de calor aerotérmica y caldera en el clima atlántico

Partiendo de los datos horarios obtenidos y sumando las energías consumidas y aportadas por cada elemento (bomba de calor y caldera) se han obtenido los datos anuales. En las siguientes tablas pueden apreciarse estos datos energéticos anuales para cada caso estudiado a través del programa TRNSYS:

		BOMBA DE CALOR						
		Q _{source} (kWh)	Q _{load} (kWh)	E (kWh)	COP medio	t _{cal} (h)	t _{ACS} (h)	t _{tot} (h)
Geotermia	Atlántico	126701	172239	45538	3,78	1035	2095	2870
	Transición	123694	167981	44288	3,79	1410	1849	2837
	Mediterráneo	125602	170646	45044	3,79	1270	1941	2846
Aerotermia	Atlántico	129666	166480	40358	4,13	827	1948	2569
	Transición	118860	151349	35619	4,25	1018	1652	2433
	Mediterráneo	125337	159924	37918	4,22	971	1732	2478

Tabla 7: Datos energéticos de las bombas de calor aerotérmica y geotérmica

Siendo Q_{source} el calor absorbido en el evaporador; Q_{load} el calor descargado por el condensador; E la energía eléctrica empleada por la bomba de calor; COP medio el cociente entre Q_{load} y E ; t_{cal} el número de horas en las que la bomba de calor trabaja para calefactar; t_{ACS} el tiempo que trabaja para generación de ACS y t_{tot} el número total de horas trabajadas por parte de la bomba de calor.

		CALDERA					
		Q _{cal} (kWh)	Q _{ACS} (kWh)	Q _{tot} (kWh)	t _{cal} (h)	t _{acs} (h)	t _{tot} (h)
Geotermia	Atlántico	471	15075	15546	11	2548	2548
	Transición	44	14663	14706	1	8761	8761
	Mediterráneo	175	14847	15022	4	8761	8761
Aerotermia	Atlántico	0	14800	14800	0	8761	8761
	Transición	0	14336	14336	0	8761	8761
	Mediterráneo	180	14484	14664	4	8761	8761

Tabla 8: Datos energéticos de la caldera para bombas de calor aerotérmica y geotérmica

Q_{cal} , Q_{ACS} y Q_{tot} son la energía de gas natural consumida por la caldera en calefacción, ACS y en total respectivamente.

Finalmente, si traducimos a términos monetarios los consumos de energía eléctrica y gas natural utilizando los precios establecidos en la tabla 6, conseguimos los gastos de operación de las bombas de calor aerotérmica y geotérmica los cuales resultan en:

		Bomba de Calor	Caldera	TOTAL
Geotermia	Atlántico	5.919,98 €	777,31 €	6.697,29 €
	Transición	5.757,38 €	735,31 €	6.492,69 €
	Mediterráneo	5.855,66 €	751,08 €	6.606,75 €
Aerotermia	Atlántico	5.246,48 €	739,99 €	5.986,47 €
	Transición	4.630,46 €	716,81 €	5.347,27 €
	Mediterráneo	4.929,38 €	733,20 €	5.662,57 €

Tabla 9: Costes de operación de las bombas de calor aerotérmica y geotérmica

Los costes totales de operación del sistema varían entre los 6.700€ para el geotérmico en clima atlántico y los 5.300€ del aerotérmico del clima de transición. En todos los casos es la alternativa más económica el sistema con bomba de calor aerotérmica. Por otro lado, los costes de la caldera y la cantidad de gas natural consumida no varían demasiado de un caso a otro, pero se comprueba que en muy pocas ocasiones trabaja para dar apoyo al sistema de calefacción. En cuanto a la bomba de calor, se ve que el COP medio es alrededor de 4,2 en el caso de la aerotérmica mientras en la geotérmica se sitúa en torno al 3,7. Los costes de operación también son inferiores en los casos de aerotermia y trabaja más en todos los casos para precalentar agua para ACS que para calefactar.

Finalmente, para la bomba de calor dual, se han obtenido los siguientes resultados seleccionando en cada hora del año la bomba de calor a utilizar a partir de los datos de las simulaciones anteriores. A la selección realizada según criterios de ahorro de gas natural en la caldera se le ha denominado “Dual Energía”. Por otro lado, a la selección a partir de criterios de ahorro económico se le ha llamado “Dual Coste”:

		BOMBA DE CALOR						CALDERA
		Q _{source} (kWh)	Q _{load} (kWh)	E (kWh)	COP medio	t _{geo} (h)	t _{aero} (h)	Q _{tot} (kWh)
Dual energía	Atlántico	94146	122947	30279	4,06	4075	4686	14067
	Transición	88269	114874	27945	4,11	3787	4974	13451
	Mediterráneo	90841	117770	28430	4,14	3703	5058	13621
Dual coste	Atlántico	90769	114228	25504	4,48	3600	5160	14197
	Transición	81604	102527	22795	4,50	3308	5452	13637
	Mediterráneo	85477	107208	23662	4,53	3332	5428	13783

Tabla 10: Datos energéticos del sistema dual

Donde t_{geo} y t_{aero} son el número de horas que trabajan las bombas de calor geotérmica y aerotérmica respectivamente.

Traduciendo dichos datos energéticos a costes de operación con los precios de la tabla 6:

		Bomba de Calor	Caldera	TOTAL
Dual energía	Atlántico	3.936,32 €	703,36 €	4.639,68 €
	Transición	3.632,79 €	672,53 €	4.305,32 €
	Mediterráneo	3.695,96 €	681,05 €	4.377,01 €
Dual coste	Atlántico	3.315,48 €	709,83 €	4.025,31 €
	Transición	2.963,40 €	681,83 €	3.645,23 €
	Mediterráneo	3.076,09 €	689,15 €	3.765,25 €

Tabla 11: Datos económicos del sistema dual

Lo más destacable de estos datos en comparación con los de los sistemas aerotérmico y geotérmico es el ahorro que se consigue en la operación, de alrededor de 2.000€ para todos los casos. Se trata de un ahorro anual considerable que habrá que estudiar si compensa la mayor inversión inicial que supone la instalación del sistema dual. También desciende en comparación la energía eléctrica consumida por las bombas de calor y el gas natural combustionado en la caldera. Los COP medios del sistema también son mayores en general. En cuanto a las horas de operación de cada bomba de calor, son bastante parejas, siendo la aerotérmica la más utilizada y en mayor medida cuánto más nos desplazamos hacia el clima mediterráneo.

En general se aprecia claramente que, cualquiera que sea el sistema, donde mejor trabaja será en el clima de transición. Además, en todas las zonas climatológicas de la CAPV la aerotermia parece ofrecer mejores prestaciones que la geotermia pese a que su punto de operación es más variable al ser dependiente de las condiciones meteorológicas. Por último, con el sistema dual se consiguen considerables ahorros en los consumos, que a su vez revierten en un ahorro económico.

ASPECTOS ECONÓMICOS

1. Análisis de Rentabilidad

En el presente título se expondrán los costes de instalación y operación de las diferentes alternativas analizadas para proveer de calefacción y ACS el edificio residencial estudiado. Para ello se utilizarán tanto los datos usados de las simulaciones realizadas como otros obtenidos de la documentación utilizada para desarrollar este trabajo. Por otra parte, no se tendrán en cuenta los gastos de instalación de la caldera de apoyo, circuito de demanda y suelo radiante puesto que son elementos comunes a todos los casos estudiados y por lo tanto sus amortizaciones no cambiarán de un caso a otro.

En la siguiente tabla se resumen los gastos de operación para un año de las alternativas y climas analizados anteriormente:

	Geotermia	Aerotermia	Dual (Energía)	Dual (Coste)
Atlántico	6.697,29 €	5.986,47 €	4.639,68 €	4.025,31 €
Transición	6.492,69 €	5.347,27 €	4.305,32 €	3.645,23 €
Mediterráneo	6.606,75 €	5.662,57 €	4.377,01 €	3.765,25 €

Tabla 12: Costes de operación anuales de los sistemas y climas analizados

En cuanto a los costes de instalación, podemos considerar los siguientes (U.S. Department of Energy, 2011): 2.500\$/RT para la bomba de calor geotérmica y 4.000\$/3RT para el sistema aerotérmico. Si dimensionamos y cambiamos las unidades de estos datos:

Bomba de calor geotérmica:

$$2.500 \frac{\$}{RT} \times \frac{1RT}{3,52kW} \times 68kW \times \frac{1€}{1,2\$} = 40.246,21€$$

Bomba de calor aerotérmica:

$$\frac{4.000\$}{3RT} \times \frac{1RT}{3,52kW} \times 74,5kW \times \frac{1€}{1,2\$} = 23.516,41€$$

Estas instalaciones suelen tener una vida útil de 20-25 años en el caso de la geotermia y 15-20 años en el caso de la aerotermia (Office of Energy Efficiency, 2004). Teniendo estos datos en consideración, podemos calcular las amortizaciones de las instalaciones. Para el caso de la instalación dual se considerará para cada bomba de calor su respectiva vida útil y un coste de instalación igual a la suma de los costes de bomba de calor geotérmica y la aerotérmica, esto es, 63.762,62€. De esta manera el coste unitario del sistema dual resultaría en 3.132,51€.

