



industriales

etsii

Escuela Técnica  
Superior  
de Ingeniería  
Industrial

# UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial

## Diseño de una instalación para el ensayo de equipos de generación de ACS con bombas de calor agua/agua

TRABAJO FIN DE MÁSTER

ENERGÍAS RENOVABLES

**Autor:** Héctor Julio León

**Director:** Francisco Javier Sánchez Velasco

**Codirector:** Fernando Illán Gómez



Universidad  
Politécnica  
de Cartagena

Cartagena, 17 de septiembre de 2018

## Agradecimiento

Agradezco a mis tutores, Francisco Javier Sánchez Velasco, Fernando Illán Gómez y José Ramón García Cascales por estar siempre en disposición de ayudar con el proyecto, ofreciendo informaciones y documentos útiles para la realización del mismo.

A mi madre, mis tías, hermanos, mis sobrinos y mi novia por motivarme y apoyarme durante la realización del máster.

## Índice

1.	Introducción .....	10
2.	Objetivos.....	11
2.1	Objetivo general.....	11
2.2	Objetivos específicos.....	11
3	Justificación .....	12
4	Estudio de la evolución y funcionamiento de bombas de calor .....	13
4.1	Orígenes y evolución de las bombas de calor.....	13
4.2	Funcionamiento de una bomba de calor. ....	14
5	Estudio de la normativa UNE-EN 16147 .....	15
5.1	Aplicación de la normativa.....	15
5.2	Requisitos de instalación.....	15
5.2.1	Equipos de ensayos e incertidumbre de instalación.....	15
5.2.2	Incertidumbre de los equipos .....	16
5.2.3	Instalación y conexión de la bomba de calor. ....	16
5.3	Condiciones del ensayo. ....	16
5.3.1	Descripción.....	16
5.3.2	Condiciones de ensayo. ....	17
5.4	Etapas de ensayos y prestaciones. ....	19
5.4.1	Generalidades. ....	19
5.4.2	Etapas de los ensayos. ....	19
6	Diseño y esquema de la instalación de ensayos de bombas de calor agua/agua. ....	20
7	Estudio de elementos y materiales de la instalación de ensayos.....	22
7.1	Estudio de los depósitos de inercia .....	22
7.2	Estudio de las bombas de recirculación y extracción.....	23
7.3	Estudio de la tuberías y accesorios. ....	25
7.3.1	Estudio de la tubería.....	25
7.3.2	Accesorios de tubería .....	26
7.3.3	Cálculos de pérdidas en el sistema .....	26

Diseño de una instalación para el ensayo de equipos de generación de ACS con bombas de calor agua/agua

7.4	Filtros de agua .....	30
7.5	Caudalímetro .....	30
7.6	Medida de temperatura .....	31
7.7	Sensor de nivel .....	32
7.8	Aislamiento térmico .....	33
7.9	Estudio de válvulas y sus tipos.....	33
7.9.1	Válvula manual.....	34
7.9.2	Válvula de tres vías. ....	34
7.9.3	Válvula de actuación eléctrica.....	36
7.10	Estudios de los accesorios de control .....	38
7.10.1	PID's.....	38
7.10.2	USB-3102 .....	39
7.10.3	Datalogger.....	40
8	Realización de las etapas de pruebas. ....	41
8.1	Potencia absorbida por las bombas de circulación del líquido. ....	41
8.2	Etapas de pruebas.....	42
8.2.1	Estabilización [Etapa A].....	42
8.2.2	Llenado y peso del depósito de acumulación [Etapa B]. ....	42
8.2.3	Llenado y período de subida de temperatura [Etapa C].....	43
8.2.4	Potencia absorbida en régimen estable [Etapa D].....	44
8.2.5	Paso de agua y cálculo del COP [Etapa E].....	45
8.2.5.1	Determinación de la energía útil. ....	45
8.2.5.3	Determinación del consumo de energía eléctrica ( $W_{EL-LP}$ ).....	48
8.2.5.4	Coefficiente de eficiencia energética ( $COP_{DHW}$ ). ....	48
8.2.6	Temperatura del agua caliente de referencia y agua mezclada a 40 °C [etapa F]. ....	48
8.2.7	Cálculo del factor de control inteligente SCF .....	49
8.2.7.1	Procedimiento de ensayos del control inteligente .....	50
8.2.7.3	Estabilización.....	51
8.2.7.4	Llenado y subida de temperatura .....	51
8.2.7.5	Estabilización antes del período de referencia .....	51
8.2.7.6	Período de referencia.....	51

## Diseño de una instalación para el ensayo de equipos de generación de ACS con bombas de calor agua/agua

8.2.7.7 Período inteligente .....	53
8.2.7.8 Registro del "factor de control inteligente" (SCF).....	54
8.2.7.9 Ciclo de verificación .....	54
8.2.8 Determinación del término de corrección de ambiente $Q_{cor}$ .....	54
8.2.9 Eficiencia energética para el calentador de agua $\eta_{wh}$ .....	55
8.2.10 Cálculo de $\eta_{wh}$ para los calentadores de agua con bomba de calor y los calentadores de agua mixtos con bomba de calor. ....	55
8.2.11 Cálculo del consumo anual de energía eléctrica.....	56
8.2.12 Potencia calorífica nominal.....	56
8.2.13 Coeficiente de rendimiento estacional ( $SCOP_{DHW}$ ) .....	56
8.2.14 Datos a registrar de los ensayos. ....	56
8.2.15 Informe de ensayos .....	58
8.2.16 Principales resultados obtenidos.....	59
9 Presupuesto de los materiales .....	60
10 Conclusiones.....	61
Bibliografía .....	62
Anexos.....	64

### Índice de figuras

Figura 1 Bomba de calor y sus componentes [3].....	14
Figura 2 Etapas y orden de los ensayos. [4] .....	19
Figura 3 Esquema de la instalación .....	20
Figura 4 Deposito marca Lapesa [5] .....	23
Figura 5 Bomba Pedrollo [6] .....	24
Figura 6 Bomba Wilo Pump [7].....	24
Figura 7 Diagrama de Moody.....	28
Figura 8 Filtro de agua.....	30
Figura 9 Caudalímetro electromagnético Siemens NS F M MAG 5100W [12].....	31
Figura 10 Transmisor Siemens F M MAGFLO MAG6000 [12] .....	31
Figura 11 Sensor de temperatura PT100 [13].....	31
Figura 12 Sensor de nivel [14].....	32
Figura 13 Coquilla de aislamiento.....	33
Figura 14 Válvula mecánica [16] .....	34

Figura 15 Válvula de tres vías [17] .....	35
Figura 16 Actuador de control modulante [17] .....	35
Figura 17 Cuerpo de la válvula [18] .....	37
Figura 18 Kit de actuación y actuador eléctrico [18] .....	38
Figura 19 PID [20] .....	39
Figura 20 USB-3102 [21] .....	39
Figura 21 Adquisidor de datos [22] .....	40
Figura 22 Tarjeta multiplexora [22] .....	40
Figura 23 Representación gráfica de un ensayo para un posible perfil de extracción .....	46
Figura 24 Procedimiento de ensayos para el CICLO INTELIGENTE .....	50

## Índice de tablas

Tabla 1 Incertidumbre de medición para los valores indicados [4] .....	16
Tabla 2 Variaciones admisibles en funcionamiento [4] .....	17
Tabla 3 Condiciones de ensayo aplicables a todos los sistemas [4] .....	18
Tabla 4 Condiciones de ensayo aplicables a tipos de sistemas específicos [4] .....	18
Tabla 5 Leyenda de los componentes del esquema .....	21
Tabla 6 Listados de equipos .....	22
Tabla 7 Características generales del deposito [5] .....	23
Tabla 8 Características técnicas de la tubería [8] .....	25
Tabla 9 Valores aproximados de K tomados del libro Robert L. Mott [11] .....	26
Tabla 10 Tolerancia de las temoresistencias .....	32
Tabla 11 Selección de Kvs [17] .....	36
Tabla 12 Ficha técnica de la válvula de actuación eléctrica [18] .....	37
Tabla 13 Características técnicas del actuador eléctrico .....	38
Tabla 14 Expresiones de incertidumbre medidas según los distintos factores .....	41
Tabla 15 Diferentes perfiles de extracción .....	55
Tabla 16 Ficha de registro de datos .....	57
Tabla 17 Datos complementarios a registrar para el ensayo de ciclo inteligente .....	58
Tabla 18 Presentación de los principales resultados .....	59

## Índice de fórmulas

Fórmula 1 .....	27
Fórmula 2 .....	27
Fórmula 3 .....	28
Fórmula 4 .....	29
Fórmula 5 .....	35
Fórmula 6 .....	41
Fórmula 7 .....	42

Diseño de una instalación para el ensayo de equipos de generación de ACS con bombas de calor agua/agua

Fórmula 8 .....	43
Fórmula 9 .....	43
Fórmula 10 .....	44
Fórmula 11 .....	44
Fórmula 12 .....	46
Fórmula 13 .....	47
Fórmula 14 .....	47
Fórmula 15 .....	47
Fórmula 16 .....	48
Fórmula 17 .....	48
Fórmula 18 .....	49
Fórmula 19 .....	49
Fórmula 20 .....	52
Fórmula 21 .....	52
Fórmula 22 .....	53
Fórmula 23 .....	53
Fórmula 24 .....	54
Fórmula 25 .....	54
Fórmula 26 .....	54
Fórmula 27 .....	55
Fórmula 28 .....	55
Fórmula 29 .....	56
Fórmula 30 .....	56

## Simbología

Símbolo	Descripción	Unidades
AEC	Consumo anual de energía eléctrica	kWh/a
CC	Coeficiente de conversión igual a 2,5	-
SCF	Factor de control inteligente	-
COP <sub>DHW</sub>	Coeficiente de eficiencia energética del agua caliente sanitaria	-
C <sub>p</sub>	Calor específico del agua	Kj/(kgK)
ESP	Presión estática externa	Pa
<i>f</i>	Caudal útil del agua	l/min
<i>f</i> <sub>max</sub>	Caudal máximo del perfil de extracción considerado	l/min
<i>f</i> <sub>max</sub> (t)	Caudal máximo de agua caliente durante la extracción	l/min
<i>f</i> (t)	Caudal útil del agua durante la extracción	l/min
<i>i</i>	Índice para el paso de agua	-
<i>k</i>	Coeficiente para el termino de corrección ambiente	-
M <sub>act</sub>	Diferencia entre las dos pesadas (lleno/vacío) del depósito de acumulación	kg
P <sub>es</sub>	Potencia absorbida en régimen estable	kW
P <sub>rated</sub>	Potencia calorífica nominal	kW
P <sub>s</sub>	Potencia media absorbida medida para los producto de tarifa reducida	kW
P <sub>stby</sub>	Perdida térmicas en régimen estable	kW
Q <sub>cor</sub>	Termino de corrección de ambiente	kWh
Q <sub>elec</sub>	Consumo diario de electricidad	kWh
Q <sub>EL-LP</sub>	Energía calorífica calculada generada por una resistencia eléctrica durante la extracción	kWh
Q <sub>EL-tap</sub>	Energía calorífica calculada generada por una resistencia que sirve para alcanzar la temperatura de paso	kWh
Q <sub>HP-Tap</sub>	Energía útil durante un único paso	kWh
Q <sub>LP</sub>	Energía útil total durante un perfil de extracción completo	kWh
Q <sub>elec</sub> <sup>smart</sup>	Consumo de energía eléctrica total durante el periodo inteligente del ciclo inteligente	kWh
Q <sub>LP</sub> <sup>smart</sup>	Energía útil total durante el periodo inteligente ciclo inteligente	kWh
Q <sub>elec</sub> <sup>ref</sup>	Consumo de energía eléctrica total durante el periodo de referencia del ciclo inteligente	kWh
Q <sub>LP</sub> <sup>ref</sup>	Energía útil total durante el periodo de referencia del ciclo inteligente	kWh
Q <sub>ref</sub>	Energía de referencia del perfil de extracción considerado	kWh
Q <sub>tap</sub>	Energía del agua caliente suministrada a una temperatura superior o igual a la temperatura útil del agua y con caudales superiores o iguales al caudal útil del agua	kWh
smart	Indicador de conformidad del control inteligente del producto	s
SCOP <sub>DHW</sub>	Coeficiente de rendimiento estacional para el agua caliente sanitaria	s
t <sub>d</sub>	Duración de etapa de ensayo	s
t <sub>es</sub>	Duración primer ciclo de marcha/parada de la bomba de calor	s
t <sub>h</sub>	Duración subida de temperatura	s
t <sub>40</sub>	Duración comprendida entre el comienzo de la extracción y el momento en que θ <sub>HD</sub> es inferior a 40°C	s
t <sub>tap</sub>	Duración de la extracción de agua útil	s
t <sub>TTC</sub>	Duración del perfil de extracción	s
T <sub>DB</sub>	Temperatura de bulbo seco	°C
T <sub>M</sub>	Temperatura del agua útil	°C

Diseño de una instalación para el ensayo de equipos de generación de ACS con bombas de calor agua/agua

Símbolo	Descripción	Unidades
$T_p$	Temperatura punta	°C
$T_{WB}$	Temperatura de bulbo húmedo	°C
$V_{air}$	Caudal-volumen de aire nominal	m <sup>3</sup> /s
$V_{fluid}$	Caudal- volumen de líquido medido	m <sup>3</sup> /s
$V_m$	Volumen del depósito acumulador	l
$V_{40}$	Agua mezclada a 40 °C	l
$W_{eh-HP}$	Consumo de energía eléctrica total durante la duración del ensayo $t_h$	kWh
$W_{eh-M}$	Consumo de energía eléctrica medida durante la duración del ensayo $t_h$	kWh
$W_{EL-Corr}$	Corrección debida al consumo de energía eléctrica del ventilador/bomba de circulación de líquido	kWh
$W_{EL-LP}$	Consumo de energía eléctrica total durante el perfil de extracción completo	kWh
$W_{EL-M-LP}$	Consumo de energía eléctrica total medido	kWh
$W_{EL-OFF}$	Consumo de energía eléctrica calculado para los productos con tarifa reducida	kWh
$W_{es-HP}$	Energía total absorbida durante el último ciclo marcha /parada	kWh
$W_{es-M}$	Consumo de energía eléctrica medida durante el último ciclo marcha/parada	kWh
$\Delta p_e$	Diferencia de presión estática externa medida	Pa
$\Delta p_i$	Diferencia de presión estática interna medida	Pa
$\eta$	Rendimiento del ventilador de acuerdo a la Norma EN14511-3	-
$\eta_{wh}$	Eficiencia energética para el calentador de agua	%
$\eta_{tap}$	Numero de pasos durante el perfil de extracción	-
$\Theta_{wc}$	Temperatura del agua fría de entrada	°C
$\Theta_{wc}(t)$	Temperatura del agua caliente durante la extracción	°C
$\Theta_{WH}$	Temperatura agua caliente salida	°C
$\Theta_{WH}(t)$	Temperatura de agua fría durante extracción	°C
$\Theta'_{WH}$	Temperatura referencia del agua caliente	°C
$\rho(T)$	Densidad del agua caliente temperatura T	Kg/m <sup>3</sup>
Re	Numero de Reynolds	-
V	Velocidad del agua	m/s
k	Rugosidad del material	-
D	Diámetro de la tubería	mm
A	Área por donde pasa el agua	m
$\Delta p_1$	Caída de presión de la válvula	kpa
$\Delta p_2$	caída de presión del resto del circuito	kpa

## 1. Introducción

La energía en forma de calor desde siempre ha sido necesaria para contrarrestar el frío durante los meses de invierno que azotan el continente europeo. El hombre ha buscado alternativas de como producir calor, desde los tiempos primitivo con la quema de madera y arbustos hasta la actualidad con el uso de hornos, calderas y bombas de calor.