Instalación	Precio	Amortización	Coste Unitario
Geotérmica	40.246,21€	22,5 años	1.788,72€/año
Aerotérmica	23.516,4€	17,5 años	1.343,79€/año
Dual	63.762,62€	22,5 años (geotérmica) 17,5 años (aerotérmica)	3.132,51€/año

Tabla 13: Costes unitarios de las inversiones en instalación

Por lo tanto, los presupuestos totales anuales, sumando costes unitarios de las inversiones de instalación y los gastos de operación, resultarían en:

	Geotermia	Aerotermia	Dual (Energía)	Dual (Coste)
Atlántico	8.486,01 €	7.330,26 €	7.772,19 €	7.157,82 €
Transición	8.281,41 €	6.691,06 €	7.437,83 €	6.777,74 €
Mediterráneo	8.395,47 €	7.006,36 €	7.509,52 €	6.897,76 €

Tabla 14: Presupuestos totales anuales por sistemas y climas

De la tabla 13 sobre los costes unitarios anuales de las diferentes alternativas analizadas, se desprende que, para todas las zonas climáticas tomadas en cuenta, el sistema aerotérmico y el dual con control en función del coste de generación son los que menor coste anual suponen. En el caso de las zonas climáticas atlántica y mediterránea, es la dual la que ofrece mejor rendimiento económico, mientras que para la zona de transición la aerotermia sale ganando.

En todo caso, la diferencia en todas ellas se sitúa en torno a los 100€, con lo que una mínima variación de los precios de instalación, precios de electricidad o gas natural, vida útil de las instalaciones o climatología local podría ser que decantasen la balanza hacia el lado contrario. Por otro lado, la inversión inicial es considerablemente más alta en el caso del sistema dual comparado con el aerotérmico, prácticamente el triple, por lo que habría que valorar si en el momento de la instalación se dispone del capital necesario para acometer dicha obra.

En cambio, lo que queda patente con estos datos es que el control en base al ahorro de combustible de la caldera de la instalación dual, si bien resulta en unas menores emisiones de gases contaminantes, revierte negativamente en el bolsillo del usuario en comparación con el control en base al precio de producción del calor. También se comprueba que la geotermia es el sistema menos rentable de los analizados, por lo menos para las condiciones ambientales de la CAPV.

Finalmente, en cuanto a los climas, se comprueba que la zona climática de transición (Llanada alavesa y alrededores) es la que mejores resultados y costes de operación más bajos ofrece, seguido de la zona mediterránea y finalmente la atlántica.

2. Presupuesto Ejecutado

En este apartado se detallará el presupuesto ejecutado correspondiente a la realización del presente trabajo sobre la viabilidad de la bomba de calor dual aerotérmica-geotérmica para las condiciones climáticas de la CAPV. Los costes se han clasificado en medios materiales y medios humanos. Todos los medios aquí reflejados son necesarios para el correcto desarrollo del trabajo.

Los medios materiales se han dividido en medios hardware, medios software y medios fungibles. Los medios humanos los forman los componentes del grupo de trabajo y se ocupan de la mano de obra y los conocimientos.

Los medios materiales utilizados son los siguientes:

- *Medios Hardware:* Ordenador
- *Medios Software:* Sistema operativo Windows 10, paquete ofimático Microsoft Office 2016 y software TRNSYS v18
- *Medios Fungibles:* Material de oficina

En la siguiente tabla se muestran los costes de los materiales amortizables:

Código	Material	Precio	Amortización	Coste Unitario
M1	Ordenador	685,02€	2 años	28,54€/mes
M2	Sistema operativo Windows 10	145€	2 años	6,04€/mes
M3	Paquete ofimático Microsoft Office 2016	99€	2 años	4,13€/mes
M4	Software TRNSYS v18	3.905€	5 años	65,08€/mes

Tabla 15: Costes unitarios de los materiales amortizables

Por otro lado, en la siguiente tabla puede observarse el gasto en bienes fungibles:

Código	Material	Precio
M7	Material de oficina	190€

Tabla 16: Gasto en bienes fungibles

Por lo tanto, el presupuesto de todos los materiales, teniendo en cuenta bien los amortizables como los que no lo son es el de la siguiente tabla:

Material	Código	Tiempo de uso	Coste Unitario	Cuantía
Amortizables	M1	8 meses	28,54€/mes	228,32€
	M2	8 meses	6,04€/mes	48,32€
	M3	8 meses	4,13€/mes	33,04€
	M4	8 meses	65,08€/mes	520,64€
			TOTAL amortizable	830,32€
Fungibles	M7		190€	190€
			TOTAL fungible	190€
			TOTAL	1020,32€

Tabla 17: Coste de los medios materiales

Los integrantes del grupo de trabajo y su precio horario aparecen a continuación:

Código	Nombre	Cargo	Coste
P1	Iván Flores	Director del trabajo	60€/h
P2	Jon Fdez. de Gamboa	Técnico	20€/h

Tabla 18: Grupo de trabajo

El director del trabajo es doctor en ingeniería, con experiencia en dirección de proyectos. Su cometido es supervisar el trabajo verificando el cumplimiento de plazos y procedimientos. Por otro lado, el técnico debe llevar a cabo dichos procedimientos, buscando soluciones a los problemas que se le presenten en el transcurso, desarrollando el trabajo lo mejor posible.

En la esta tabla se detalla el presupuesto de los medios humanos, en función del tiempo dedicado por cada miembro del grupo a las diferentes tareas:

Tarea	Horas P1	Precio P1	Horas P2	Precio P2
PT1	3h	180€	185h	3.700€
T1.1	0h	0€	150h	3.000€
T1.2	2h	120€	15h	300€
T1.3	1h	60€	20h	400€
PT2	10h	600€	30h	600€
T2.1	10h	600€	30h	600€
PT3	12h	720€	120h	2.400€
T3.1	5h	300€	80h	1.600€
T3.2	7h	420€	40h	800€
PT4	5h	300€	30h	600€

T4.1	5h	300€	30h	600€
PT5	0h	0€	235h	4.700€
TOTAL	30h	1.800€	600	12.000€
			TOTAL	13.800€

Tabla 19: Presupuesto ejecutado de medios humanos según tareas

Finalmente, el presupuesto global del trabajo resultaría en:

Concepto	Precio Total
Medios Humanos	13.800€
Medios Materiales	1.020,32€
TOTAL	14.820,32€

Tabla 20: Resumen del presupuesto ejecutado

CONCLUSIONES

Después de realizar las simulaciones correspondientes y los cálculos con los datos conseguidos de ellas, se pueden extraer ciertas conclusiones sobre los sistemas analizados. Por un lado, es visible que el sistema que menor consumo energético y gasto económico produce es el sistema dual; cualquiera que sea el parámetro de control que se establezca. Mientras que el control por ahorro de gas natural ofrece un menor gasto de dicho combustible, el control por coste ofrece menor gasto energético y un menor coste operacional del sistema. Además, este segundo criterio de control ofrece el COP medio más elevado de todos los estudiados, esto es, el sistema dual con control por coste sería el más eficiente de media a lo largo del año de todos los estudiados.

Todo lo anterior es independiente de la zona climática en la que se encuentren instalados. Si reparamos a este aspecto, la zona en la que cualquier bomba de calor mejores prestaciones ofrece y menores costes operativos supone es la zona climática de transición. Esto puede deberse a las temperaturas que se dan, mayores que en el clima atlántico en torno a los meses de verano y no tan bajas como en el clima mediterráneo interior que se dan en invierno. Y es que recordemos que, según la siguiente fórmula, del coeficiente de trabajo máximo (el correspondiente al ciclo de Carnot de refrigeración), cuanto mayor es la temperatura del foco frío mayor será el coeficiente de rendimiento:

$$COP_{max} = \frac{T_H}{T_H - T_C}$$

Este factor tiene mayor incidencia en el caso de la aerotermia ya que la temperatura del foco frío sería la temperatura ambiente, la cual es mucho más variable que la temperatura de la corteza terrestre para el caso de la geotermia.

Pero además de los consumos y costes asociados a cada sistema, también hay que tener en cuenta el coste de la instalación. Este resulta mayor para el caso de la geotermia que para el de la aerotermia, casi el doble; mientras que el coste de instalación del sistema dual se ha considerado la suma de los anteriores. Si tenemos en cuenta, además de los gastos de operación, la amortización de los sistemas a lo largo de su vida útil, el sistema aerotérmico y el dual se equilibran bastante desmarcándose del sistema geotérmico que se destaca como el menos rentable, al menos para los climas considerados en el presente trabajo.

En la tabla 13 puede observarse como para los climas atlántico y mediterráneo el sistema más rentable es el aerotérmico mientras que para el clima de transición se trata del dual. De todas formas, las diferencias de ambos sistemas en cualquiera de las zonas climáticas se sitúan en torno a los 100€ con lo que una mínima variación de los precios de instalación, precios de electricidad o gas natural, vida útil de las instalaciones o climatología local podría ser que decantasen la balanza hacia el lado contrario. Por otro lado, la inversión inicial es considerablemente más alta en el caso del sistema dual comparado con el aerotérmico, prácticamente el triple, por lo que habría que valorar si en el momento de la instalación se dispusiese del capital necesario para acometer dicha obra.

En definitiva, parece claro que la climatología de la CAPV se presenta más idónea para los sistemas aerotérmicos o duales que para los geotérmicos. Mientras que el dual ofrecería un ahorro en los gastos de operación, el aerotérmico supondría una inversión inicial mucho menor. De todas formas, dado la mínima diferencia presupuestaria entre ambas tecnologías, en la actualidad, quizás no merezca la pena realizar un desembolso tan grande para instalar un sistema dual, aunque si el precio de la instalación se redujera o la vida útil se viera prolongada puede que en un futuro sí que lo mereciera. Por último, y atendiendo a los datos recabados, cabe afirmar que la zona de la Llanada Alavesa, Valles Occidentales, Treviño y Montaña Alavesa (clima de transición) sería la que más se beneficiaría de la tecnología de la bomba de calor, seguida de la Rioja Alavesa (clima mediterráneo).

BIBLIOGRAFÍA

Aermec (2010). *WRL-H 180/650*. (Verona). Recuperado el 18/02/2018 de https://planetaklimata.com.ua/instr/Aermec/Aermec_WRL_180H-650H_Technical_Manual_Eng.pdf

Ching, F.D.K.; Saphiro I.M. (2014). *Green building illustrated*. Hoboken (New Jersey): Wiley.

Deron. *Air to water catalogue*. Recuperado el 02/03/2018 de <http://heatpumpindonesia.com/wp-content/uploads/2013/12/Deron-air-to-water-catalogue.pdf>

Dimplex (Noviembre 2008). *Manual de dimensionamiento, calentar y refrigerar con bombas de calor*. Dimplex. Recuperado el 11/05/2018 de http://www.dimplex.de/fileadmin/dimplex/downloads/planungshandbuecher/es/dimplex_phb_kuehlen_es_122008.pdf

Energy Efficiency & Renewable Energy (Septiembre 2013). *Measured performance of a low temperature air source heat pump*. U.S. Department of Energy. Recuperado el 20/03/2018 de https://www1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/building_america/low_temp_air_source_heat_pump.pdf

Euskalmet. *Clasificación de Territorios Climáticos*. Recuperado el 05/05/2018 http://www.euskalmet.euskadi.eus/s07-5921/es/contenidos/informacion/cla_clasificacion/es_7264/es_clasificacion.html

Fahlén, P. (October 2012). Capacity control of heat pumps. *REHVA Journal*. p. 28-31

Fernández Salgado, J.M. (2011). *Eficiencia energética en los edificios*. Madrid: AMV.

Karlsson F. (2007). *Capacity control of residential heat pump heating systems*. Göteborg: Building services engineering, Department of energy and environment, Chalmers university of technology.

Moran, M.J.; Saphiro, H.N. (1999). *Fundamentos de termodinámica técnica*. Barcelona: Reverté.

Office of Energy Efficiency (2004). *Natural Resources Canada*. Heating and cooling with a heat pump. Recuperado el 15/02/2018 de

<https://www.nrcan.gc.ca/sites/oeo.nrcan.gc.ca/files/pdf/publications/infosource/pub/home/heating-heat-pump/booklet.pdf>

Ruiz Ayesta, I. *Instalación de calefacción y producción de ACS centralizada en edificio de 26 viviendas de protección oficial en Durango*. Sondika: Bilbao Energy SolutionTrends.

Turner, L.W. (1979). *Energy fact sheet: heat pumps for residential heating and cooling: some questions and answers*. Lexington (Kentucky): Agricultural Engineering Series, University of Kentucky.

Tu Climatización Online (1 de febrero de 2017). Aerotermia – Todo lo que necesitas saber, en *Tu Climatización Online*. Recuperado el 20/03/2018 de

<https://tuclimatizaciononline.es/blog/que-es-la-aerotermia/>

U.S. Department of Energy (Febrero 2011). *Energy Efficiency & Renewable Energy*. Guide to geothermal heat pumps. Recuperado el 27/04/2018 de

https://www.energy.gov/sites/prod/files/guide_to_geothermal_heat_pumps.pdf

ANEXOS

Anexo I: Catálogo de la Bomba de Calor Geotérmica AERMEC WRL200H

En el presenta anexo se presentan los aspectos más relevantes que se muestran en el catálogo de la bomba de calor geotérmica agua-agua AERMEC WRL200H, la cual se ha utilizado para la simulación del sistema de generación geotérmico así como la parte geotérmica de la dual.




R410A






REVERSIBLE HEAT PUMP - Technical Manual

WATER/WATER HEAT PUMP

- HIGH EFFICIENCIES
- PRODUCTION OF HOT WATER UP TO 55°
- PARTIAL HEAT RECOVERY
- USED FOR GEOTHERMAL APPLICATIONS

WRL-H

180/650












IWRH21Y_1103_5890979_00

HEATING

WRL-H	VERSION	U.M.	180H	200H	300H	400H	500H	550H	600H	650H
 HEATING MODE 10/* - 40/45°C "FAN COILS"										
Heating capacity	°	kW	52.6	70.4	76.0	93.0	105.4	143.2	163.7	183.1
Total input power	°	kW	12.6	17.2	18.5	21.4	23.5	32.0	36.3	41.5
Total input current	°	A	23	29	31	37	41	57	65	75
Condenser water flow rate	°	l/h	9050	12100	13070	16000	18130	24620	28160	31490
Condenser pressure drops	°	kPa	28	48	48	70	29	52	54	67
Evaporator water consumption	°	l/h	9360	12450	13580	16400	19030	24750	28760	32370
Evaporator pressure drops	°	kPa	31	52	51	74	34	56	57	71
C.O.P.	°	-	4,16	4,09	4,10	4,35	4,48	4,47	4,51	4,42

COOLING

WRL-H	VERSION	U.M.	180H	200H	300H	400H	500H	550H	600H	650H
 COOLING MODE 12/7 - 30/35°C "FAN COILS"										
Cooling capacity	°	kW	44.8	59.5	64.7	79.2	92.8	119.6	139.6	156.6
Total input power	°	kW	10.7	14.3	15.9	17.9	19.8	27.0	30.7	35.1
Total input current	°	A	20	25	28	32	36	52	60	69
Evaporator water flow rate	°	l/h	7710	10230	11120	13620	15960	20570	24010	26930
Evaporator pressure drops	°	kPa	22	37	36	52	25	40	40	49
Condenser water flow rate	°	l/h	9360	12450	13580	16400	19030	24750	28760	32370
Condenser pressure drops	°	kPa	31	52	51	74	34	56	57	71
Commercial EER	°	W/W	4.21	4.15	4.07	4.41	4.69	4.43	4.55	4.46
Commercial ESEER	°	W/W	5.25	5.21	5.25	5.36	6.25	6.25	6.18	5.75

UNI EN14511; considers the pumping capacity required to overcome the pressure drops of the exchanger, added to the heating capacity and input power and removed from the cooling capacity.


Note:

[*]: Capacity of the external exchanger during cooling mode.




Attention:

to obtain data with UNI EN 14511 pump, refer to the "MAGELLANO" selection programme.

 Reference conditions when hot: data according to UNI EN 14511 - 2008

Evaporator		Condenser	
Input temperature	10°C	Input temperature	40°C
Output temperature	*°C	Output temperature	45°C

 Reference conditions when cold: data according to UNI EN 14511 - 2008

Evaporator		Condenser	
Input temperature	12°C	Input temperature	30°C
Output temperature	7°C	Output temperature	35°C

HEATING

WRL-H	VERSION	U.M.	180H	200H	300H	400H	500H	550H	600H	650H	
HEATING MODE 10/5 - 40/45°C "FAN COILS"											
Heating capacity	°	kW	51,20	68,40	73,90	89,40	102,80	138,80	158,70	177,10	
Input power	°	kW	12,50	16,70	18,00	20,80	23,00	31,00	35,00	39,70	
Total input current	°	A	23	29	31	37	41	57	65	75	
Condenser water flow rate	°	l/h	8810	11760	12710	15380	17680	23870	27290	30460	
Condenser pressure drops (inner side heat exchanger)	°	kPa	28	49	46	67	30	54	52	65	
Evaporator water consumption	°	l/h	6870	9170	9920	12160	14110	19080	21870	24310	
Evaporator pressure drops	°	kPa	16	29	30	43	20	35	33	41	
C.O.P.	°	-	4,10	4,10	4,11	4,30	4,47	4,48	4,53	4,46	
PUMP ELECTRICAL DATA											
Input power	low static pressure geo side pump	B/F	kW	0,88	1,03	1,08	1,81	1,94	2,65	2,76	2,84
Input current			A	1,66	1,95	2,04	3,65	3,91	4,91	5,11	5,25
Useful static pressure	high static pressure geo side pump	U/I	kPa	126	100	101	149	179	155	145	120
Input power			kW	1,40	1,59	2,13	2,33	2,49	3,19	3,32	3,42
Input current	low static pressure geo side pump	P	A	2,83	3,21	3,80	4,15	4,43	5,30	5,51	5,67
Useful static pressure			kPa	200	175	230	202	232	215	202	175
Input power	high static pressure system side pump	N	kW	0,77	0,90	0,94	1,05	1,14	1,70	1,79	2,67
Input current			A	1,45	1,70	1,78	1,99	2,16	3,15	3,31	4,94
Useful static pressure			kPa	140	125	123	105	123	125	119	167
Input power			kW	1,27	1,43	1,48	1,62	1,74	2,95	3,10	3,21
Input current	A	2,56	2,88	2,98	3,26	3,50	4,90	5,14	5,33		
Useful static pressure	kPa	213	199	198	180	200	250	243	226		
POWER SUPPLY											
	-	-	400V-3N-50 Hz								
SCROLL COMPRESSORS											
N° of compressors / N° of circuits	-	N°/N°	2/1	2/1	2/1	2/1	2/1	2/1	2/1	2/1	
Capacity control	-	%	0/50	0/50	0/50	0/50	0/50	0/50	0/50	0/50	
EXCHANGERS (PLATES)											
INNER SIDE / UTILITIES heat exchanger	-	N°	1	1	1	1	1	1	1	1	
SOURCE / OUTER SIDE heat exchanger	-	N°	1	1	1	1	1	1	1	1	
Hydraulic (VICTAULIC) connections	-	Ø	2"	2"	2"	2"	2½"	2½"	2½"	2½"	