A medida que ha ido creciendo la población se ha incrementado la demanda de energía, y por el uso desmedido de algunos recursos naturales como la madera y los combustibles fósiles, la contaminación atmosférica ha aumentado hasta niveles muy altos. Además, la capa de ozono se ha deteriorado por el uso de contaminantes como los CFC (clorofluorocarbonos).

La utilización de bombas de calor para el calentamiento de agua ha sido estudiada por numerosos autores en los últimos años y han tenido muy buenos resultados, tanto el uso de diversos refrigerantes respetuosos con la capa de ozono.

El trabajo de fin de master descrito a continuación se centra sobre el diseño de una instalación de ensayos de bombas de calor agua/agua, en específico se busca ensayar la bomba de calor que utiliza como refrigerante  $\text{CO}_2$ , que se encuentra en el laboratorio de calor y frío de la Universidad Politécnica de Cartagena la cual se podrá testear bajo la normativa UNE-EN 16147, Ensayos y requisitos para el marcado de equipos para agua caliente, siguiendo las etapas de pruebas correspondientes al ensayo.

En cuanto al diseño se desarrollará conforme a las prestaciones requeridas para hacer las pruebas y tomando en cuenta lo exigido por la normativa adaptándola para la bomba de calor existente.

## **2. Objetivos**

### **2.1 Objetivo general**

En el Laboratorio de Calor y Frío del Dpto. de Ingeniería Térmica y de Fluidos de la Universidad Politécnica de Cartagena, se están desarrollando y caracterizando bombas de calor para la generación de agua caliente sanitaria. El objetivo general de este Trabajo Final de Master es diseñar una instalación apta para caracterizar bombas de calor para producción de Agua Caliente sanitaria utilizando la normativa UNE-EN 16147. La normativa UNE-EN 16147 vela por los requisitos y ensayos que se deben cumplir para que una bomba de calor accionada eléctricamente pueda ser comercializada. Por dicho motivo se va diseñar una instalación capaz de ensayar bombas de calor para producción de agua caliente sanitaria (ACS) en el Laboratorio de Calor y Frío.

El diseño constará de lo exigido por la normativa para llevar a cabo las pruebas completando las etapas descritas.

### **2.2 Objetivos específicos**

Dentro de los objetivos específicos del Trabajo Final de Master se incluyen los siguientes:

1. Conocer el funcionamiento y características de las bombas de calor con las que trabajan en el Laboratorio de Calor y Frío.
2. Evaluar la capacidad de producción de ACS de dichas bombas.
3. Calcular el caudal y las pérdidas de las tuberías de la instalación de ensayos.
4. Seleccionar los depósitos de Inercia apropiados para realizar el ensayo.
5. Seleccionar bombas y equipos según datos calculados a partir de la instalación propuesta.
6. Esquematizar la instalación.
7. Completar las etapas de prueba de la Normativa UNE-EN 16147.

### 3 Justificación

Dada la tendencia de producir agua caliente sanitaria por necesidad en los meses de temperaturas más bajas y que esta producción sea de la forma menos contaminante y renovable, consumiendo menos energía eléctrica, se han profundizado en las investigaciones del uso de bombas de calor para cubrir estas grandes demandas. En este contexto es clave estudiar los comportamientos de los diferentes refrigerantes utilizados en bombas de calor, en busca de mejores COP (coeficiente de operación).

El sector de la vivienda representa el 40% del consumo energético de la Unión Europea y se encuentra en fase de expansión y el 36% de las emisiones de los gases de efectos invernadero, mientras que la calefacción y producción de agua caliente sanitaria es aproximadamente el 79% de los edificios residenciales de la Unión Europea. [1]

En el Laboratorio de Calor y frío durante varios años se han desarrollado investigaciones acerca de las eficiencias de los refrigerantes y diversos proyectos de diseño y desarrollo de nuevas bombas de calor. Dentro de estas actividades de investigación y desarrollo, es necesario ensayarlas para observar las prestaciones que pueden ofrecer y analizar si están aptos para ser comercializados.

Siguiendo los parámetros indicados por la normativa UNE-EN 16147, el propósito de este trabajo es diseñar y construir una instalación para ensayar las diferentes configuraciones de bombas de calor desarrolladas en el laboratorio.

Con la construcción de dicho sistema de ensayos se podrá observar y analizar el comportamiento de las bombas de calor, en busca de mejores eficiencias, y de tal forma contribuir con el desarrollo de las investigaciones que se llevan a cabo en el área de Máquinas y Motores Térmicos del por el Dpto. de Ingeniería Térmica y de Fluidos.

## 4 Estudio de la evolución y funcionamiento de bombas de calor

### 4.1 Orígenes y evolución de las bombas de calor

Aunque el desarrollo industrial de las bombas de calor comerciales es relativamente reciente el principio de funcionamiento de las mismas se conoce desde hace mucho tiempo. Sus orígenes se remontan a 1824 con el establecimiento de los conceptos de reversibilidad y ciclo de Carnot y la posterior concepción teórica de Lord Kelvin, “Un gas evolucionaba cíclicamente, era comprimido, condensado y posteriormente expandido, obteniendo frío y calor” [2].

Este concepto era desarrollado por Peter Ritter Von Rittinger en 1855. Años más tarde, después de experimentar con un congelador, Robert C. Webber construyó la primera bomba de calor geotérmica con intercambio de calor directo a finales de 1940. A finales de los años cincuenta se inició la expansión de la Bomba de Calor en Estados Unidos y su producción en serie, con la siguiente evolución en el número de ventas: 1954 (2.000 unidades), 1957 (10.000 unidades), 1963 (76.000 unidades). [2]

La crisis del petróleo y el alza de los precios de los combustibles a partir de 1973, impulsó las investigaciones en nuevos equipos de alta eficiencia, además de cambiar el posicionamiento de los costes de calefacción, situación que benefició el desarrollo de la Bomba de Calor.

A lo largo de estos años además de los cambios coyunturales que han propiciado el aumento de las ventas, las Bombas de Calor han tenido una evolución positiva desde el punto de vista tecnológico. [2]

En un principio, el desarrollo se centró en equipos reversibles aire-aire. El fin principal de estas bombas era la refrigeración, en consecuencia, el diseño estaba orientado a las condiciones del ciclo para obtener frío en verano.

Por esta razón existían una serie de defectos de la máquina al funcionar para dar calefacción. Estos defectos actualmente se encuentran superados gracias al desarrollo de los compresores y a la introducción de la electrónica para el control de desescarche para evitar la formación de hielo. [2]

Estos defectos eran:

- Fallos del compresor por golpes de líquido, falta de engrase o sobrecarga del motor de accionamiento.
- Formación de hielo en el evaporador.
- Potencia calorífica baja.
- Costes de explotación superiores a los previstos. [2]

## 4.2 Funcionamiento de una bomba de calor.

Una bomba de calor esencialmente es una maquina térmica formada por un circuito frigorífico clásico (compresor, condensador, sistema de expansión y evaporador) del que se aprovecha la energía cedida por el condensador (aire caliente o agua caliente que sales del condensador) y no la que se absorbe en el evaporador (fuente fría) del aire ambiente o del agua de un pozo o un río. [3]

A continuación, se muestra en la Figura 1 los diferentes elementos que componen una bomba de calor. [3]

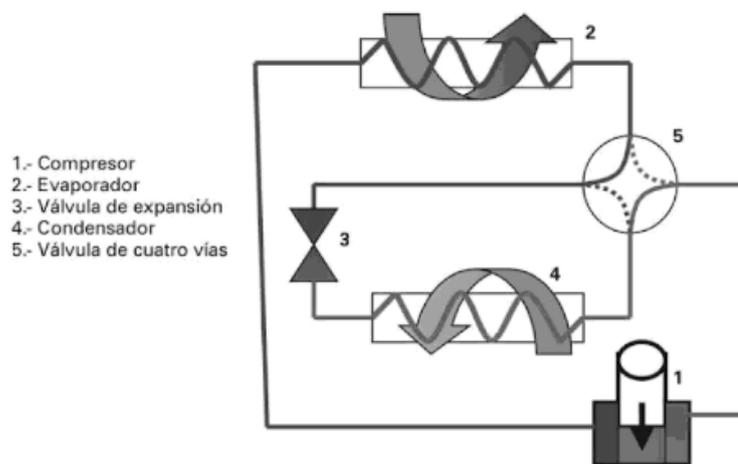


Figura 1 Bomba de calor y sus componentes [3]

En la Figura 1 se observa el esquema del principio de funcionamiento de una bomba de calor. Una bomba de calor no es una.

En estos la transferencia de energía térmica en los elementos 2 y 4 intervienen los calores latentes de evaporación y de condensación del fluido frigorígeno utilizado. [3]

En la evaporación se sustrae energía del medio ambiente en forma de calor, que absorbe el fluido frigorígeno a temperatura constante pasando del estado líquido al estado gaseoso, teniendo lugar un cambio de estado de presión constante. [3]

En la condensación se libera la energía al medio ambiente que se pretende calentar, mediante el paso del fluido frigorígeno del estado vapor al estado líquido a temperatura constante. [3]

El calor total cedido por el condensador será igual al calor absorbido por el evaporador en el foco frío más el calor resultante de la transformación del trabajo mecánico realizado por el compresor que se transforma en calor. [3]

## **5 Estudio de la normativa UNE-EN 16147**

### **5.1 Aplicación de la normativa**

La normativa UNE-EN-16147 define los ensayos de caracterización y requisitos que deben cumplir los equipos para su marcado como equipos para producción de agua caliente sanitaria partir de bombas de calor con compresor accionado eléctricamente. Esta norma europea especifica los métodos de ensayos, la determinación de las prestaciones y el cálculo de la eficiencia energética para la producción de agua caliente de los calentadores de agua termodinámicos aire/agua, agua glicolada/agua, agua/agua e intercambio directo/agua. La norma incluye únicamente los procedimientos de ensayos para las bombas de calor que producen agua caliente sanitaria, no incluye procedimientos simultáneos a la producción de agua caliente sanitaria y calefacción. Solo aplica para sistemas compuestos de bombas de calor y un deposito acumulador.

### **5.2 Requisitos de instalación**

#### **5.2.1 Equipos de ensayos e incertidumbre de instalación**

Para el diseño y construcción de los aparatos de ensayos se debe respetar las tablas 1 de incertidumbres de la normativa.

Las temperaturas del agua tanto de entrada como salida se miden en el centro del flujo y cerca del aparato y los circuitos por donde circula el fluido portador de calor debe estar exento de gases de arrastre.

En la Tabla 1, se expresan los valores de incertidumbre de las magnitudes medidas que deben tomar en cuenta durante las etapas de ensayos.

Diseño de una instalación para el ensayo de equipos de generación de ACS con bombas de calor agua/agua

Magnitud medida	Unidad	Incertidumbre de medición
<b>Agua caliente sanitaria</b>		
Temperatura	°C	±0,2 K
Diferencia de temperatura	K	±0,2 K
Volumen	L	±2%
Caudal volumétrico	l/min	±2%
energía térmica	kWh	±5%
<b>Líquido (fuente de calor)</b>		
Temperatura de entrada/salida	°C	±0,15 K
Caudal volumétrico	m <sup>3</sup> /s	±1%
Diferencia de presión estática	Pa	±1 kPa ( $\Delta P \leq 20$ kPa) ± 5% ( $\Delta P \geq 20$ kPa)
Concentración de agua glicolada	% vol.	±2% vol.
<b>Aire (fuente de calor)</b>		
Temperatura de bulbo seco	°C	±0,2 K
Temperatura de bulbo húmedo	°C	±0,4 K
Caudal volumétrico	m <sup>3</sup> /h	±5%
Diferencia de presión estática	Pa	±5 Pa ( $\Delta P \leq 100$ Pa) ±5% ( $\Delta P \geq 100$ Pa)
<b>Magnitudes eléctricas</b>		
Potencia eléctrica	W	±0,1 W ( $\leq 10$ W) ±1% ( $\geq 10$ W)
Energía eléctrica	kWh	±1%
Tensión	V	±0,5%
Corriente	A	±0,5%
<b>Ambiente</b>		
Temperatura ambiente en el interior	°C	±0,5 K

Tabla 1 Incertidumbre de medición para los valores indicados [4]

### 5.2.2 Incertidumbre de los equipos

Cada uno de los equipos utilizados en la instalación de ensayos han sido seleccionados respetando las incertidumbres de medición permitidas como lo establece la Tabla 1. En la descripción de los equipos se especificará la incertidumbre asociada.