Reference conditions:

Evaporator		Condenser	
Input temperature	10°C	Input temperature	40°C
Output temperature	5°C	Output temperature	45°C

COOLING

WRL-H	VERSION	U.M.	180H	200H	300H	400H	500H	550H	600H	650H
COOLING MODE 12/7 - 30/35°C "FAN COILS"										
Cooling capacity	°	kW	45.00	59.80	65.00	79.80	93.20	120.40	140.50	157.80
Input power	°	kW	10.50	14.00	15.60	17.40	19.40	26.30	29.90	34.00
Total input current	°	A	20	25	28	32	36	52	60	69
Rate of water evaporation	°	l/h	7740	10290	11190	13730	16030	20710	24160	27150
Evaporator pressure drops	°	kPa	20	37	37	55	25	40	40	50
Condenser water consumption	°	l/h	9360	12460	13590	16420	19040	24770	28790	32410
Condenser pressure drops	°	kPa	32	55	53	76	35	58	58	73
EER	°	-	4.29	4.27	4.17	4.59	4.80	4.58	4.70	4.64
ESEER	-	-	5.10	5.06	5.09	5.21	6.07	6.57	6.00	5.58

PUMP ELECTRICAL DATA											
Input power	low static pressure geo side pump	B/F	kW	0.91	1.07	1.12	1.23	1.32	1.86	1.93	2.87
Input current			A	1.72	2.02	2.11	2.33	2.50	3.44	3.57	5.32
Useful static pressure			kPa	122	93	92	59	88	84	69	103
Input power	high static pressure geo side pump	U/I	kW	1.44	1.64	1.71	1.87	2.01	3.23	3.37	3.46
Input current			A	2.90	3.30	3.44	3.77	4.06	5.36	5.59	5.74
Useful static pressure			kPa	196	168	168	137	169	207	190	156
Input power	low static pressure system side pump	P	kW	0.82	0.96	1.01	1.71	1.85	2.53	2.66	2.76
Input current			A	1.55	1.81	1.90	3.46	3.73	4.69	4.93	5.10
Useful static pressure			kPa	135	116	114	166	189	178	168	147
Input power	high static pressure system side pump	N	kW	1.33	1.50	2.02	2.21	2.37	3.04	3.20	3.32
Input current			A	2.68	3.02	3.60	3.93	4.23	5.05	5.32	5.51
Useful static pressure			kPa	208	190	242	219	242	239	228	205

POWER SUPPLY										
	-	-	400V-3N-50 Hz							

SCROLL COMPRESSORS										
Nº of compressors / Nº of circuits	-	Nº/Nº	2/1	2/1	2/1	2/1	2/1	2/1	2/1	2/1
Capacity control	-	%	0/50	0/50	0/50	0/50	0/50	0/50	0/50	0/50

EXCHANGERS (PLATES)										
INNER SIDE / UTILITIES heat exchanger	-	Nº	1	1	1	1	1	1	1	1
SOURCE / OUTER SIDE heat exchanger	-	Nº	1	1	1	1	1	1	1	1
Hydraulic (VICTAULIC) connections	-	Ø	2"	2"	2"	2"	2 1/4"	2 1/4"	2 1/4"	2 1/4"

Reference conditions:

Evaporator		Condenser	
Input temperature	12°C	Input temperature	30°C
Output temperature	7°C	Output temperature	35°C

GENERAL DATA

WRL-H	VERSION	U.M.	180H	200H	300H	400H	500H	550H	600H	650H
PROTECTION RATING OF THE MACHINE										
IP	-	-	20	20	20	20	20	20	20	20
ELECTRICAL DATA										
Maximum current	°	A	32,6	41,8	45,2	52,1	59	99	112	125
Peak current with soft-start	°	A	119	123	125	167	174	265	310	323
Peak current with soft-start	°	A	88	93	95	124	131	201	232	245
WATER CONTENT										
inner side / utilities heat exchanger	-	dm ³	10,1	10,1	11,7	11,7	15,2	15,2	20,6	20,6
outer side / source heat exchanger	-	dm ³	10,1	10,1	11,7	11,7	15,2	15,2	20,6	20,6
MINIMUM SYSTEM WATER CONTENT										
Minimum content (standard)	-	l/kW	7	7	7	7	7	7	7	7
Minimum content ^{††}	-	l/kW	14	14	14	14	14	14	14	14
GEOHERMAL SIDE EXPANSION VESSEL (standard in versions with pump)										
Quantity	B	n°	1	1	1	1	1	1	1	1
	U		1	1	1	1	1	1	1	1
	F		1	1	1	1	1	1	1	1
	I		1	1	1	1	1	1	1	1
Capacity	-	l	8	8	8	8	12	12	12	12
SYSTEM SIDE EXPANSION VESSEL (standard in versions with pump)										
Quantity	P	n°	1	1	1	1	1	1	1	1
	N		1	1	1	1	1	1	1	1
Capacity	-	l	8	8	8	8	12	12	12	12
HYDRAULIC CIRCUIT SAFETY VALVE (standard in all versions)										
Quantity	-	n°	1	1	1	1	1	1	1	1
Calibration	-	bar	6	6	6	6	6	6	6	6
HIGH PRESSURE REFRIGERANT CIRCUIT SIDE SAFETY VALVE (standard in all versions)										
Quantity	-	n°	-	-	-	-	-	-	-	1
Calibration	-	bar	-	-	-	-	-	-	-	45
LOAD (ATTENTION: the declared data can be amended at any time by Aemec, if deemed necessary).										
Refrigerant	-	Kg	5,3	5,3	6,6	7,5	9,4	10,0	17,0	17,5
Oil	-	l	5,0	5,0	5,0	5,7	6,3	12,1	12,1	12,1
SOUND DATA										
Sound power	-	dB(A)	68,0	68,4	74,2	73,0	76,3	81,1	81,1	81,1
Sound pressure ^{†††}	-	dB(A)	61,1	61,8	62,9	71,1	67,6	79,1	79,1	79,1
DIMENSIONS										
Height	°	mm	1380	1380	1380	1380	1380	1380	1380	1380
Width	°	mm	1320	1320	1320	1320	2009	2009	2009	2009
Depth	°	mm	845	845	845	845	845	845	845	845
WEIGHTS										
Empty weight	°	kg	370	370	381	388	522	598	708	753
Empty weight	D	kg	385	385	396	403	540	616	727	772

^{††}Minimum water content for process applications or operation with low load.

^{†††}Sound pressure in free field conditions with a reflective surface (directivity factor Q=2) in compliance with ISO 3744.

9.3. WRL200XH⁰⁰⁰⁰⁰⁰⁰⁰ HEATING MODE

	Condenser water outlet temperature °C																					
	25			30			35			40			45			50			55			
	Ph	Pe	C.O.P.	Ph	Pe	C.O.P.	Ph	Pe	C.O.P.	Ph	Pe	C.O.P.	Ph	Pe	C.O.P.	Ph	Pe	C.O.P.	Ph	Pe	C.O.P.	
EVAPORATOR WATER OUTLET TEMPERATURE °C	-8	48.57	10.73	4.53	47.68	11.89	4.01	46.92	13.26	3.54	46.18	14.78	3.12	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	-6	52.88	10.84	4.88	51.91	11.99	4.33	51.05	13.34	3.83	50.17	14.84	3.38	49.15	16.45	2.99	-	-	-	-	-	-
	-4	57.01	10.95	5.21	55.98	12.08	4.63	55.01	13.41	4.10	53.99	14.90	3.62	52.80	16.48	3.20	51.33	18.12	2.83	-	-	-
	-3	59.03	11.00	5.36	57.96	12.12	4.78	56.94	13.45	4.23	55.85	14.92	3.74	54.58	16.50	3.31	53.00	18.13	2.92	-	-	-
	-2	61.01	11.05	5.52	59.92	12.16	4.93	58.85	13.48	4.37	57.69	14.95	3.86	56.32	16.52	3.41	54.64	18.14	3.01	-	-	-
	0	64.92	11.14	5.83	63.75	12.24	5.21	62.58	13.54	4.62	61.28	14.99	4.09	59.75	16.55	3.61	57.85	18.15	3.19	55.49	19.75	2.81
	2	68.75	11.23	6.12	67.52	12.31	5.48	66.25	13.60	4.87	64.82	15.04	4.31	63.11	16.58	3.81	61.01	18.16	3.36	58.40	19.75	2.96
	4	72.55	11.31	6.41	71.26	12.38	5.75	69.89	13.66	5.12	68.32	15.08	4.53	66.45	16.61	4.00	64.14	18.18	3.53	61.29	19.76	3.10
	5	74.45	11.35	6.56	73.13	12.42	5.89	71.71	13.69	5.24	70.08	15.11	4.64	68.40	16.70	4.10	65.71	18.19	3.61	62.74	19.76	3.18
	6	76.36	11.39	6.70	75.01	12.45	6.02	73.54	13.72	5.36	71.84	15.13	4.75	69.79	16.65	4.19	67.28	18.21	3.70	64.19	19.77	3.25
	7	78.27	11.43	6.85	76.89	12.49	6.16	75.37	13.75	5.48	73.61	15.16	4.86	71.48	16.67	4.29	68.87	18.22	3.78	65.66	19.77	3.32
	8	80.20	11.47	6.99	78.79	12.52	6.29	77.22	13.78	5.60	75.39	15.18	4.97	73.18	16.69	4.39	70.47	18.24	3.86	67.14	19.78	3.39
	10	84.11	11.55	7.28	82.64	12.60	6.56	80.98	13.84	5.85	79.03	15.24	5.19	76.65	16.73	4.58	73.74	18.27	4.03	70.17	19.81	3.54
	12	-	-	-	86.60	12.67	6.83	84.85	13.92	6.10	82.77	15.30	5.41	80.22	16.79	4.78	77.11	18.32	4.21	73.31	19.85	3.69
	14	-	-	-	90.71	12.76	7.11	88.87	13.99	6.35	86.65	15.38	5.64	83.95	16.86	4.98	80.64	18.38	4.39	76.61	19.90	3.85
	16	-	-	-	-	-	-	93.06	14.08	6.61	90.72	15.46	5.87	87.85	16.93	5.19	84.35	18.45	4.57	80.08	19.97	4.01
	18	-	-	-	-	-	-	97.46	14.18	6.87	95.00	15.55	6.11	91.97	17.03	5.40	88.27	18.54	4.76	83.78	20.05	4.18