### 5.2.3 Instalación y conexión de la bomba de calor.

La instalación y conexión de la bomba de calor antes del ensayo debe realizarse conforme a las indicaciones del manual de operación y mantenimiento del fabricante y los medidores de presión y temperatura colocarse de manera que obtengan valores reales de medida.

## 5.3 Condiciones del ensayo.

### 5.3.1 Descripción.

Se tomarán en cuenta todos los datos suministrados por el fabricante con respecto al rango de trabajo de los dispositivos de control como termostatos, presostatos y válvulas mezcladoras, si existen dispositivos de calentamientos auxiliares, el reglaje se debe realizar conforme al manual de operación y mantenimiento.

Diseño de una instalación para el ensayo de equipos de generación de ACS con bombas de calor agua/agua

Es importante remarcar que para los dispositivos de calentamiento de agua con bomba de calor que utiliza un líquido (agua o agua glicolada) como fuente de calor, el caudal nominal del líquido especificado en las instrucciones de instalación y de operación se debe regular con la temperatura del líquido a la entrada como se indica en la Tabla 3.

### 5.3.2 Condiciones de ensayo.

Los ensayos se deben realizar en las condiciones de ensayo aplicables especificadas en la Tabla 3 y en la Tabla 4 y las desviaciones admisibles no deben sobrepasar los valores indicados en la Tabla 2. Además, la desviación máxima admisible de la energía térmica de un perfil de extracción completo debe ser inferior al 5%.

Magnitud	Desviación de la media aritmética de los valores respecto a las condiciones de ensayo especificadas			Desviaciones de los valores individuales respecto a las condiciones de ensayo especificadas		
	Intervalo H <sup>a</sup>	Intervalo D <sup>b</sup>	Intervalo S <sup>c</sup>	Intervalo H <sup>a</sup>	Intervalo D <sup>b</sup>	Intervalo S <sup>c</sup>
<b>Temperatura del aire</b>						
De bulbo seco <sup>d</sup>	±0,6 K	±1,5 K		±1,0 K	±5,0 K	±2,5 K
De bulbo húmedo	±0,4 K	±1,0 K		±0,6 K	-	
Caudal volumétrico	±5%			±10%		
Diferencia de presión estática	-			±10%		
Temperatura ambiente del depósito acumulador (cuando no se utiliza como fuente de calor)	±1 K			±2 K		
<b>Agua caliente sanitaria</b>						
Temperatura de entrada	±1 K			±1 K		
Caudal volumétrico	≥10 l/min (±5%) ±0,5 l/min (≤10 l/min)			≥10 l/min (±10%) ±1,0 l/min (≤10 l/min)		

Magnitud	Desviación de la media aritmética de los valores respecto a las condiciones de ensayo especificadas			Desviaciones de los valores individuales respecto a las condiciones de ensayo especificadas		
	Intervalo H <sup>a</sup>	Intervalo D <sup>b</sup>	Intervalo S <sup>c</sup>	Intervalo H <sup>a</sup>	Intervalo D <sup>b</sup>	Intervalo S <sup>c</sup>
<b>Líquido</b>						
Temperatura de entrada de la fuente de líquido	±0,2 K	-	±0,5 K	±0,5 K	-	-
Caudal volumétrico	±1%			±2,5%		
Diferencia de presión estática	-			±10%		
<b>Otras</b>						
Tensión	±4%			±4%		
<p>a El intervalo H se aplica cuando la bomba de calor está en operación, a excepción de los 10 primeros minutos después de finalizar un ciclo de deshielo y de los 10 min siguientes al arranque de la bomba de calor.</p> <p>b El intervalo D se aplica durante un ciclo de deshielo y durante los 10 primeros minutos después de finalizar un ciclo de deshielo cuando la bomba de calor funciona en modo calefacción.</p> <p>c El intervalo S se aplica cuando el compresor está parado y durante los 10 primeros minutos después del arranque de la bomba de calor por el termostato de agua caliente.</p> <p>d Para los aparatos con superficie de intercambio de calor exterior superior a 5 m<sup>2</sup>, se duplica la desviación admitida en la temperatura de bulbo seco de entrada de aire.</p>						

Tabla 2 Variaciones admisibles en funcionamiento [4]

Diseño de una instalación para el ensayo de equipos de generación de ACS con bombas de calor agua/agua

Variable medida	Valor de referencia
Tensión de alimentación	Tensión nominal
Frecuencia de alimentación	Frecuencia nominal
Caudal de aire en el lado de la fuente de calor	Caudal nominal indicado por el fabricante. Cuando sólo se indica un rango, los ensayos se deben realizar con el valor máximo.
Temperatura del agua fría de entrada	10 °C
Presión de agua fría de entrada	max. 0,6 MPa (6 bar)
Caudal de agua caliente	(Véase los perfiles de extracción en el anexo A)

Tabla 3 Condiciones de ensayo aplicables a todos los sistemas [4]

Tipo de fuente de calor	Fuente de calor Temperatura seca (húmeda) del aire en °C	Fuente de calor Temperatura de entrada/salida o temperatura del baño <sup>a</sup> en °C	Rango de la temperatura ambiente de la bomba de calor en °C	Temperatura ambiente del depósito acumulador en °C
Bomba de calor sobre el aire exterior (situada en el interior)			entre 15 y 30	20
Media	7 (6)			
Más fría	2 (1)			
Más caliente	14 (13)			
Bomba de calor sobre el aire exterior (situada en el exterior)		-	temperatura de la fuente de calor	20
Media	7 (6)			
Más fría	2 (1)			
Más caliente	14 (13)			
Aire de un espacio sin calefactar	15 (12)	-	temperatura de la fuente de calor	15
Aire interior	20 (15)	-	temperatura de la fuente de calor	20
Aire extraído	20 (12)	-	entre 15 y 30	20
Agua	-	10 / 7 <sup>b</sup>	entre 15 y 30	20
Agua glicolada	-	0 / -3 <sup>b</sup>	entre 15 y 30	20
Evaporación directa	-	4 <sup>a</sup>	entre 15 y 30	20

a Temperatura media del baño de agua glicolada para el ensayo de evaporación directa.  
b El fabricante debe utilizar la temperatura de salida para regular el caudal que se debe mantener durante el ensayo de acuerdo con el apartado 6.4.

Tabla 4 Condiciones de ensayo aplicables a tipos de sistemas específicos [4]

En la Tabla 4 solo tomaremos las condiciones aplicables para las bombas de calor agua/agua.

## 5.4 Etapas de ensayos y prestaciones.

### 5.4.1 Generalidades.

Los métodos de ensayo descritos en este capítulo se han diseñado para determinar la eficiencia energética para el calentamiento del agua y las prestaciones de la bomba de calor destinadas al calentamiento de agua caliente sanitaria [4]. Los ensayos se van a realizar por etapas, estas son seis y en el capítulo 5.4.2 se mencionan.

### 5.4.2 Etapas de los ensayos.

Los ensayos constan de las siguientes seis etapas principales:

[Etapa A] Estabilización (véase 8.2.1).

[Etapa B] Llenado y volumen del depósito de acumulación (véase 8.2.2).

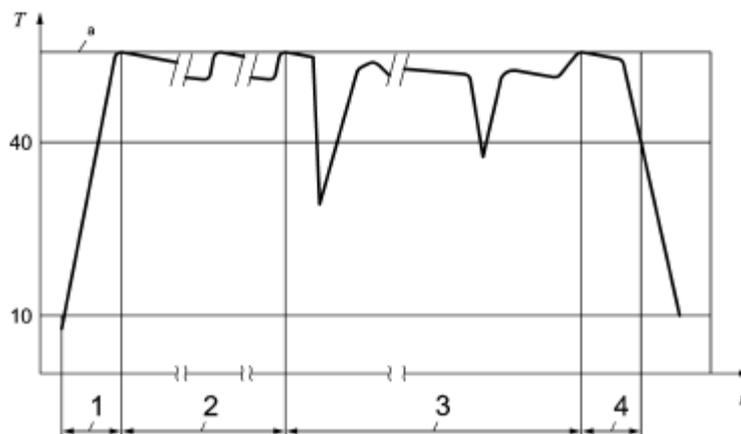
[Etapa C] Llenado y periodo de subida de temperatura (véase 8.2.3).

[Etapa D] Potencia absorbida en régimen estable (véase 8.2.4).

[Etapa E] Paso de agua (véase 8.2.5).

[Etapa F] Agua mezclada a 40 °C y temperatura del agua caliente de referencia (véase 8.2.4).

Después de la preparación de ensayo (Etapas A y B) se realizan los ensayos de C a F como se indica en la Figura 2 . Con la exigencia de que las condiciones de partida de cada etapa sean las condiciones finales de la etapa precedente, cada etapa individual se puede realizar independientemente [4].



#### Leyenda

- 1) [Etapa C] Llenado y periodo de subida de temperatura
- 2) [Etapa D] Potencia absorbida en régimen estable
- 3) [Etapa E] Paso de agua
- 4) [Etapa F] Agua mezclada a 40 °C y temperatura del agua caliente de referencia

$T$  Temperatura  
 $t$  Tiempo  
 $a$  Temperatura de reglaje

Figura 2 Etapas y orden de los ensayos. [4]

## Diseño de una instalación para el ensayo de equipos de generación de ACS con bombas de calor agua/agua

Cada una de las etapas correspondiente del ensayo antes mencionadas se describen detalladamente en el capítulo 8.

Todos los ensayos se realizan a la tensión nominal y a la frecuencia nominal indicadas en las instrucciones de instalación y operación. Después de la puesta en marcha inicial de la bomba de calor, la alimentación eléctrica permanece conectada durante todo el ensayo. [4]

Cualquier suministro de calor complementario, que pueda ser desactivado por el usuario, debe desconectarse durante todo el ensayo, a menos que el fabricante indique lo contrario. [4]

### 6 Diseño y esquema de la instalación de ensayos de bombas de calor agua/agua.

Para el diseño de la instalación de ensayos de caracterización energética y de prestaciones de bombas de calor agua/agua se tomaron en cuenta las condiciones y disposición de los espacios donde estará ubicada dicha instalación, y se determinó los elementos necesarios para componer el sistema de ensayos. En la Figura 3 se observa el esquema de la instalación.

La parte resaltada con color rojo corresponde a la bomba de calor como tal, y los demás componentes pertenecen a la instalación de ensayos de bombas de calor agua/agua. En la Tabla 5 se puede observar la leyenda de los componentes del sistema.

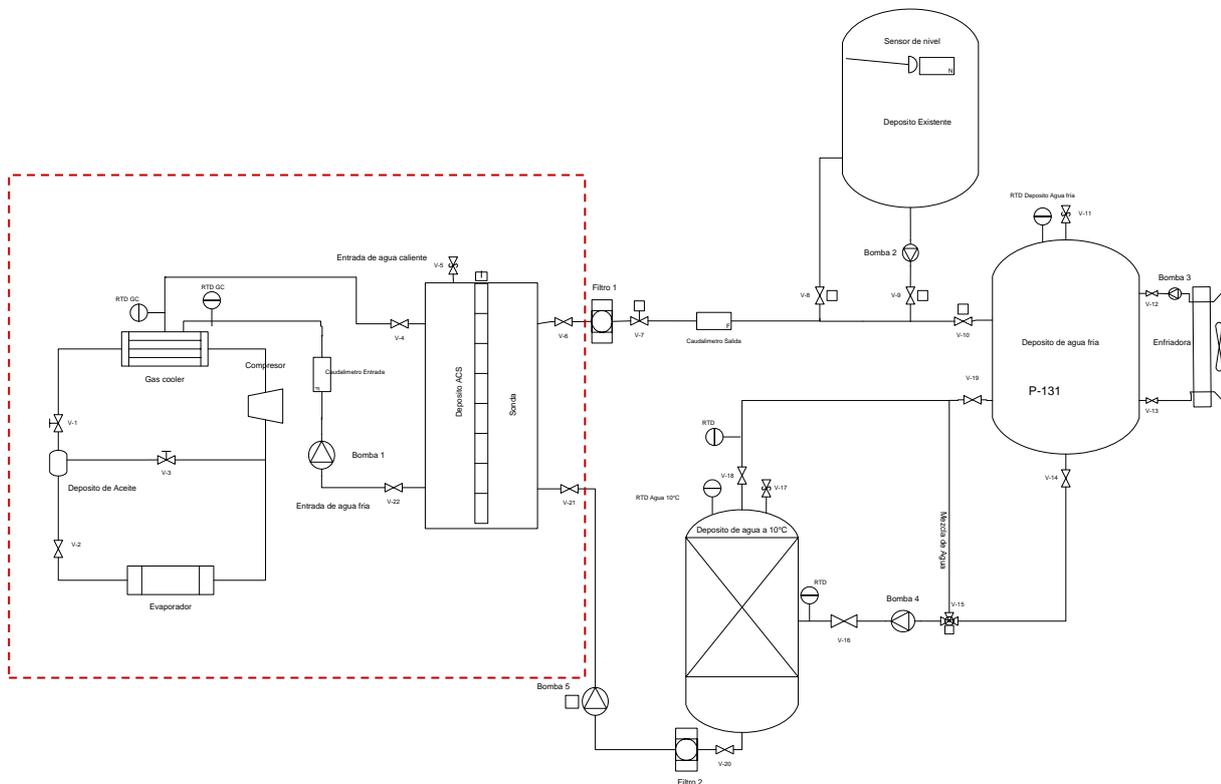


Figura 3 Esquema de la instalación

Diseño de una instalación para el ensayo de equipos de generación de ACS con bombas de calor agua/agua

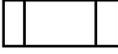
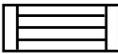
LEYENDA	
	Caudalímetro
	Depósito
	Bomba de circulación
	Compresor
	Evaporador
	Gas cooler
	Válvula manual
	Válvula de actuación eléctrica
	Válvula de tres vías
	Filtro de agua
	Sensor de temperatura
	Sensor de nivel
	Enfriadora

Tabla 5 Leyenda de los componentes del esquema

Los elementos que componen la instalación fueron seleccionados evaluando cada una de las prestaciones en el sistema y para garantizar la correcta realización de los ensayos.