9.4. WRL200XH⁰⁰⁰⁰⁰⁰⁰⁰ COOLING MODE

	Condenser water outlet temperature °C																					
	25			30			35			40			45			50			55			
	Pc	Pe	EER	Pc	Pe	EER	Pc	Pe	EER	Pc	Pe	EER	Pc	Pe	EER	Pc	Pe	EER	Pc	Pe	EER	
EVAPORATOR WATER OUTLET TEMPERATURE °C	-8	36.29	10.91	3.33	34.62	12.11	2.86	32.80	13.50	2.43	30.84	15.06	2.05	-	-	-	-	-	-	-	-	
	-6	40.32	11.04	3.65	38.60	12.21	3.16	36.66	13.59	2.70	34.53	15.12	2.28	32.22	16.75	1.92	-	-	-	-	-	
	-4	44.20	11.15	3.96	42.43	12.31	3.45	40.39	13.66	2.96	38.11	15.18	2.51	35.59	16.79	2.12	32.84	18.46	1.78	-	-	
	-3	46.08	11.20	4.11	44.30	12.35	3.59	42.22	13.70	3.08	39.86	15.20	2.62	37.24	16.81	2.22	34.36	18.46	1.86	-	-	
	-2	47.93	11.25	4.26	46.14	12.39	3.72	44.02	13.73	3.21	41.59	15.23	2.73	38.87	16.82	2.31	35.87	18.47	1.94	-	-	
	0	51.56	11.34	4.54	49.75	12.47	3.99	47.56	13.80	3.45	45.00	15.27	2.95	42.10	16.85	2.50	38.86	18.49	2.10	35.31	20.12	1.76
	2	55.10	11.43	4.82	53.28	12.54	4.25	51.04	13.86	3.68	48.37	15.32	3.16	45.30	16.89	2.68	41.84	18.50	2.26	38.00	20.12	1.89
	4	58.57	11.52	5.09	56.77	12.62	4.50	54.48	13.92	3.91	51.71	15.37	3.37	48.49	16.92	2.87	44.82	18.52	2.42	40.71	20.12	2.02
	5	60.29	11.56	5.22	58.50	12.65	4.62	56.20	13.95	4.03	53.39	15.39	3.47	50.09	16.94	2.96	46.31	18.53	2.50	42.08	20.13	2.09
	6	62.00	11.60	5.35	60.23	12.69	4.75	57.91	13.98	4.14	55.06	15.42	3.57	51.69	16.95	3.05	47.82	18.54	2.58	43.47	20.13	2.16
	7	63.71	11.64	5.47	61.96	12.72	4.87	59.80	14.00	4.27	56.74	15.44	3.67	53.31	16.97	3.14	49.35	18.56	2.66	44.87	20.14	2.23
	8	65.42	11.68	5.60	63.69	12.76	4.99	61.36	14.04	4.37	58.43	15.47	3.78	54.94	17.00	3.23	50.89	18.57	2.74	46.29	20.15	2.30
	10	68.85	11.76	5.85	67.17	12.83	5.23	64.84	14.10	4.60	61.86	15.52	3.98	58.25	17.04	3.42	54.03	18.61	2.90	49.21	20.18	2.44
	12	-	-	-	70.70	12.91	5.48	68.38	14.18	4.82	65.35	15.59	4.19	61.65	17.10	3.60	57.27	18.66	3.07	52.24	20.22	2.58
	14	-	-	-	74.30	13.00	5.72	72.00	14.26	5.05	68.95	15.66	4.40	65.16	17.17	3.79	60.64	18.72	3.24	55.41	20.28	2.73
	16	-	-	-	-	-	-	75.74	14.34	5.28	72.67	15.75	4.61	68.80	17.25	3.99	64.16	18.80	3.41	58.75	20.34	2.89
	18	-	-	-	-	-	-	79.60	14.44	5.51	76.53	15.85	4.83	72.61	17.34	4.19	67.85	18.89	3.59	62.28	20.43	3.05

WARNING!

The Power efficiency and absorbed Power data in these tables refer to the performance and absorption of the WRL units without considering the capacity of the pump units UNI EN 14511: 2008 (as require by Eurovent).

ΔT DIFFERENT FROM NOMINAL (ΔT 5)				
AT THE EVAPORATOR	3	5	8	10
Cooling capacity	0.99	1	1.02	1.03
Input power	0.99	1	1.01	1.02
Heating capacity	0.99	1	1.02	1.03
AT CONDENSER	-	5	10	15
Cooling capacity	-	1	1.01	1.02
Input power	-	1	0.99	0.98
Heating capacity	-	the variations can be ignored		

FOULING FACTOR [K*M ²]/[W]			
	0.00001	0.00002	0.00005
Cooling capacity	1	0.99	0.98
Input power	1	1	1
Heating capacity	1	1	0.99
Input power	1	1	1.02

KEY

- Ph Heating capacity
- Pc Cooling capacity
- Pe Input power

16. SELECTION AND PLACE OF INSTALLATION

The unit is set-up for *INDOOR* applications. It is shipped pre-tested and only requires the electrical and hydraulic connections. Before beginning the installation process, decide with the client where the unit is to be installed, whilst paying attention to the following:

- The support surface must be capable

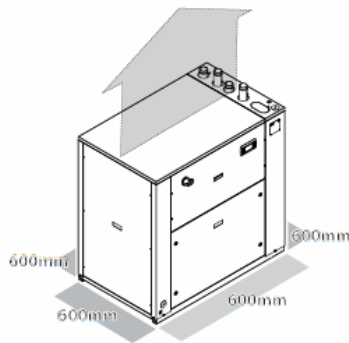
of supporting the unit weight.

- The safety distances between the units and other appliances or structures must be scrupulously respected.
- The unit must be installed by a qualified technician in compliance with national laws in the country of destination.
- It is mandatory to foresee to the

necessary technical space in order to allow *ROUTINE AND EXTRAORDINARY MAINTENANCE* interventions.

- Remember that during operation, the chiller can cause vibrations; therefore "VT" anti-vibration mounts (ACCESSORIES) are recommended, fixed on the base according to the assembly layout.
- Fix the unit checking that it is level.

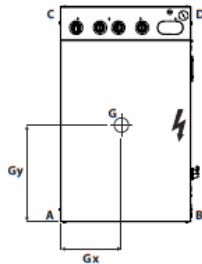
16.1. ► MINIMUM TECHNICAL MEASUREMENTS



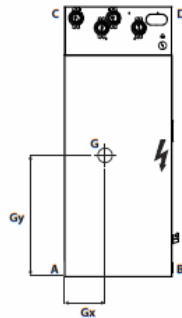
WARNING
 It is obligatory to comply with the indicated minimum measurements; the height and the back must be sized according to the type of system and place of installation.

16.2. BARYCENTRES

WRL 180 / 400



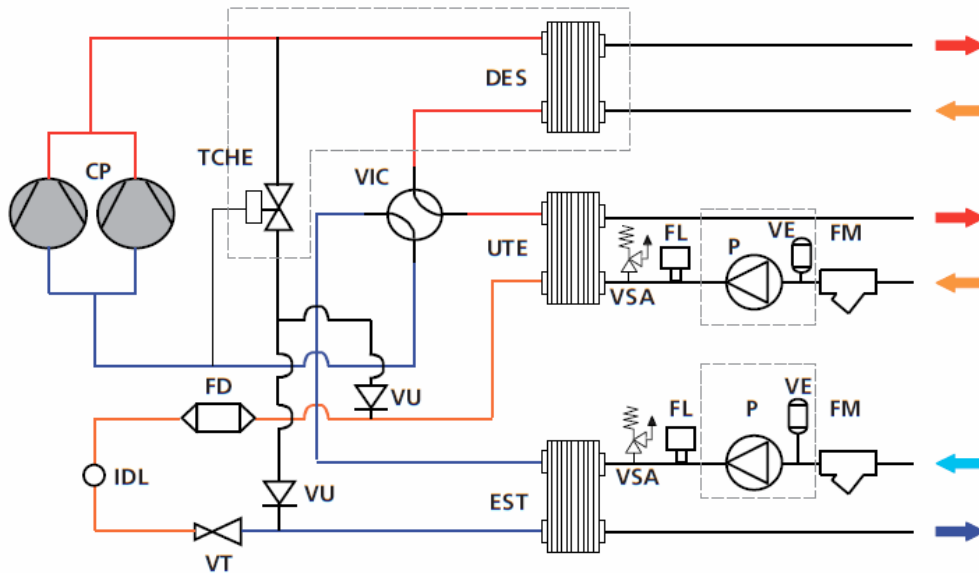
WRL 500 / 650



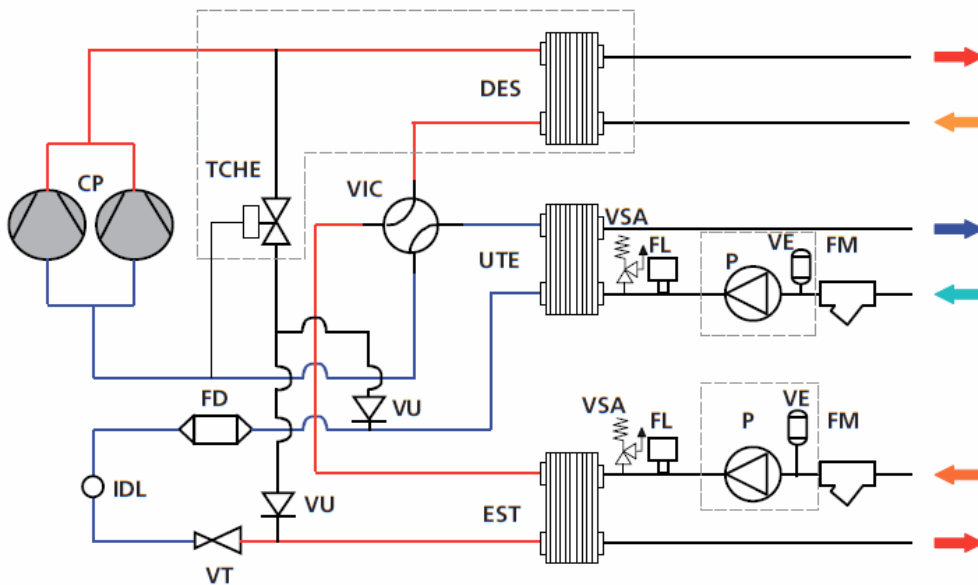
WRH	Total weight when empty (to be shipped)	Gx	Gy	Unit total weight when running	Gx	Gy	Rest point A [kg]	Rest point B [kg]	Rest point C [kg]	Rest point D [kg]
180	380	415	534	390	411	553	109.1	115.0	80.8	85.2
200	380	415	534	390	411	553	109.1	115.0	80.8	85.2
300	391	413	543	404	408	564	112.0	116.6	85.9	89.4
400	398	416	538	411	411	559	113.9	120.4	85.8	90.8
500	534	387	976	552	383	1006	143.1	131.5	144.8	133.0
550	610	386	916	628	383	944	172.9	158.8	154.7	142.1
600	720	381	949	749	377	980	201.9	180.3	194.0	173.1
650	765	381	912	794	378	943	221.6	198.1	197.8	176.8

18. REFRIGERANT CIRCUITS

18.1. WRLH 180-500 GAS SIDE CYCLE INVERSION IN HEATING MODE // BIFLOW EXPANSION LINE



18.2. WRLH 180-500 GAS SIDE CYCLE INVERSION IN COOLING MODE // BIFLOW EXPANSION LINE



CP	compressor	P	pump
DES	desuperheater	TCHE	hot gas bypass valve
SUM	(geothermic) external side	UTE	user side
FD	biflow dehydrator filter	VE	expansion vessel
FL	flow switch	VIC	cycle reversing valve
FM	water filter	VSA	safety valve
IDL	liquid indicator	VT	thermostatic valve

WARNING:
 If an electronic thermostatic valve (x) and desuperheater (D) are present, the hot gas bypass valve (TCHE) is not present.

--- = Components that can be selected by the configurator.

Anexo II: Catálogo de la Bomba de Calor Aerotérmica Deron DE-180W/D

En este segundo anexo se muestran los aspectos más relevantes del catálogo de la bomba de calor aerotérmica aire-agua Deron DE-180W/D. Esta bomba de calor se ha utilizado para la simulación del sistema de generación aerotérmico así como para la parte correspondiente de la dual.

DERON Air-Water Heat Pump For Sanitary Hot Water/Central Heating



Brief introduction:

This series of air source heat pump is designed for the common area of ambient temperature between -10 °C, to 45°C, .

The unit is designed for residential sanitary hot water of bathroom, kitchen etc. or offering central heating(radiator/floor heating) to houses, or commercial building, for example, hotel, school, hospital, hair salon, etc.

In the mean time, cooling function for air conditioner is for optional.

This unit could be installed in outdoors, as floating support for compressor to reduce vibration at the most extent and noise insulation inside the cabinet as well as noise jacket for compressor.

The compact design heat pump is built-in Copeland or Daikin scroll type compressor ,Deron made coaxial coil heat exchanger, Emerson thermal expansion valve and Saginomiya four-way valve to ensure it work smoothly and efficiently.



Models:

DE-27W/C
 DE-36W/C
 DE-46W/C

DE-27W/D
 DE-36W/D
 DE-46W/D
 DE-52W/D

DE-75W/D
 DE-92W/D
 DE-105W/D

DE-180W/D
 DE-225W/D
 DE-270W/D

DERON Air-Water Heat Pump For Sanitary Hot Water/Central Heating

Product Description



- Compact air/water heat pump for outdoor installation.
- With suction gas cooled scroll compressor.
- With extensive hydrophilic coating aluminum/Cu lamellar tube evaporator and coaxial condenser.
- Axial fan
- Refrigerant cycle with thermostatic expansion valve, filter, gas-liquid separator, high and low pressure switches.
- With efficient automatic defrosting by hot gas principle.
- Electric and terminal box. With control and disturbance signaling.
- Heating regulator for mounting to the wall.
- Stable water flow switch is optional.
- Filled with refrigerant R410a. Other Eco-friendly refrigerant like R134a, R417a etc. is available.
- Auxiliary electric heater or solar coil is optional as a back up heater.
- Strict noise control. Floating support for compressor
- To reduce vibration at the most extent and sandwich noise insulation inside the cabinet and noise preventing jacket for compressor.
- Water connections**
 - Water connections have to be done on site.
 - Heating and condensate connections of flexible pipes with external thread (R).
- Condensate connection**
 - The drain pipeline is to be made with sufficient incline and without change of the crosssection.
 - The water connections and the drain pipelines must be protected against frost on site.
 - Siphon on site.
- Heat source connections(Air intake or air outlet)**
 - Air intake from sides. Air outlet from the top.
- Electrical connections**
 - Connection from the bottom to the left or to the right.
- Installation**
 - Variable and cost-efficient installation possibilities.
- Delivery**
 - Complete, well packed(Every unit will be tested to ensure the superior quality and feature before package).

DERON Model	Heat output(A20/water55) kw
DE-27W/D(or C)	10.5
DE-36 W/ D(or C)	15.0
DE-46 W/ D(or C)	19.0
DE-52W/D	21.0
DE-75W/D	30.0
DE-92W/D	38.0
DE-105W/D	42.0
DE-150W/D	57.0
DE-180W/D	74.5
DE-225W/D	83.0
DE-270W/D	110.0

DERON Air-Water Heat Pump For Sanitary Hot Water/Central Heating

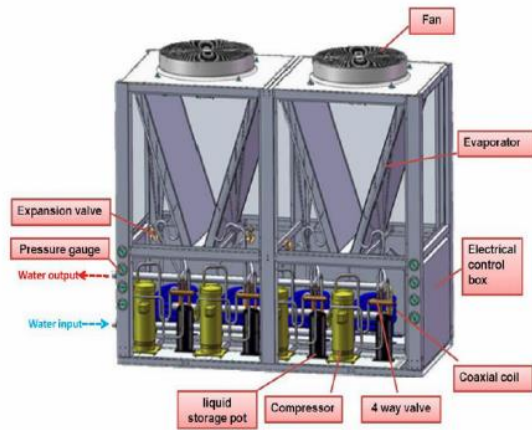
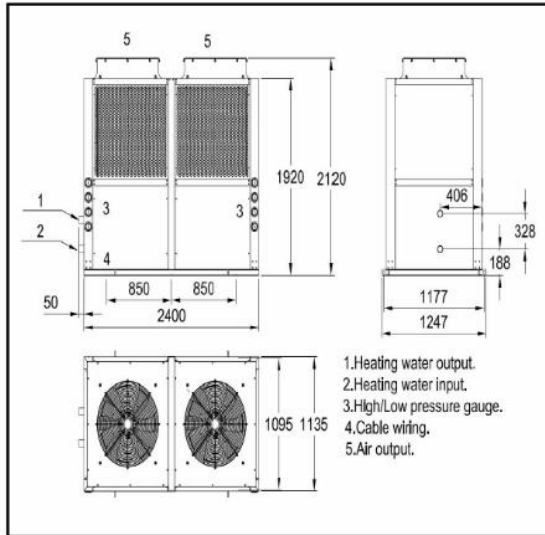