En el capítulo 7 se estudiarán cada uno de estos equipos para la elección del que más se adapta a las necesidades con el fin de ser capaces de ensayar las bombas de calor existentes en el Laboratorio de Calor y Frío. Posteriormente el capítulo 8, se describen los pasos a seguir para desarrollar cada una de las etapas del ensayo.

En la Tabla 6 se muestra el listado de equipos que comprenden la instalación de ensayos.

<b>Lista de equipamiento</b>	
<b>Equipos</b>	<b>Descripción</b>
Bomba 1	Instalación de ensayos
Bomba 2	Instalación de ensayos
Bomba 3	Instalación de ensayos
Bomba 4	Instalación de ensayos
Bomba 5	Instalación de ensayos
Depósito ACS	Bomba de calor
Depósito de agua a 10°C	Instalación de ensayos
Depósito de agua fría	Instalación de ensayos
Depósito Existente	Instalación de ensayos
Enfriadora	Existente
Filtro 1	Instalación de ensayos
Filtro 2	Instalación de ensayos
Válvulas manuales	Instalación de ensayos
Válvula de tres vías	Instalación de ensayos
Válvulas de actuación eléctrica	Instalación de ensayos
Rtd	Bomba de calor / Instalación de ensayos
Sonda	Instalación de ensayos

Tabla 6 Listados de equipos

## 7 Estudio de elementos y materiales de la instalación de ensayos.

La instalación para la realización de ensayos de bombas de calor agua/agua consta de los elementos mencionados en la Tabla 6. A continuación, se estudiarán cada uno de los componentes del sistema para la selección de los mismos según los requerimientos fijados por la norma y el diseño adoptado.

### 7.1 Estudio de los depósitos de inercia

Dentro del esquema de la Figura 3 se pueden observar varios depósitos, uno de ellos en la parte que corresponde a la bomba de calor y los demás corresponden a la instalación de ensayos. Dentro de la instalación de ensayos se utilizarán depósitos que hay en existencia en laboratorio y dos de los depósitos se han adquirido, siendo estos de la marca Lapesa, modelo GX-800-RB de 800 l cada uno. Uno de ellos funcionará como extractor del agua caliente para posteriormente ser mezclada a 40°C (es decir, como depósito que da servicio de ACS al usuario) y el otro cumplirá el objetivo de suministrar agua fría al sistema simulando el agua de la red.

En la Figura 4 podemos observar explícitamente las partes del depósito seleccionado.

Diseño de una instalación para el ensayo de equipos de generación de ACS con bombas de calor agua/agua

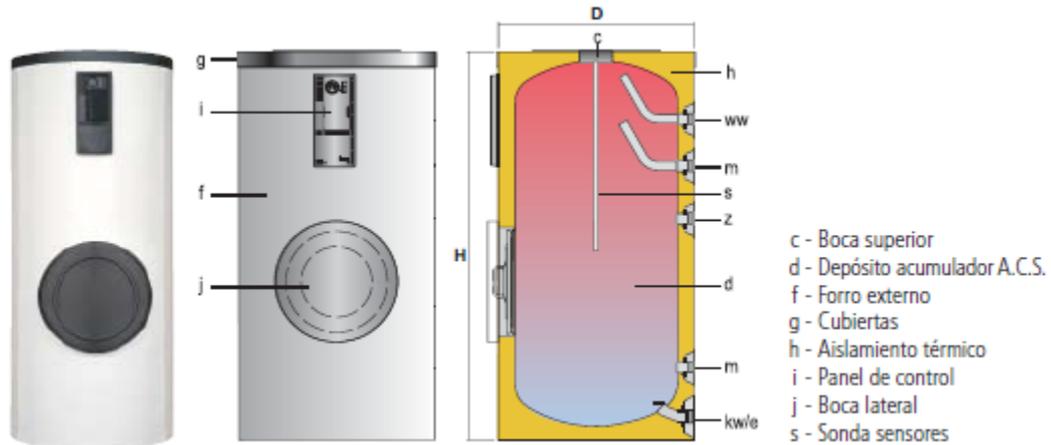


Figura 4 Depósito marca Lapesa [5]

En la Tabla 7 se muestran las características generales del depósito descrito anteriormente y el modelo que hemos seleccionado GX-800-RB.

CARACTERÍSTICAS GENERALES		GX-800-RB
Capacidad total	l.	800
D: Diámetro exterior	mm.	950
H: Altura total	mm.	1840
kw: entrada agua red / vaciado	" GAS/M	1 1/4"
ww: salida ACS	" GAS/M	1 1/2"
z: recirculación ACS	" GAS/M	1 1/2"
m: conexión intercambiador placas	" GAS/M	1 1/2"
Boca de hombre lateral	mm.	DN400
Peso en vacío (aprox.)	Kg	178

Tabla 7 Características generales del depósito [5]

Como se ha comentado previamente, en el Laboratorio de Calor y Frío hay en existencia dos de los depósitos que se utilizarán en la instalación de ensayos los cuales se denominan en el esquema como "Depósito de agua fría" y "Depósito existente".

## 7.2 Estudio de las bombas de recirculación y extracción

Como se muestra en la Figura 3, en la instalación de ensayos se pueden observar cinco bombas en todo el sistema, de las cuales habrán dos tipos de bombas de diferentes proveedores que son: Pedrollo y Wilo Pump. A continuación, se describen sus características:

Las bombas Pedrollo modelo PQM60, de tensión monofásica (Figura 5), cuentan con las siguientes prestaciones:

## Diseño de una instalación para el ensayo de equipos de generación de ACS con bombas de calor agua/agua



Figura 5 Bomba Pedrollo [6]

- Caudal hasta 90l/min (5.4 m<sup>3</sup>/h)
- Temperatura del líquido -10°C hasta 90°C
- Temperatura ambiente 40°C
- Presión de trabajo admisible 6.5 bar
- Voltaje de entrada 230 V o 240v
- Consumo 2.6 A -5.2 A
- Altura de impulsión 92 m

Son recomendadas para bombear agua limpia, sin partículas abrasivas y líquidos químicamente no agresivos con los materiales que componen la bomba. [6]

Las bombas Wilo Pump modelo Stratos 25/1-6, como se muestra en la Figura 6, cuentan con las siguientes prestaciones:



Figura 6 Bomba Wilo Pump [7]

- Caudal 130 l/min (7.6 m<sup>3</sup>/h)
- Temperatura del líquido -10°C hasta 110°C
- Temperatura ambiente 40°C
- Presión de trabajo admisible 10 bar
- Voltaje de entrada 230 V 50/60 Hz
- Consumo 80 W
- Regulación de la velocidad
- Altura de impulsión 6 m

Como se puede ver en las descripciones de los dos tipos de bombas, nos proporcionan diferentes prestaciones y para el control del sistema elegimos la Wilo Pump para poder variar los caudales según el perfil de extracción que se esté ensayando. En el esquema de la Figura 3, las bombas Wilo corresponde a bomba 1 y bomba 5, las demás bombas que se encuentran en el esquema como son la bomba 2, bomba 3 y bomba 4 son de las marca Pedrollo.

A continuación se procederá a describir la función de cada bomba de la instalación de ensayos siguiendo la nomenclatura del esquema de la Figura 3.

## Diseño de una instalación para el ensayo de equipos de generación de ACS con bombas de calor agua/agua

- Bomba 1: se encarga de inyectar el agua fría a la bomba de calor para iniciar el calentamiento de esa agua.
- Bomba 2: esta cumple con la función de recircular el agua caliente salida del depósito de ACS, de tal modo que envía a la enfriadora, para ser enfriada.
- Bomba 3: se encarga de circular el agua fría salida de la enfriadora y llevarla al depósito de agua fría.
- Bomba 4: la función de esta bomba en el sistema es la de recircular el agua entre el depósito de agua fría y el depósito de agua a 10 °C para mantener la temperatura del agua a 10°C.
- Bomba 5: el objetivo principal de esta bomba es la de inyectar el caudal de agua fría a 10°C a la bomba de calor según el perfil de extracción.

### 7.3 Estudio de la tuberías y accesorios.

#### 7.3.1 Estudio de la tubería

Las tuberías del circuito de la instalación de ensayos son de polietileno y tiene un diámetro de 25 mm exterior y 22 mm interior. En la Tabla 8 se describen las características de las tuberías, se utilizarán 15 metros de tuberías para completar en circuito.

Características Técnicas	Unidad	PE 100
Densidad	gr/cm <sup>3</sup>	< 0,95
Coefficiente de dilatación térmica lineal	mm/m C	0,22
Conductividad térmica	Kcal/hm C	0,37
Presión de trabajo	Mpa	1600
Contenido en negro de carbono	%	2 - 2,5
Contenido en materias volátiles	mg/kg	< 350
Contenido en agua	mg/kg	< 300
Módulo de elasticidad a corto plazo	Mpa	1000-1200
Módulo de elasticidad a largo plazo	Mpa	160
Coefficiente de poisson		0,4
Constante dieléctrica		2,5
Rugosidad hidráulica	K(mm)	0,007
	n(Manning)	0,008
	C(H will)	150

Tabla 8 Características técnicas de la tubería [8]

## Diseño de una instalación para el ensayo de equipos de generación de ACS con bombas de calor agua/agua

Se ha seleccionado tubería del material HDPE. La tubería HDPE es totalmente termofusionable y ofrece una solución a los problemas tradicionales de conducción, garantizando una larga vida útil y minimizando costos de mantención para sus diferentes aplicaciones como: en conducción de fluidos (líquido o gas), en relaves y soluciones de lixiviación; en emisarios marinos, en obras sanitarias, sistemas de riego, entre otros. [9]

El polietileno de alta densidad resiste prácticamente todos los elementos corrosivos de la industria minera y las tuberías se aplican en rangos de temperatura que van desde los -40°C a 60°C y presiones de hasta 25 bares. En definitiva, el largo tiempo de duración, el bajo costo, la fácil instalación y la escasa mantención, hacen que las tuberías HDPE tengan ventajas comparativas superiores respecto a los materiales tradicionales. [9]

### 7.3.2 Accesorios de tubería

Para determinar la pérdida de presión en la tubería se tomarán en cuenta los accesorios instalados, siendo estos los indicados en la Tabla 9 siguiente:

Conociendo la tubería y accesorios que tiene la instalación se procederá a calcular las pérdidas de cargas en el sistema, teniendo en cuenta el valor K de cada uno de los accesorios. Para ello se revisará la Tabla 9 que contiene los valores k aproximados de diversos accesorios. Esta información ha sido tomada libro Mecánica de Fluidos de Robert L. Mott. [10]

Accesorios	Cantidad	Valor K	Total
Codos	6	0.9	5.4
Filtro	2	1	2
Valvulas	12	1.035	12.42
Ampliacion gradual	3	1	3
Tes	3	0.46	1.38
Otros accesorios	4	1	4
<b>Total K</b>			<b>28.2</b>

Tabla 9 Valores aproximados de K tomados del libro Robert L. Mott [11]

### 7.3.3 Cálculos de pérdidas en el sistema

Los accesorios mencionados en el apartado anterior son los que entran en el juego en el momento de la extracción de agua en los ensayos. Se procede ahora a calcular las pérdidas de cargas en el sistema.

Diseño de una instalación para el ensayo de equipos de generación de ACS con bombas de calor agua/agua

Para la determinación de pérdidas totales en la instalación utilizamos la ecuación de Darcy-Weisbach, Fórmula 1.

$$\Delta H_{inst} = \left[ \lambda \frac{L}{D} + \sum_i K_i \right] \frac{V^2}{2g}$$

Fórmula 1

Donde:

$\lambda$  = Coeficiente de fricción

L = Longitud de la tubería

D = Diámetro de la tubería

$\sum_i K_i$  = Sumatorios de coeficientes de resistencia

V = Velocidad de fluido en la tubería

g = Valor constante de la gravedad

Para conseguir el coeficiente de fricción es necesario saber el tipo de flujo que pasa por la tubería bien sea laminar o turbulento. Para ello empleamos la ecuación de Reynolds (Fórmula 2) y el diagrama de Moody (Figura 7).

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu}$$

Fórmula 2

Donde:

$\rho$  = Densidad del agua

V = Velocidad del agua

D = Diámetro de la tubería forzada

$\mu$  = Viscosidad dinámica del agua

En nuestro caso:

$$Re = \frac{1000 \text{ kg/m}^3 * 1.6 \text{ m/s} * 0.025 \text{ m}}{10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{m*s}}}$$

$$Re = 4 \times 10^4$$

La rugosidad relativa es el cociente entre la rugosidad del material utilizado en la tubería forzada y el diámetro de dicha tubería, expresado con la Figura 3:

Diseño de una instalación para el ensayo de equipos de generación de ACS con bombas de calor agua/agua

$$\varepsilon = \frac{k}{D}$$

Fórmula 3

Donde:

$\varepsilon$ = Rugosidad relativa del material de la tubería forzada

k= Rugosidad del material

D= Diámetro de la tubería forzada

En nuestro caso:

$$\varepsilon = \frac{0.007/1000}{0.025} = 0.00028$$

La rugosidad de la tubería lo podemos encontrar en la Tabla 8 donde se describen las características.