Model		DE-75W/D	DE-92W/D	DE-105W/D	DE-150W/D	DE-180W/D	DE-225W/D	DE-270W/D
Power supply	(V/ph/Hz)	380/3/50	380/3/50	380/3/50	380/3/50	380/3/50	380/3/50	380/3/50
*Heating capacity	(kw)	30	38	42	57	74.5	83	110
	(BTU)	102354	129648	143296	194473	254179	283179	375298
*Rated power input	(kw)	7.5	9.2	10.5	15	18	22.5	27
*Test condition		*Ambient temp.(Dry Bulb/Wet Bulb): 20°C/15°C, Water temp.(in/out): 15°C/55°C.						
**Heating capacity	(kw)	24	30.5	33	45	60	66	92
	(BTU)	81883	104060	112589	156943	204708	225179	313986
**Rated power input	(kw)	6.4	8.2	8.6	12.5	16	17	25
**Test condition		**Ambient temp.(Dry Bulb/Wet Bulb): 7°C/6°C, Water temp.(in/out): 30°C/35°C.						
Refrigerant		R410A						
Refrigerant weight	(kg)	2000*2	2000*2	2800*2	2200*4	2200*6	2800*4	2200*6
Compressor	(type)	Scroll						
	(number)	2	2	2	3	4	4	6
Fan	(type)	Axial flow type with Nylon fan blade						
	(discharging)	Vertical						
	(number)	1	1	1	3	2	2	2
	(air flow)(m3/h)	7400	7400	11000	5000*3	7400*2	12000*2	12000*2
Evaporator	(type)	Aluminium/Cu lamellar tube evaporator						
Condenser (heat exchanger)	(type)	Coaxial coil heat exchanger (Copper Tube-in- Steel Tube)						
Throttling device		Emerson thermal expansion valve						
Controller		Indoor Digital Controller						
Required hot water flow rate	(m3/h)	6	8	9.6	12	16	20	24
Water connection		G1-1/4"	G1-1/4"	G1-1/4"	G2"	G2"	G2-1/2"	G2-1/2"
Suggested tank capacity	(t)	5-8	7-10	8-12	10-15	15-20	20-25	25-30
Noise	dB(A)	≤60	≤60	≤60	≤62	≤64	≤65	≤65
Max. current	(A)	21	25	28.5	37.5	49	62	73.5
Level again electric shock		I	I	I	I	I	I	I
Water proof		IPX4	IPX4	IPX4	IPX4	IPX4	IPX4	IPX4
Max. water temp.	(°C)	60	60	60	60	60	60	60
Operation temp. range	(°C)	-10-45	-10-45	-10-45	-10-45	-10-45	-10-45	-10-45
Net weight	(kg)	260	270	295	495	622	755	893
Net size	(mm)	1270X950X1225	1270X950X1225	1200X970X1425	2140X1280X1670	2200X1315X2080	2400X1300X2150	2400X1300X2150

DERON Air-Water Heat Pump
 For Sanitary Hot Water/Central Heating



Dimension (mm) and Structure of DE-180W/D:



DERON Air-Water Heat Pump
 For Sanitary Hot Water/Central Heating



Performance Data:

Model	DE-46W/D			DE-92W/D			DE-105W/D			DE-150W/D			DE-180W/D			
T _w (°C)	T _a (°C)	H _c (KW)	P _i (KW)	COP	H _c (KW)	P _i (KW)	COP	H _c (KW)	P _i (KW)	COP	H _c (KW)	P _i (KW)	COP	H _c (KW)	P _i (KW)	COP
30	7	15.7	3.4	4.5	31.2	7.4	4.2	32.3	7.5	4.3	44.9	10.9	4.1	63.2	14.8	4.2
	10	16.5	3.5	4.7	33.5	7.6	4.4	33.6	7.4	4.5	46.7	11.1	4.2	65.7	15	4.4
	20	19.7	3.6	5.4	39.8	7.8	5.1	40	7.6	5.3	55.6	11.4	4.84	79.7	15.6	5.1
	30	21.2	3.7	6.6	43	7.9	5.4	43.2	7.7	5.6	60	11.6	5.1	85.9	15.8	5.4
35	7	15	3.9	3.8	30.6	8.2	3.7	34.3	8.1	4.2	40.2	11.2	3.6	61.3	15.7	3.9
	10	15.9	3.9	4	32.4	8.3	3.9	36.2	8.2	4.4	42.5	11.3	3.8	64.7	15.9	4.1
	20	18.8	4	4.7	38.6	8.6	4.5	45.5	8.7	5.1	53.3	12	4.41	83	17.1	4.8
	30	20.2	4.1	4.9	41.6	8.8	4.7	49	8.9	5.5	56.9	12.3	4.6	83.2	17.1	4.8
40	7	14.7	4.2	3.5	29.8	8.9	3.3	34.4	8.8	3.9	39	12.5	3.1	60.5	17.2	3.5
	10	15.5	4.4	3.6	31.5	9	3.5	36.3	8.9	4	41.2	13	3.7	62.8	17.6	3.6
	20	18.6	4.3	4.3	37.6	9.2	4.1	43.7	9.6	4.5	50.9	13.2	3.85	81.5	18.5	4.4
	30	20.5	4.3	4.7	41	9.3	4.4	47.6	9.7	4.9	54.2	13.4	4	82.1	18.6	4.5
45	7	14.3	4.6	3.1	29.3	9.4	3.1	33.6	10.5	3.2	38.5	13.6	2.8	59.3	18.7	3.2
	10	14.9	4.6	3.2	31.2	9.5	3.3	35.7	10.6	3.4	40	14	2.9	61.2	19	3.3
	20	18.2	4.7	3.8	36.3	9.6	3.8	43.9	10.8	4.1	51.4	14.2	3.61	81.4	20.2	4
	30	20.3	4.8	4.2	40.1	9.7	4.1	48.4	10.9	4.4	53.6	14.4	3.7	82	20.8	3.9
50	7	14	5	2.8	28.9	10.7	2.7	34.5	11.7	2.9	37.9	14.5	2.6	58.2	21.3	2.7
	10	14.9	5.1	2.9	30.9	10.8	2.9	36.8	11.8	3.1	39.4	15.1	2.6	60.1	22	2.8
	20	17.7	5.2	3.3	35.8	10.9	3.3	43.9	12.1	3.6	48.2	15.7	3.07	80.1	23.1	3.5
	30	19.4	5.4	3.5	39.4	10.9	3.6	48.3	12.1	3.9	52.8	16.2	3.3	81	23.9	3.5
55	7	13.8	5.6	2.4	28.1	10.8	2.6	34.6	13.1	2.6	37	16.7	2.2	57.2	25.1	2.3
	10	14.7	5.7	2.5	30	11.1	2.7	36.9	13.4	2.8	39	17.5	2.3	59.4	25	2.4
	20	16.3	5.6	2.9	37	12.3	3	45.3	14.8	3	47.2	18.8	2.5	78.8	25	2.6
	30	17.1	5.6	3	39	12.4	3.1	47.7	14.9	3.2	51.1	18.9	2.7	79.6	25.7	2.8
60	7	13.4	6.2	2.2	27.3	13	2.1	34	14.6	2.3	36.4	19	2.1	56.9	26.1	2.3
	10	14.3	6.3	2.1	29.2	13.2	2.2	36.3	14.8	2.5	38.6	20.2	2	58.3	27.3	2.3
	20	16.4	6.2	2.7	33.8	13.3	2.5	42.4	14.4	2.9	46.8	19.5	2.4	78.2	28	2.8
	30	18.7	6.4	2.9	38.6	13.3	2.9	48.4	15	3.2	50	17.8	2.8	79	28.6	2.9

1. T_w: Output water temperature(°C)
2. T_a: Ambient temperature(°C)
3. P_i: Power consumption of the whole unit(W)
4. H_c: Heating capacity(W)
5. COP: Coefficient of Performance

Anexo III: Catálogo de la Caldera de Condensación Vaillant ecoCRAFTexclusiv VKK1206/3E

En este anexo se presentan los aspectos más relevantes que nos muestra el catálogo de la caldera de condensación Vaillant ecoCRAFTexclusiv VKK1206/3E. Dicha caldera se ha utilizado para todas las simulaciones de este trabajo.

■ Calefacción y ACS

Calderas de
Condensación Vaillant



La Condensación con mayúsculas.

■ Calderas murales y de pie de condensación para soluciones domésticas y centralizadas alta potencia

Porque  **Vaillant** piensa en futuro.

Condensación Vaillant

Expertos en calderas de Condensación

El producto más adecuado para cualquier necesidad y demanda de ACS

ecoTEC exclusive
Calderas mixtas y sólo calefacción



ecoTEC plus
Calderas mixtas y sólo calefacción



ecoTEC plus alta potencia
Calderas sólo calefacción alta potencia



Un diseño elegante y práctico
Se adapta a cualquier ambiente. Y un cuidado diseño interior que facilita el trabajo de los profesionales.

Manejo intuitivo

Las calderas cuentan con un display con pantalla grande retroiluminada y la mayoría con texto explicativo que permite un manejo de la caldera sencillo e intuitivo.

Acumuladores de ACS

Y para combinar con todas estas calderas una amplia gama de acumuladores de ACS para satisfacer las más exigentes demandas de agua caliente.