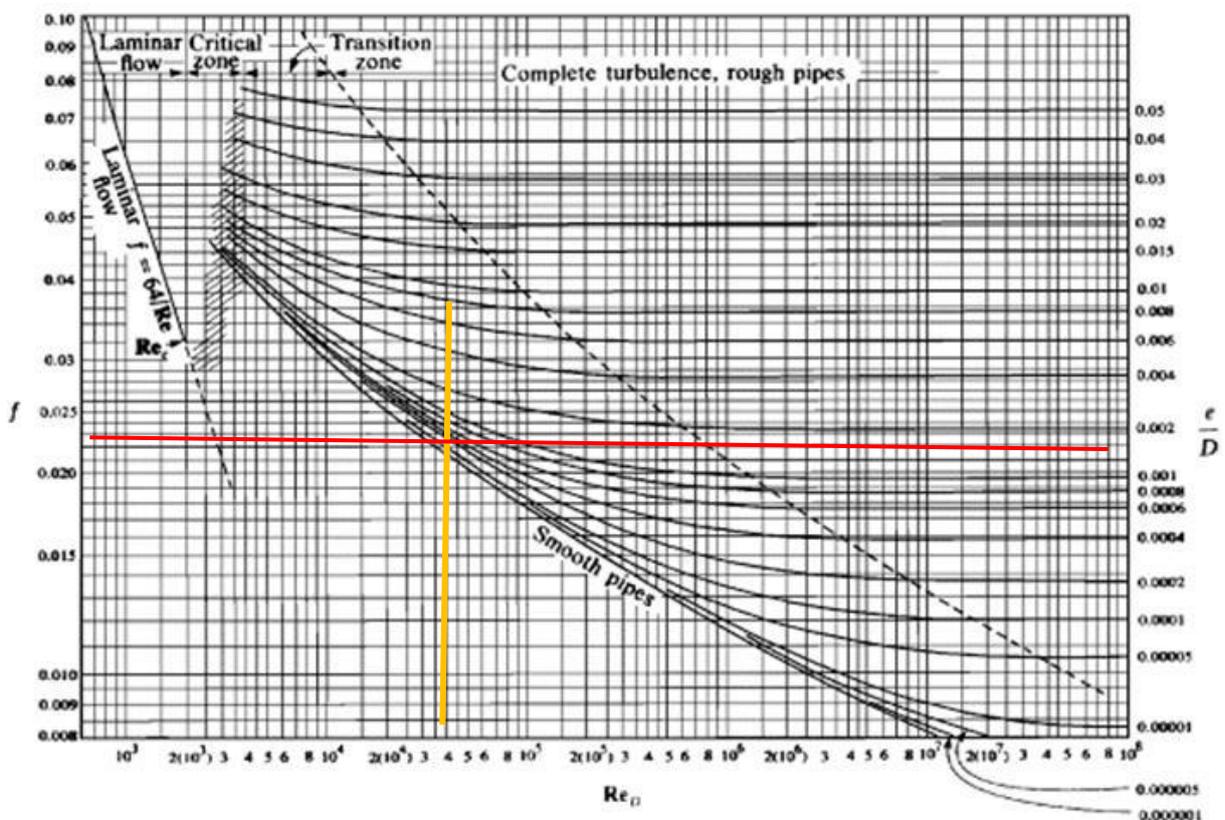


Figura 7 Diagrama de Moody

Según el diagrama de Moody, (Figura 7) para una rugosidad relativa de ( $\varepsilon = 0.00028$ ) y el número de Reynolds de ( $Re = 4 \times 10^4$ ), el valor de fricción estimado es de:  $\lambda = 0.023$ .

Diseño de una instalación para el ensayo de equipos de generación de ACS con bombas de calor agua/agua

El caudal máximo del sistema es de 48 l/min, es decir a 0.0008 m<sup>3</sup>/s.

Procedemos ahora a calcular la velocidad del agua. Para ello despejamos la Fórmula 4:

$$Q = VA \rightarrow V = \frac{Q}{A}$$

Fórmula 4

Donde:

V= es la velocidad del agua

Q= es el caudal del agua

A= es el área por donde pasa el agua

Por tanto, el valor la velocidad en la tubería es:

$$V = \frac{0.0008}{\frac{\pi * 0.025^2}{4}} = 1.6 \text{ m/s}$$

Con los resultados anteriores ya se puede proceder a calcular las pérdidas en la instalación, utilizando la Fórmula 1.

Tomando en cuenta que el circuito de la tubería es de 5 m de longitud y la velocidad máxima del flujo del líquido es de 1.6 m/s que anteriormente calculamos.

$$\Delta H_{inst} = \left[ 0.023 \frac{15 \text{ m}}{0.025 \text{ m}} + 28.2 \right] \frac{1.6^2 \text{ m/s}}{2 * (9.8 \text{ m/s})}$$

$$\Delta H_{inst} = 5.46 \text{ mca}$$

Convertimos de metro columna de agua a pascales. Sabiendo que un 1mca equivale a 9.8064 Kpa

$$5.46 \text{ mca} * 9.8064 \text{ Kpa} = 53.54 \text{ Kpa}$$

La pérdida en el sistema tomando en cuenta todos los accesorios de la instalación de ensayos y la fricción de la tubería nos da como resultado 53.54 Kpa.

## 7.4 Filtros de agua

La filtración es un proceso en el cual las partículas sólidas que se encuentran en un líquido se separan mediante un medio filtrante o filtro de agua. Mediante este proceso se elimina la turbidez, y dependiendo del tipo de filtro, ciertos minerales (como el hierro, el manganeso y el sulfuro de hidrógeno).

En el esquema de la instalación ver Figura 3, se pueden apreciar dos filtros colocados específicamente en las terminales de entrada y salida del fluido, con esto se busca conservar la instalación de ensayos de cualquier partícula que pueda tener el agua.

En la Figura 8 se muestra el filtro de agua que se utilizara en la instalación de ensayos, compuesto por la porta cartucho y el cartucho de filtrado.



Figura 8 Filtro de agua

## 7.5 Caudalímetro

Los caudalímetros electromagnéticos usan la ley de inducción de Faraday para conseguir una medida del caudal. Este principio establece que el movimiento relativo entre un conductor y un campo magnético desarrollará un voltaje en el conductor. El voltaje inducido es proporcional a la velocidad relativa del conductor con respecto al campo magnético. Este principio emplea tanto en corriente continua como en alterna.

En el esquema de la instalación Figura 3 se ilustran dos caudalímetros, localizados en la entrada y salida de agua respectivamente. La marca y modelo utilizado en la instalación es: caudalímetro electromagnético Siemens, modelo F M MAG 5100 W, ver en la Figura 9, acompañado del transmisor modelo F M MAG 5000, ver en la Figura 10.

## Diseño de una instalación para el ensayo de equipos de generación de ACS con bombas de calor agua/agua



Figura 9 Caudalímetro electromagnético Siemens NS F M MAG 5100W [12]



Figura 10 Transmisor Siemens F M MAGFLO MAG6000 [12]

### 7.6 Medida de temperatura

Los RTD son sensores de temperatura resistivos, en ellos se aprovecha el efecto que tiene la temperatura en la conducción de los electrones para que, ante un aumento de temperatura, haya un aumento de la resistencia eléctrica que presentan.

Las RTD PT100 se llaman así porque a 0°C la resistencia toma un valor de 100Ω. A medida que cambie la temperatura, el valor de la resistencia irá variando.

En el mercado se pueden encontrar dos tipos: de tres y de cuatro hilos.

Las de esta instalación en concreto son de cuatro hilos porque son más precisas. Cada uno de los hilos adicionales corrige la caída de tensión que encontramos en cada uno de los cables que conectan los terminales de la resistencia al datalogger. Éstas en concreto son de una precisión de 1/10 din, es decir, tienen un error de 0,03°C, ver Tabla 10.

En la Figura 11 se muestra el RTD que utilizarán en la instalación de ensayos, para controlar las temperaturas del agua en los diferentes depósitos.



Figura 11 Sensor de temperatura PT100 [13]

TABLAS DE TERMORESISTENCIAS RTD (Pt 100)										
Coeficiente 0,00385 $\Omega / \Omega / ^\circ\text{C}$			Tolerancias para captadores Pt 100 $\Omega$							
Temp.		Valor Nominal	Clase A		Clase B		1/3 DIN		1/10 DIN	
$^\circ\text{C}$	$^\circ\text{F}$		( $\pm$ $^\circ\text{C}$ )	( $\pm$ $^\circ\Omega$ )	( $\pm$ $^\circ\text{C}$ )	( $\pm$ $^\circ\Omega$ )	( $\pm$ $^\circ\text{C}$ )	( $\pm$ $^\circ\Omega$ )	( $\pm$ $^\circ\text{C}$ )	( $\pm$ $^\circ\Omega$ )
-200	-346	18,49 $\Omega$	0,55	0,24	1,3	0,56	0,43	0,19	0,14	0,06
-100	-148	60,25 $\Omega$	0,35	0,14	0,8	0,32	0,26	0,11	0,08	0,03
0	32	100 $\Omega$	0,15	0,06	0,3	0,12	0,10	0,04	0,03	0,01
100	212	138,5 $\Omega$	0,35	0,13	0,8	0,30	0,26	0,10	0,08	0,03

Tabla 10 Tolerancia de las temoresistencias

## 7.7 Sensor de nivel

El sensor de nivel de agua que será utilizado en el depósito donde se extraerá el agua, denominado en el esquema de la Figura 3 como depósito existente cuya función es indicar el volumen de líquido que contenga dicho depósito, para cuando tenga un volumen establecido en el ensayo enviar esa agua a la enfriadora y enfriarla. De esta manera se reutiliza el agua y se evita verterla a la red.

El sensor seleccionado es el RXL, serie R, este sensor posee longitud de 80 mm a 1.500 mm graduable, es alimentado de 6 V a 24 V, proporciona una salida analógica 0-5V continua (típicamente calibrado 0,25 V cero escalas, 4.75V fondo escala). [14]

Toda la electrónica de procesamiento del sensor se encuentra dentro de la cabeza del sensor y fuera del contacto con el fluido a medir. Con una construcción de aluminio anodizado, el sensor se adapta bien a aplicaciones en entornos difíciles, especialmente indicado para medida de nivel de fuel, biodiesel. Tiene un amplio rango de temperaturas de funcionamiento de  $-40^\circ\text{C}$  a  $+125^\circ\text{C}$  y una precisión de un 1% [14]. Este sensor es suministrado por Plus Lideragua, S.L.U.

En la Figura 12 se puede observar la ilustración del sensor que se utilizará en la instalación de ensayos.



Figura 12 Sensor de nivel [14]

## 7.8 Aislamiento térmico

El aislamiento térmico que se empleará en la instalación es espuma elastomérica. La espuma elastomérica es un aislamiento térmico formado por caucho sintético, y con estructura celular cerrada. Se presenta en forma de coquillas, para el aislamiento térmico de tuberías. Este material, posee una baja conductividad térmica, excelente flexibilidad y facilidad y rapidez de instalación.

Para aislamiento de tuberías, habitualmente se suele presentar en rollos de 2 metros de color negro.

Existen en el mercado espumas elastoméricas para distintas aplicaciones dependiendo de las temperaturas de trabajo y el tamaño de las tuberías que se va aislar.

Para el caso de la instalación se utilizarán rollos de 2 metros como usualmente son encontrados en el mercado, con un total de 8 rollos para cubrir la instalación. Con un diámetro interior de 25mm y para el espesor, respetando el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE), que nos indica que los espesores mínimos de aislamiento (mm) de tuberías y accesorios que transportan fluidos calientes que discurren por el exterior de edificios deben de ser de 35mm. [15]

En la Figura 13 se puede observar la coquilla de aislamiento con la que se aislara la instalación de ensayos de bombas de calor.



Figura 13 Coquilla de aislamiento

## 7.9 Estudio de válvulas y sus tipos

Se pueden observar tres tipos de válvulas en el esquema de la instalación ver en la Figura 3, a continuación se describen sus prestaciones en el sistema.

### 7.9.1 Válvula manual

La válvula manual ver Figura 14, se utilizará en la instalación de ensayos para que en momento de hacer un mantenimiento o se tenga que aislar un elemento del sistema no haya que hacer cortes en las tuberías, sino que se accione la válvula correspondiente donde se esté trabajando en el sistema.



Figura 14 Válvula mecánica [16]

La marca Arco, modelo V25 y de 3/4'' de diámetro, esta válvula tiene cuerpo principal y lateral fabricados en aleación de latón europea CW617N, por medio de un proceso de estampado en caliente. Este proceso confiere a la aleación de latón europea las siguientes ventajas contra piezas de fundición: [16]

- Ausencia de poros.
- Superficies con mejor acabado y sin textura irregular.
- Mayor resistencia mecánica.

Presión nominal: 25 bar

Presión de prueba: 37,5 bar

Rango de temperatura: -20°C hasta 80°C, excluyendo congelados.

Fluido: agua potable y agua caliente [16]

### 7.9.2 Válvula de tres vías.

La válvula de tres vías que se utilizará en la instalación de ensayos, (Figura 15), tiene un actuador de control modulante, ver Figura 16, cuya función es abrir y cerrar mediante señal, en lo adelante se explicará.

La selección de la válvula de tres vías adecuada en cada caso se realiza a partir del caudal y la caída de presión del sistema. Aplicando la Fórmula 5 que define la autoridad de la válvula y utilizando el catálogo del proveedor (en este caso Danfoss), podemos obtener los valores correspondientes para seleccionar la válvula adecuada para el sistema de ensayos.

Diseño de una instalación para el ensayo de equipos de generación de ACS con bombas de calor agua/agua



Figura 15 Válvula de tres vías [17]



Figura 16 Actuador de control modulante [17]

$$\text{Autoridad de la válvula} = \frac{\Delta p_1}{\Delta p_1 + \Delta p_2}$$

Fórmula 5

Donde:

$\Delta p_1$  = caída de presión en la válvula cuando está completamente abierta

$\Delta p_2$  = caída de presión en el resto del circuito cuando la válvula está completamente abierta

Conociendo que una válvula ideal daría como resultado una caída de presión igual a la caída de presión del sistema (es decir, una autoridad de 0,5) [17]:

si:  $\Delta p_1 = \Delta p_2$

$a = \Delta p_1 / (\Delta p_1 + \Delta p_2) = 0,5$

Conociendo el caudal del sistema y utilizando la Tabla 11 suministrada por el proveedor de las válvulas, elegimos la válvula cuyo Kvs nos proporcionen una autoridad en el rango permitido.

Hemos elegido una válvula de Kvs=6.3 y 25mm de diámetro que tiene una caída de presión en el caudal de aproximadamente 90.7 kpa y la pérdida existente en la tubería más los accesorios.

Diseño de una instalación para el ensayo de equipos de generación de ACS con bombas de calor agua/agua

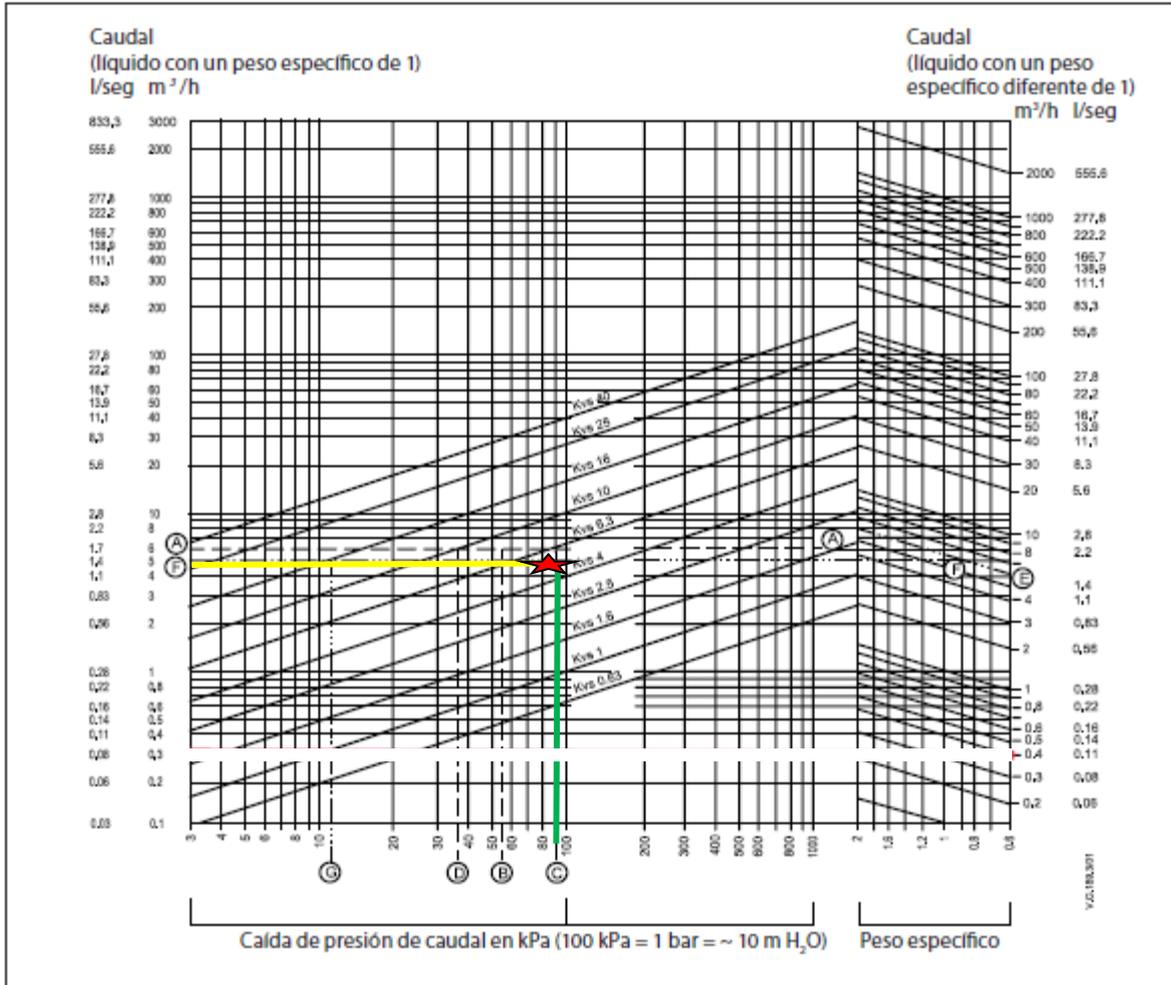


Tabla 11 Selección de Kvs [17]

Procedemos a calcular la Autoridad de la válvula.

$$\text{Autoridad de la válvula} = \frac{90,7}{90,7 + 53,54} = 0,62$$

Obtenemos como resultado de autoridad un 0.62, este valor está dentro del rango permitido, ya que el rango va desde 0.4 hasta 0.7.

El grado de apertura de la válvula será fijado mediante el actuador de control modulante.

### 7.9.3 Válvula de actuación eléctrica.

La válvula de actuación eléctrica seleccionada es de marca Cepex, modelo Valpes de diámetro de 3/4" en la Tabla 12 se puede observar la ficha técnica de la válvula y en la Figura 17 Cuerpo de la válvula.

## Diseño de una instalación para el ensayo de equipos de generación de ACS con bombas de calor agua/agua

Dentro del esquema Figura 3 se observan 4 válvulas de actuación eléctrica para controlar el fluido calorpotador, tanto en la salida para los perfiles de extracción como en el momento que ese fluido pasa a entrar a la enfriadora.

Características técnicas
Válvula de bola Serie [IND] con actuador eléctrico reversible multivoltaje
Control electrónico del par, con limitación de par máximo
Actuador garantizado para 50.000 ciclos con un tiempo bajo tensión del 30%
Selector automático/manual, con mando manual de emergencia
Contactos auxiliares de final de posición
Cuerpo y tapa en poliamida anti-corrosivo

Tabla 12 Ficha técnica de la válvula de actuación eléctrica [18]



Figura 17 Cuerpo de la válvula [18]

La válvula de policloruro de vinilo clorado (PVC-C) presentan un rango de temperaturas de trabajo de 0 a 80 °C y pueden utilizarse en ambientes a altas temperaturas. Estas válvulas Poseen unas excelentes propiedades mecánicas, así como unos elevados valores de resistencia a la tracción, rigidez y resistencia al impacto, incluso a altas temperaturas. [19]

- Presión nominal de hasta 16 bar.
- Rango de temperatura: de 0 a 80 °C.

### Principales aplicaciones

- Sector químico
- Sector naval
- Tecnología de construcción
- Microelectrónica

**Principales ventajas:**

- Propiedades mecánicas excelentes, incluso a elevadas temperaturas
- Resistencia química excepcional
- Material con una elevada resistencia al fuego y autoextinguible [19]

El actuador eléctrico de la válvula que utilizaremos será el modelo ER20 que es el más rápido, con un tiempo de operación de 7 segundos. Las válvulas se activarán mediante relés que a su vez serán controlados mediante LABVIEW para indicar cuando deben abrir o cerrar.

Se alimentarán a 24 VDC ya que el tiempo para la apertura y el cierre es menor, en la Tabla 13 se muestra sus características técnicas y en la Figura 18 se muestra el kit de actuación y el actuador eléctrico.

Model	Voltage	Operation time	Maximum torque	Max. consumption	IP rating	Duty rating	Temperature	Limit switch
ER20	15-30 VA/VDC 90-240 VAC	7 s 9 s	20 Nm 177-in-lbf	15 W	IP 65	30%	-10°/55°C 14°/131°F	4 SPTD

**Tabla 13 Características técnicas del actuador eléctrico**



**Figura 18 Kit de actuación y actuador eléctrico [18]**

## 7.10 Estudios de los accesorios de control

### 7.10.1 PID's

Los PIDs son modelo EZ-ZONE PM6, del fabricante WATLOW, (Figura 19). Permiten entradas de tensión, intensidad y temperatura. También cuentan con distintas salidas, ya sean para repetir señales o para el control externo de otro equipo.

Aquellos destinados a fijar la temperatura, llevarán una PT100 de las descritas anteriormente que le proporcionará la entrada en forma de temperatura. Proporcionará una salida en forma de intensidad que recibirá el actuador de la válvula de tres vías para regular la temperatura que queremos.



Figura 19 PID [20]

Como opción para programar y es un software apropiado, se utilizará el LABVIEW para controlar la instrumentación

#### 7.10.2 USB-3102

El conector de control de señales para adquisición de datos en la computadora que se utilizará es el USB-3102, es un dispositivo de velocidad completa USB 2.0 que es compatible con los sistemas operativos Microsoft®, Windows®. [21]

El USB-3102 proporciona cuatro canales de salida de voltaje analógico, cuatro canales de salida de corriente analógica, ocho conexiones de E / S digitales y un contador de eventos de 32 bits. Tiene un convertidor analógico digital (DAC), cuádruple (4 canales) de 16 bits. Cada salida del convertidor D / A controla un par de canales de voltaje y corriente simultáneamente.

El USB-3102 funciona con la fuente de USB de +5 voltios de su computadora. No se requiere alimentación externa. Todas Las conexiones de E / S se hacen a los terminales de tornillo ubicados a lo largo de cada lado del aparato. [21]

En la Figura 20 se puede observar el USB-3102 que se utilizara en la instalación de ensayos.



Figura 20 USB-3102 [21]

### 7.10.3 Datalogger

El Datalogger es el equipo encargado del registro de la información que reciben los sensores. Para este caso se utilizará el modelo Agilent 34972A, ver Figura 21, se trata de un sistema de adquisición de datos con distintas funciones según las medidas que queramos tomar. Contiene tres módulos para colocar distintas tarjetas multiplexoras 34901A, ver Figura 22, donde irán conectados los sensores. Es capaz de recibir distintos tipos de señales (intensidad, tensión, frecuencia). Este modelo en concreto permite la conexión al ordenador mediante USB. Además, cuenta con un puerto USB propio para ampliar su capacidad de memoria.



Figura 21 Adquisidor de datos [22]



Figura 22 Tarjeta multiplexora [22]

Con respecto a la precisión de la medida tomada va a tener cierta incertidumbre debida a la propia precisión de éste instrumento. Esta precisión a su vez dependerá del valor de la propia medida, del tipo de señal que se procese, de la temperatura y del intervalo de tiempo en el que estemos realizando las mediciones, la Tabla 14 muestra expresiones de incertidumbres medidas según distintos factores.

Diseño de una instalación para el ensayo de equipos de generación de ACS con bombas de calor agua/agua

Function	Range [3]	Test Current or Burden Voltage	24 Hour [2] 23 °C ± 1 °C	90 Day 23 °C ± 5 °C	1 Year 23 °C ± 5 °C	Temperature Coefficient /°C 0 °C – 18 °C 28 °C – 55 °C
<b>DC Voltage</b>	100.0000 mV		0.0030 + 0.0035	0.0040 + 0.0040	0.0050 + 0.0040	0.0005 + 0.0005
	1.000000 V		0.0020 + 0.0006	0.0030 + 0.0007	0.0040 + 0.0007	0.0005 + 0.0001
	10.00000 V		0.0015 + 0.0004	0.0020 + 0.0005	0.0035 + 0.0005	0.0005 + 0.0001
	100.0000 V		0.0020 + 0.0006	0.0035 + 0.0006	0.0045 + 0.0006	0.0005 + 0.0001
	300.000 V		0.0020 + 0.0020	0.0035 + 0.0030	0.0045 + 0.0030	0.0005 + 0.0003
<b>Resistance [4]</b>	100.0000 Ω	1 mA current source	0.0030 + 0.0035	0.008 + 0.004	0.010 + 0.004	0.0006 + 0.0005
	1.000000 kΩ	1 mA	0.0020 + 0.0006	0.008 + 0.001	0.010 + 0.001	0.0006 + 0.0001
	10.00000 kΩ	100 μA	0.0020 + 0.0005	0.008 + 0.001	0.010 + 0.001	0.0006 + 0.0001
	100.0000 kΩ	10 μA	0.0020 + 0.0005	0.008 + 0.001	0.010 + 0.001	0.0006 + 0.0001
	1.000000 MΩ	5 μA	0.002 + 0.001	0.008 + 0.001	0.010 + 0.001	0.0010 + 0.0002
	10.00000 MΩ	500 nA	0.015 + 0.001	0.020 + 0.001	0.040 + 0.001	0.0030 + 0.0004
	100.0000 MΩ	500 nA    10 MΩ	0.300 + 0.010	0.800 + 0.010	0.800 + 0.010	0.1500 + 0.0002
<b>DC Current</b> <i>34901A Only</i>	10.00000 mA	< 0.1 V burden	0.005 + 0.010	0.030 + 0.020	0.050 + 0.020	0.002 + 0.0020
	100.0000 mA	< 0.6 V	0.010 + 0.004	0.030 + 0.005	0.050 + 0.005	0.002 + 0.0005
	1.000000 A	< 2 V	0.050 + 0.006	0.080 + 0.010	0.100 + 0.010	0.005 + 0.0010
Temperature	Type	Best Range Accuracy [5]		Extended Range Accuracy [5]		
<b>Thermocouple [6]</b>	B	1100°C to 1820°C	1.2°C	400°C to 1100°C	1.8°C	0.03°C
	E	-150°C to 1000°C	1.0°C	-200°C to -150°C	1.5°C	0.03°C
	J	<b>-150°C to 1200°C</b>	<b>1.0°C</b>	<b>-210°C to -150°C</b>	<b>1.2°C</b>	<b>0.03°C</b>
	K	-100°C to 1200°C	1.0°C	-200°C to -100°C	1.5°C	0.03°C
	N	-100°C to 1300°C	1.0°C	-200°C to -100°C	1.5°C	0.03°C
	R	300°C to 1760°C	1.2°C	-50°C to 300°C	1.8°C	0.03°C
	S	400°C to 1760°C	1.2°C	-50°C to 400°C	1.8°C	0.03°C
T	-100°C to 400°C	1.0°C	-200°C to -100°C	1.5°C	0.03°C	
<b>RTD</b>	R <sub>0</sub> from 49Ω to 2.1 kΩ	-200°C to 600°C	0.06°C			0.003°C
<b>Thermistor</b>	2.2 k, 5 k, 10 k	-80°C to 150°C	0.08°C			0.002°C

Tabla 14 Expresiones de incertidumbre medidas según los distintos factores

## 8 Realización de las etapas de pruebas.

### 8.1 Potencia absorbida por las bombas de circulación del líquido.

Todos los equipos como bomba de circulación que estén ligados a la bomba de calor, aunque sean independiente a esta se deben incluir para el cálculo de la potencia efectiva total

Del lado del evaporador, la fracción de la potencia absorbida por una bomba de circulación del líquido necesaria para la compensación de la diferencia de presión estática interna del evaporador se debe incluir en la potencia efectiva absorbida por la bomba de calor.