Accesorios de regulación
Regulación inteligente para cualquier tipo de instalación.

Accesorios de instalación
Disponibles para facilitar la instalación tanto hidráulica como de salida de gases. Una única plantilla de instalación con las mismas dimensiones de conexión para todas las calderas murales: todas las gamas de calderas murales se instalan igual.



ecoTEC plus + actoSTOR
Calderas mixtas con acumulador



ecoCOMPACT
Combinación elegante de alto confort ACS y la más alta eficiencia en el menor espacio



ecoCRAFT exclusive
Caldera de pie alta potencia



Con 140 años de experiencia en tecnología de calefacción con gas, Vaillant es pionera en la tecnología de condensación en Europa, logrando un progreso significativo y demostrando constantemente nuestra capacidad para ofrecer innovadoras soluciones que se adaptan a cualquier necesidad.

Las calderas de condensación Vaillant son cada vez más eficientes, más inteligentes, más simples, más limpias, más silenciosas, más duraderas y fáciles de usar. Todas las calderas de condensación de Vaillant destacan por tener una innovadora ingeniería, una increíble eficiencia y un diseño compacto y elegante.

Ahorro en gas y electricidad

Las calderas de condensación ecoTEC plus de Vaillant han sido las primeras del mercado con las que sus usuarios ahorran en la factura del gas y la electricidad. Ofrecen máximo confort con el mínimo consumo. Además, si junto con la caldera se instala un termostato modulante o con sonda exterior el ahorro se incrementa notablemente.

Hibridación con otros sistemas

Gracias a la importante inversión en I+D que lleva a cabo, Vaillant puede ofrecer soluciones técnicas para cualquier necesidad. Instalar una caldera de condensación Vaillant con un sistema solar o bomba de calor permite a los usuarios ahorrar mucha más energía y recursos.

Premios y reconocimientos

Las calderas de condensación de Vaillant cuentan con varios reconocimientos a nivel internacional, entre ellos destaca el reconocimiento que les han otorgado en el Reino Unido, donde el mercado de las calderas de condensación ronda el 100%, como una de las marcas Superbrands, que garantiza a los usuarios que están adquiriendo el mejor producto al elegir Vaillant.



Condensación

5



Calderas domésticas					Alta potencia			
		ecoTEC plus				ecoTEC pro	ecoTEC plus	ecoCRAFT exclusive
VMW 246/5-5 VMW 306/5-5 VMW 346/5-5	VMW 236/5-5 FA	VMI 306/5-5 VMI 346/5-5	VM 246/5-5 VM 306/5-5 VM 386/5-5	VM 466/5-5 A VM 656/5-5 A	VMW 236/5-3 A VMW 286/5-3 A	VM 806/5-5 VM 1006/5-5 VM 1206/5-5	VKK 806/3-E HL R1 VKK 1206/3-E HL R1 VKK 1606/3-E HL R1 VKK 2006/3-E HL R1 VKK 2406/3-E HL R1 VKK 2806/3-E HL R1	
Mixtas		Mixtas con acumulación	Sólo calefacción		Mixtas	Sólo calefacción	Sólo calefacción	
Mural					Mural	Mural	De pie	
24/30/34	23	30/34	24/30/38	46/65	23/28	80/100/120	80/120/160 200/240/280	
Opcional					Opcional	Opcional	Opcional	
Elect. aire-gas	Neumático	Electrónico aire-gas		Neumático	Neumático	Neumático	Neumático	
No		No		No	No	No	No	
1:5 (16) 1:5,8 (1:6,3) 34 kW	1:3,8 (14,6)	1:5 (16) 1:5,8 (1:6,3) 34 kW	1:5 (16) 1:5,8 (1:6,3) 38 kW	1:3,7 (13,7) 46 kW 1:4,6 (14,6) 65 kW	1:3,8 (14,6) 23 kW 1:4 (14,7) 28 kW	1:5	1:5,6 (80,120,280 kW) 1:6 (160 kW) 1:5 (200 y 240 kW)	
No		No		No	No	No	No	
No		-		No	-	-	-	
Microacumulación	Pre calentamiento	Estratificación	Acumulador por separado		Pre calentamiento	Acumulador por separado	Acumulador por separado	
-	-	-	Sí		No	Sí	Sí	
-	-	-	Sí		No	Sí	Sí	
FLiDe*	-	FLiDe*		-	-	FLiDe*	Multisensores	
Sí		Sí		Sí	Sí	Accesorio	Accesorio	
-	20 L	-		-	-	-	-	
Acero inoxidable					Acero inoxidable	Acero inoxidable	Fund. Al-Si	
-		Sí		-	Sí	Sí	Sí	
4 Integradas	3 Integradas	Integradas	Suministradas	Opcional	3 Integradas	Opcional	Opcional	
***	**	***	-		**	-	-	
ProE	Alguna ProE	ProE		Alguna ProE	ProE	ProE	ProE	
Integrado	Con VR40	Integrado		Con VR40	Integrado	Integrado	Integrado	
Integrado					Integrado	Integrado	Integrado	
Sí				65 kW No para Propano	Sí	Sí	No para Propano	
Sí					Sí	Sí	No	

Altas potencias

ecoCRAFT exclusiv

Sólo calefacción

Potencias: 80, 120, 160, 200, 240 y 280 kW

- Cascadas hasta 1.120 kW
- Caldera de condensación de pie compacta de altas prestaciones y bajas emisiones
- Capaz de dar servicio a edificios multivivienda de uso terciario
- Quemador de premezcla de acero inoxidable
- Regulación electrónica de la mezcla de aire/gas
- Ámpleo rango de modulación (17-100%)
- Elevado rendimiento (hasta 110% s/ PC)
- Terminal de usuario con pantalla multifunción
- Posibilidad de instalación hasta 4 calderas con un amplio rango de modulación (14,1 - 1120 kW). Las cascadas de calderas ecoCRAFT permiten adaptar la tecnología de la condensación a edificios de viviendas en altura de tamaño medio-grande y a instalaciones de uso terciario y negocios como hoteles de tamaño medio.

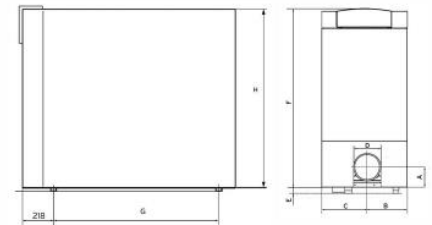


Condensación



Condiciones	Ud.	ecoCRAFT exclusiv VKK						
		80€/3-E	120€/3-E	160€/3-E	200€/3-E	240€/3-E	280€/3-E	
Datos técnicos								
Potencia (d)l min.-máx.	40/20 °C	kW	14,7-84,1	23,1-121,8	28,4-148,2	46,2-230,2	59,4-352,2	84,7-394,3
Potencia (d)l min.-máx.	60/40 °C	kW	14,1-80,4	22,1-116,5	27,1-160,8	44,2-220,0	48,2-241,2	52,3-261,4
Potencia (d)l min.-máx.	80/60 °C	kW	13,6-77,9	21,3-107,9	26,2-155,8	43,1-196,8	47,0-236,2	51,0-275,5
Rango de modulación	%	%	17,5-100	19-100	17-100	22-100	20-100	19-100
Potencia calorífico nom.	kW	kW	80,0	115,9	160,0	200,0	240,0	280,0
Reint. estándar	%	%	108	108	108	108	108	108
Calefacción								
Rango Tª ajustables	°C	°C	35-85	35-85	35-85	35-85	35-85	35-85
Temperatura máxima	°C	°C	85	85	85	85	85	85
Caudal	L/h	L/h	3,442	4,986	6,883	8,604	10,325	12,046
Pérdida de carga	mbar	mbar	6	6	6	6	6	6
Presión máxima	bar	bar	6	6	6	6	6	6
Conexiones								
Conex. ida/retorno	Ø mm	Ø mm	Ø2"	Ø2"	Ø2"	Ø2"	Ø2"	Ø2"
Conex. condensados	Ø mm	Ø mm	Ø1"	Ø1"	Ø1"	Ø1"	Ø1"	Ø1"
Conexión de gas	Ø mm	Ø mm	1 1/2"	1 1/2"	1 1/2"	1 1/2"	1 1/2"	1 1/2"
Conducto evacuación								
Conexión salida gases	mm	mm	150	150	150	200	200	200
Presión de tiro	Pa	Pa	100,0	100,0	150,0	150,0	150,0	150,0
Tipos de instalación								
			Cn Cn Cn Cn Cn Bn Bn					
Peso								
Con embalaje	kg	kg	260	280	295	340	360	375
Sin embalaje	kg	kg	200	220	235	275	295	310
Sin embalaje, con agua	kg	kg	210	235	255	300	320	340
Conexión eléctrica								
Tensión/frecuencia	V/Hz	V/Hz	230 / 50	230 / 50	230 / 50	230 / 50	230 / 50	230 / 50
Potencia absorbida	W	W	260	260	320	320	320	320
Grado prot. eléctrica	IP 20	IP 20	IP 20	IP 20	IP 20	IP 20	IP 20	IP 20
Homologación								
	CE		0063853740					

1) EN 483



	A	B	C	D	E	F	G	H
VKK 80-160	165	326	369	150	50	190	867	1305
VKK 200-280	165	326	369	200	50	1500	1178	1350
Cascada	282-447	D+700	700	1500	1830	G+Q,055x8	250	160-364