Para el cálculo de la potencia efectiva se utiliza la Fórmula 6:

$$W_{EL-Corr} = \frac{1}{3600 \times 1000} \times \int_0^{t_d} \frac{V_{fluid}(t) \times \Delta p_i}{\eta} dt$$

Fórmula 6

## Diseño de una instalación para el ensayo de equipos de generación de ACS con bombas de calor agua/agua

Donde:

$\eta$  es el rendimiento de la bomba de calor/ ventilador de acuerdo con la Norma EN 14511-3;

$\Delta p_i$  es la diferencia de presión estática interna medida, en Pa;

$V_{fluid}$  es el caudal volumétrico nominal de aire o agua, en m<sup>3</sup>/s;

$t_d$  es la duración de la etapa de ensayos, en s.

Si una bomba recirculación forma parte integral de la bomba de calor, únicamente una parte de la potencia del motor de esta última se debe incluir en la potencia efectiva absorbida por la bomba de calor. La parte que se excluye de la potencia total absorbida por la bomba de calor se debe calcular mediante la Fórmula 7:

$$W_{EL-Corr} = \frac{1}{3600 \times 1000} \times \int_0^{t_d} \frac{V_{fluid}(t) \times \Delta p_e}{\eta} dt$$

Fórmula 7

Donde:

$\eta$  es el rendimiento de la bomba de calor/ventilador de acuerdo con la Norma EN 14511-3;

$\Delta p_e$  es la diferencia de presión estática externa medida, en Pa;

$V_{fluid}$  es el caudal volumétrico nominal de aire, en m<sup>3</sup>/s;

$t_d$  es la duración de la etapa de ensayos, en s.

Esta instalación tiene bombas de recirculación que no forman parte integral de la bomba de calor, por ende, hay que asumir la potencia total.

### 8.2 Etapas de pruebas.

#### 8.2.1 Estabilización [Etapa A]

Se mantiene el equipo en condiciones ambiente hasta que todas las partes del mismo alcanzan las condiciones ambiente con  $\pm 2$  K (al menos 24 h para los dispositivos de calentamiento de agua con bomba de calor por acumulación). [4]

#### 8.2.2 Llenado y peso del depósito de acumulación [Etapa B].

Se pesa el calentador de agua vacío, se debe incluir el peso de las válvulas de los conductos de entrada y/o de evacuación.

Se llena seguidamente el calentador de agua con acumulación con agua de acuerdo con las instrucciones de instalación y operación a la presión de agua fría de entrada (véase la tabla 3).

## Diseño de una instalación para el ensayo de equipos de generación de ACS con bombas de calor agua/agua

A continuación, se corta la alimentación de agua.

Se pesa el calentador de agua lleno incluyendo las válvulas.

Se convierte la diferencia entre las dos pesadas ( $m_{act}$ ) en un volumen en litros mediante la Fórmula 8:

$$V_m = 1000 \times \frac{m_{act}}{\rho(T)}$$

Fórmula 8

Donde:

$V_m$  es el volumen nominal del depósito de acumulación de agua caliente en l;

$m_{act}$  es la diferencia entre las dos pesadas, en kg;

$\rho(T)$  es la densidad del agua, en kg/m<sup>3</sup>;

Se registra este volumen en litros con una aproximación de decenas de litro.

El llenado y la acumulación no se aplican a los calentadores mixtos por bomba de calor. [4]

### 8.2.3 Llenado y período de subida de temperatura [Etapa C]

El depósito se debe llenar con agua fría. El agua fría debe circular en el depósito de acumulación hasta que la temperatura de salida sea igual a la temperatura de entrada, con el límite de variación admitido en la Tabla 3. El ensayo consiste en determinar el tiempo  $t_h$  necesario para calentar el volumen de agua almacenado a partir del estado inicial hasta la primera parada del compresor originada por el termostato del depósito.

Este estado inicial está a la temperatura del agua fría de entrada especificada en la Tabla 3. La bomba de calor se pone en marcha.

Se miden la duración de la subida de temperatura  $t_h$  y el consumo de energía eléctrica correspondiente  $W_{eh-HP}$  a partir de la puesta en marcha de la bomba de calor hasta su parada mediante el termostato de agua caliente situado en el depósito con la corrección calculada de acuerdo con el apartado 7.4 para una duración de ensayo  $t_d = t_h$ . [4]

El consumo de energía eléctrica se debe calcular mediante la Fórmula 9:

$$W_{eh-HP} = W_{eh-M} - W_{EL-Corr}$$

Fórmula 9

Donde:

$W_{eh-M}$  es el consumo de energía eléctrica medido durante la duración del ensayo  $t_h$ , en kWh;

$W_{EL-Corr}$  es la corrección debida al consumo de energía eléctrica del ventilador/bomba de circulación del líquido, en kWh

$W_{eh-HP}$  es el consumo de energía eléctrica total durante la duración del ensayo  $t_h$ , en kWh

#### 8.2.4 Potencia absorbida en régimen estable [Etapa D]

La potencia absorbida en régimen estable se determina midiendo la potencia eléctrica absorbida en un número entero de ciclos marcha/parada de la bomba de calor, iniciados por el termostato situado en el depósito acumulador en ausencia de paso de agua caliente. [4]

Cuando el termostato pare la bomba de calor después del período de subida de temperatura, el sistema se deja en funcionamiento sin paso de agua caliente durante un determinado número de ciclos completos. [4]

El ensayo se debe realizar durante un periodo de 48 h o menos si se producen 6 ciclos marcha/parada. [4]

Se determina la duración  $t_{es}$  y el consumo de energía eléctrica  $W_{es-HP}$  en el último ciclo marcha/parada mediante la Fórmula 10:

$$W_{es-HP} = W_{es-M} - W_{EL-Corr}$$

Fórmula 10

Donde:

$W_{es-M}$  es el consumo de energía eléctrica medido durante el último ciclo marcha/parada, en kWh.

$W_{EL-Corr}$  es la corrección debida al consumo de energía eléctrica del ventilador y, o un de la bomba de circulación del líquido, en kWh, calculada de acuerdo con el apartado 8.1 para una duración de ensayo  $t_d = t_{es}$ ;

$W_{es-HP}$  es la energía total absorbida durante el último ciclo marcha/parada, en kWh.

Se determina la potencia absorbida en régimen estable mediante la Fórmula 11:

$$P_{es} = \frac{W_{es-HP}}{t_{es}} \times 3600$$

Fórmula 11

Donde:

$P_{es}$  es la potencia media absorbida en régimen estable, en kW;

$W_{es-HP}$  es el consumo total de energía eléctrica durante el último ciclo marcha/parada, en kWh.

$T_{es}$  es la duración del último ciclo marcha/parada, en s.

## 8.2.5 Paso de agua y cálculo del COP [Etapa E].

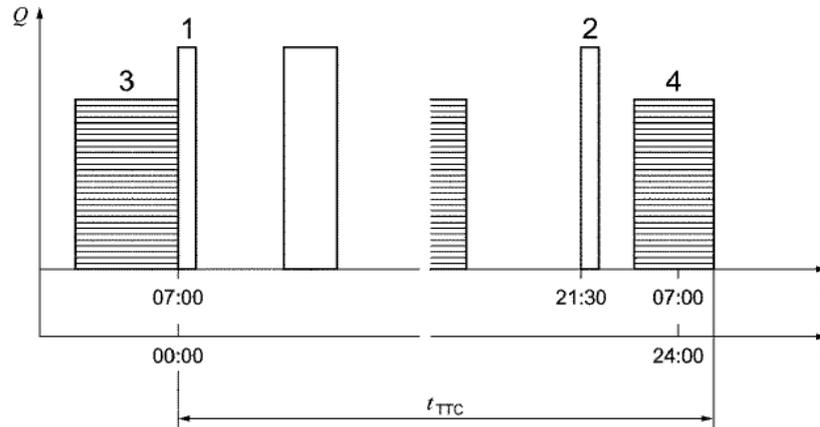
### 8.2.5.1 Determinación de la energía útil.

Para completar la [Etapa E] se debe seleccionar el perfil de extracción que se utilizara en el ensayo, que se determina según las prestaciones que pueda aportar una bomba de calor, para este proyecto utilizamos la bomba de calor agua/agua que utiliza CO<sub>2</sub> como refrigerante. El perfil de extracción que se utilizara para ensayar la bomba de calor es el 3XL, seleccionado conforme el Reglamento de (UE) N° 813/2013 de la comisión de 2 agosto 2013. Asumiendo que se tiene eficiencia energética de caldeo de agua de 64%, tomando en cuenta la energía consumida y el calor aportado por la bomba de calor. [23]

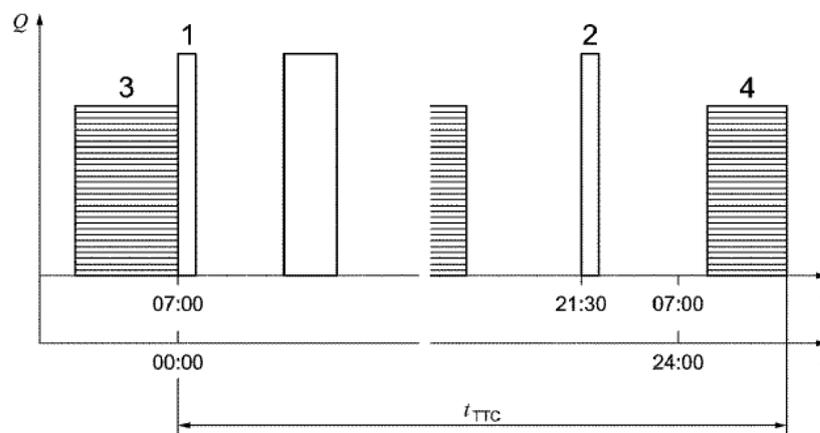
Los perfiles de extracción en función de las cantidades de energía diferentes se indican en el anexo A. Se deben alcanzar todas las extracciones individuales del perfil de extracción, es decir que se debe cerrar la válvula y se debe requerir un tiempo como mínimo de un minuto antes de proceder al siguiente paso.

El ciclo de ensayo arranca inmediatamente después de la última parada de la bomba de calor por acción del termostato de agua caliente situado en el depósito acumulador. El ciclo de ensayo se termina después de la última parada de la bomba de calor si la duración del perfil de extracción es superior o igual a 24 h (véase el punto a) de la Figura 23. Si la bomba de calor no funciona al cabo de 24 h después del comienzo del ciclo de ensayo el ciclo de ensayo se prolonga hasta que la bomba de calor arranque y se pare de nuevo (véase el punto b) de la Figura 23.

Diseño de una instalación para el ensayo de equipos de generación de ACS con bombas de calor agua/agua



a) Representación gráfica de un ensayo durante el cual la bomba de calor funciona después de finalizar el periodo de 24 h



b) Representación gráfica de un ensayo durante el cual la bomba de calor no funciona después de finalizar el periodo de 24 h

Leyenda

- 1 Primer paso del perfil de extracción
- 2 Un último paso del perfil de extracción
- 3 Duración del funcionamiento de la bomba de calor inmediatamente antes del arranque del ciclo de ensayos
- 4 Duración del funcionamiento de la bomba de calor después del último paso (2)
- Q Energía, en kWh
- t Tiempo, en h, o min
- $t_{TTC}$  Duración del perfil de extracción, en h, o min

Figura 23 Representación gráfica de un ensayo para un posible perfil de extracción

La energía útil  $Q_{HT-tap}$  (kWh) durante un único paso se calcula mediante la Fórmula 12:

$$Q_{HP-tap} = \frac{1}{60 \times 1000 \times 3600} \int_0^{t_{tap}} c_p \times \rho(T) \times f(t) \times (\theta_{WH}(t) - \theta_{wc}(t)) dt$$

Fórmula 12

Diseño de una instalación para el ensayo de equipos de generación de ACS con bombas de calor agua/agua

Donde:

$\theta_{WH}(t) - \theta_{WC}(t)$  es la diferencia de temperatura entre la temperatura del agua caliente a la salida y la temperatura del agua fría a la entrada del recipiente de acumulación de agua caliente sanitaria, en K;

$f(t)$  es el caudal útil de agua, en l/min;

$t_{tap}$  es la duración de la extracción de agua útil, en s;

$c_p$  es el calor específico del agua, en kJ/(kgK);

$\rho(T)$  es la densidad del agua caliente en el caudalímetro, en kg/m<sup>3</sup>.

Para las extracciones con una temperatura punta  $T_p$  de 55 °C, esta temperatura no siempre se puede alcanzar únicamente con la bomba de calor. Durante la extracción se supone que la diferencia entre la temperatura requerida  $T_p$  y la temperatura obtenida se produce mediante un calefactor con resistencia eléctrica complementario.

Para este caso se utilizarían las fórmulas, Fórmula 13, Fórmula 14, Fórmula 15.

$$Q_{EL-tap} = \frac{1}{60 * 1000 * 3600} \int_0^{t_{tap}} c_p * \rho(T) * f(t) * (\theta_{WC}(t) + (T_p - 10) - \theta_{wc}(t)) dt$$

Fórmula 13

Donde:

$Q_{HT-tap}$  se considera igual a cero, en el caso de que la Fórmula 13 de un resultado negativo.

La extracción se debe parar cuando  $Q_{HT-tap} + Q_{EL-tap}$  sea igual a la energía requerida para este paso.

La energía global de paso  $Q_{LP}$  del perfil de extracción es:

$$Q_{EL-LP} = \sum_{i=1}^{n_{tap}} Q_{EL-tap_i}$$

Fórmula 14

$$Q_{LP} = \sum_{i=1}^{n_{tap}} Q_{HP-tap_i} + Q_{EL-LP}$$

Fórmula 15

Donde:

$Q_{HT-LP}$  es la energía calorífica calculada generada por una resistencia eléctrica calefactora durante el perfil de extracción completo, en kWh;

$Q_{LP}$  es la energía útil total durante el perfil de extracción completo, en kWh;

$n_{tap}$  es el número de pasos durante el perfil de extracción;

$i$  es el índice de paso.

### 8.2.5.3 Determinación del consumo de energía eléctrica ( $W_{EL-LP}$ ).

Para la corrección del consumo de energía eléctrica durante el periodo de medición del perfil de extracción y obtener el consumo de energía eléctrica total  $W_{EL-LP}$  se hace mediante la Fórmula 16:

- corrección para los ventiladores o las bombas de circulación del líquido,  $W_{EL-Corr}$  (kWh);
- pérdidas térmicas del depósito de acumulación durante 24 h;
- aportaciones eléctricas complementarias,  $Q_{EL-LP}$  (kWh);
- consumo de energía eléctrica calculado para los productos de tarifa reducida, si es aplicable,  $W_{EL-OFF}$  (kWh).

$$W_{EL-LP} = W_{EL-M-LP} - W_{EL-Corr} + (24 - t_{TTC}) \times P_{es} + Q_{EL-LP} + W_{EL-OFF}$$

Fórmula 16

Donde:

$W_{EL-LP}$  es el consumo total de energía eléctrica durante el perfil de extracción completo, en kWh;

$T_{TTC}$  es la duración del perfil de extracción, en h;

$P_{es}$  es la potencia media absorbida en régimen estable, en kW.

### 8.2.5.4 Coeficiente de eficiencia energética ( $COP_{DHW}$ ).

El coeficiente de eficiencia energética  $COP_{DHW}$  durante el perfil de extracción completo se calcula mediante la Fórmula 17:

$$COP_{DHW} = \frac{Q_{LP}}{W_{EL-LP}}$$

Fórmula 17

Donde:

$Q_{LP}$  es la energía útil total durante el perfil de extracción completo, en kWh;

$W_{EL-LP}$  es el consumo total de energía eléctrica durante el perfil de extracción completo, en kWh.

### 8.2.6 Temperatura del agua caliente de referencia y agua mezclada a 40 °C [Etapas F].

Este ensayo comienza con la parada del compresor, al finalizar el último período de medida del perfil de extracción. Se inicia un paso de agua caliente continuo que proseguirá hasta que la temperatura del agua caliente  $\theta_{WH}(t)$  desciende por debajo de 40 °C. El caudal de agua caliente,

## Diseño de una instalación para el ensayo de equipos de generación de ACS con bombas de calor agua/agua

$f_{\text{máx}}$  se debe regular al caudal máximo del perfil de extracción considerado, en nuestro caso el perfil 3XL.

Se determina un valor de referencia de la temperatura del agua caliente contenida en el depósito acumulador midiendo la temperatura del agua a la salida. La temperatura media durante este paso es la temperatura del agua caliente de referencia calculada mediante la Fórmula 18:

$$\theta_{WH} = \frac{1}{t_{40}} \int_0^{t_{40}} \theta_{WH}(t) dt$$

Fórmula 18

Donde:

$\theta_{WH}$  es la temperatura del agua caliente de referencia, en °C;

$\theta_{WH}(t)$  es la temperatura del agua caliente a la salida, en °C;

$t_{40}$  es la duración comprendida entre el comienzo de la extracción y el momento en el que  $\theta_{WH}$  es inferior a 40 °C, en s.

La norma exige determinar la cantidad máxima de agua mezclada a 40 °C durante un solo paso. Esto se determina calculando la energía de agua caliente durante la extracción  $f_{\text{máx}}$  así como la temperatura de agua fría de entrada y la temperatura del agua caliente de salida  $\theta_{WH}$  se miden como mínimo cada 10 s. El volumen máximo de agua caliente  $V_{40}$  se calcula mediante la Fórmula 19:

$$V_{40} = \frac{1}{(40-10) \times 60} \int_0^{t_{40}} f_{\text{max}}(t) \times [\theta_{WH}(t) - \theta_{WC}(t)] dt$$

Fórmula 19

Donde:

$V_{40}$  es el volumen máximo de agua mezclada a 40 °C, en l;

$\theta_{WH}(t) - \theta_{WC}(t)$  es la diferencia de temperatura entre la temperatura del agua caliente a la salida y la temperatura del agua fría a la entrada del recipiente de acumulación de agua caliente sanitaria, en K;

$t_{40}$  es la duración comprendida entre el comienzo de la extracción y el momento en el que  $\theta_{WH}$  es inferior a 40 °C, en s;

$f_{\text{máx.}}(t)$  es el caudal de agua durante la extracción, en l/min.

### 8.2.7 Cálculo del factor de control inteligente SCF

Si se declara un control inteligente en el sistema, este control inteligente se debe ensayar de acuerdo con los apartados 5.5 y 8.2.7.1.

### 8.2.7.1 Procedimiento de ensayos del control inteligente

El procedimiento de ensayos del control inteligente se basa en dos periodos de ensayo denominados "periodo de referencia" y "período inteligente". Durante el primer periodo (periodo de referencia) el control inteligente no influye en el procedimiento de calentamiento y el aparato utiliza los parámetros de temperatura definidos en el apartado 5.5; durante el segundo período "periodo inteligente" que se alcanza automáticamente, el aparato funciona para reducir cualquier consumo de energía eléctrica con vistas a alcanzar un objetivo mínimo de eficiencia (es decir, factor de control inteligente SCF, Smart Control Factor) en relación al primer periodo de ensayos. [4]

Puntos de observación:

- Durante el periodo de referencia los controles inteligentes se activan para adquirir conocimientos, pero se desactiva para la operación.
- Durante el periodo inteligente, el control inteligente se activa y se desactiva para las operaciones de optimización, es decir, de economía de energía.
- Durante los dos periodos, se deben cumplir los perfiles de extracción elegidos.
- El periodo de ensayos total se denomina CICLO INTELIGENTE.
- Todo el ensayo se realiza utilizando el termostato del producto.

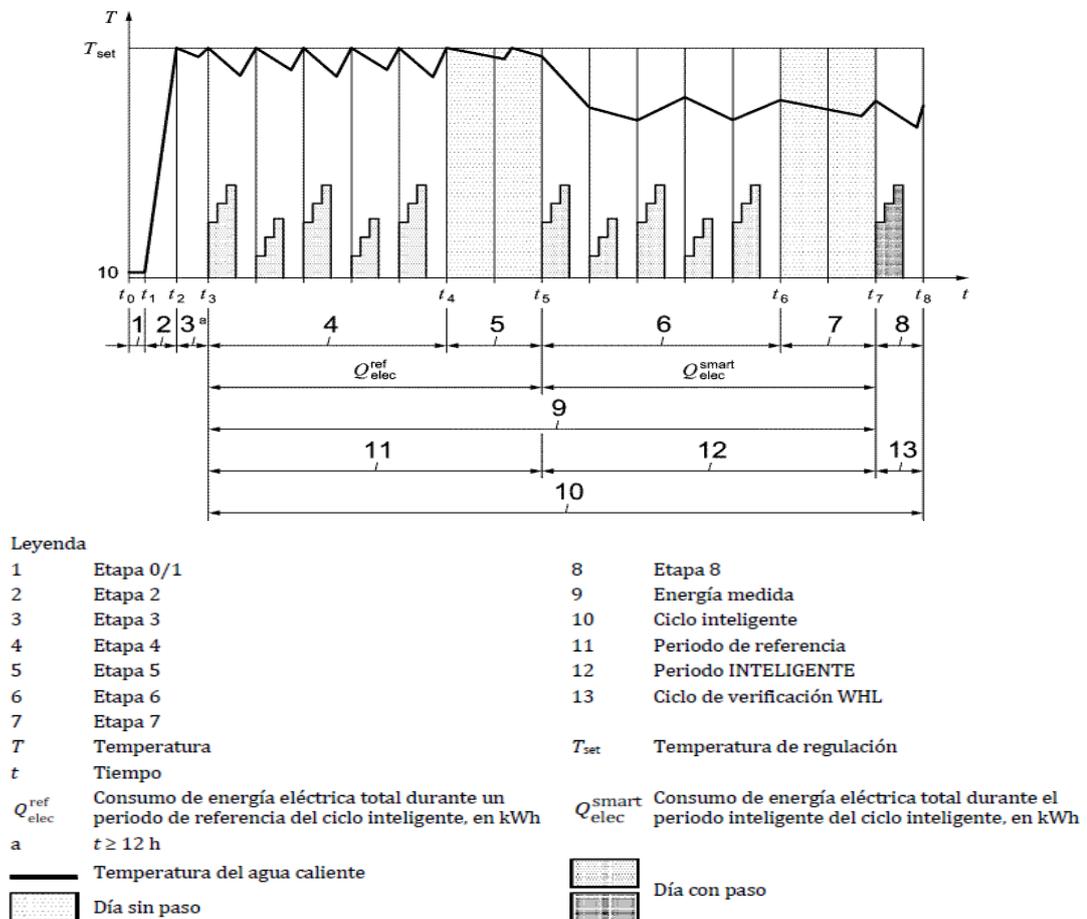


Figura 24 Procedimiento de ensayos para el CICLO INTELIGENTE

A continuación, se describen los pasos en cada una de las etapas correspondientes al ciclo inteligente.

#### **8.2.7.2 Instalación**

Etapas 0 de la Figura 24 : El aparato se instala siguiendo el método indicado en el capítulo 5, hace énfasis en que el sistema debe respetar las incertidumbres de la Tabla 1.

#### **8.2.7.3 Estabilización**

Etapas 1 de la Figura 24: El aparato se estabiliza siguiendo el método indicado en el apartado 8.2.1

#### **8.2.7.4 Llenado y subida de temperatura**

Etapas 2 de la Figura 24: El producto se debe llenar con agua fría. La etapa consiste en determinar el tiempo necesario para el calentamiento del volumen de agua acumulada a partir del estado inicial hasta la primera parada del compresor originada por el termostato del depósito acumulador.

#### **8.2.7.5 Estabilización antes del período de referencia**

Etapas 3 de la Figura 24: se mantiene el producto en funcionamiento sin paso durante al menos 12 h. Esta etapa finaliza y comienza la siguiente etapa en la primera activación del termostato después de 12 h.

#### **8.2.7.6 Período de referencia**

Etapas 4/5 de la Figura 24: Este periodo de ensayos permite adquirir conocimiento sobre el comportamiento de los consumidores y medir el consumo de energía activando el control inteligente.

Las Etapas 4/5 de la Figura 24 pueden durar 1 o 2 semanas; el fabricante decidirá utilizar el procedimiento una o dos semanas y el producto se ensayará en consecuencia.

Los perfiles de extracción para los 5 primeros días de ensayo se eligen de forma aleatoria por parte de laboratorio entre el perfil de extracción declarado por el fabricante para el producto WHL (Carga del calentador de agua) y el perfil de extracción inmediatamente inferior (WHL – 1). Esto significa que se deben definir cinco cargas del calentador de agua (por ejemplo, tres "WHL"

## Diseño de una instalación para el ensayo de equipos de generación de ACS con bombas de calor agua/agua

y dos "WHL – 1") y el laboratorio puede decidir utilizarlas de forma aleatoria (por ejemplo, WHL = MMMSS, SSSMMM, MSMSM). En el caso de que WHL sea el perfil de extracción más pequeño 3XS, el producto se debe ensayar utilizando únicamente el perfil de extracción WHL (es decir, 3XS) durante los cinco días. No se realizará ningún paso durante el sexto y el séptimo día de ensayos.

El control inteligente se activa manual/automáticamente siguiendo las instrucciones del fabricante, en el instante  $t_3$  (Figura 24) y permanece en este estado de  $t_3$  a  $t_8$ .

Para los perfiles de extracción elegidos la extracción se realiza de acuerdo con las especificaciones del perfil de extracción de 24 h apropiado procedente de las tablas del anexo A. Los perfiles de extracción comienzan en  $t_3$  (7:00) como se indica en las tablas del anexo A. El periodo de extracción finaliza 24 h más tarde cada día.

En la etapa de paso los parámetros técnicos (potencia, temperatura, etc.) se establecen siguiendo las indicaciones de las tablas 3, 4 y 5. Durante las extracciones, la frecuencia de toma de muestras recomendada es como máximo de 3 s. Los valores registrados deben formar parte del informe técnico de ensayos.

Se medirá el consumo de energía eléctrica durante cada ensayo de 24 h,  $Q_{elec}^{ref}[i]$  [kWh], y se definirá un consumo de energía eléctrica total para el "periodo de referencia" mediante la Fórmula 20:

$$Q_{elec}^{ref} = \sum_{i=1}^{7n} Q_{elec}^{ref}[i]$$

Fórmula 20

Donde:

$n = 1$  es el "periodo de referencia" basado en una semana;  
 $n = 2$  es el "periodo de referencia" basado en dos semanas;  
 $i$  es el día del periodo de referencia.

La energía útil de cada perfil de extracción del periodo de referencia  $Q_{LP}^{ref}[i]$  [kWh] se debe determinar cómo se indica en el apartado 5.7.5. La energía útil total del periodo de referencia  $Q_{LP}^{ref}$  se debe calcular mediante la Fórmula 21:

$$Q_{LP}^{ref} = \sum_{i=1}^{7n} Q_{LP}^{ref}[i]$$

Fórmula 21

Donde:

$n = 1$  es el periodo de referencia basado en una semana;  
 $n = 2$  es el periodo de referencia basado en dos semanas;  
 $i$  es el día del periodo de referencia.

## Diseño de una instalación para el ensayo de equipos de generación de ACS con bombas de calor agua/agua

Los productos clasificados como aparatos de "tarifa reducida" se deben conectar a la red eléctrica durante un periodo máximo de 8 h consecutivas entre las 22:00 y las 7:00 del perfil de extracción de 24 h como se indica en las tablas del anexo A.

Se debe respetar el periodo del perfil de extracción de 24 h, es decir que cada 24 h, a las 07:00 comienzan las extracciones especificados en las tablas del anexo A sin esperar la parada de la bomba de calor por el termostato.

### 8.2.7.7 Período inteligente

Etapas 6/7 de la Figura 24: Inmediatamente después del "periodo de referencia" se realiza el ensayo del "periodo inteligente" durante una semana utilizando la misma repetición de la secuencia de perfiles de extracción definida en el "periodo de referencia" estando activada la función de control inteligente.

Se mide igualmente el consumo energía eléctrica durante cada etapa, a continuación, se compara con el consumo de energía eléctrica del "periodo de referencia". Este porcentaje de economía se denomina "factor de control inteligente" SCF.

Los principales resultados de este ensayo son el consumo de energía eléctrica durante cada ensayo de 24 h Smart  $Q_{elec}^{smart}$  [i] y el consumo energía eléctrica total para el periodo inteligente  $Q_{elec}^{smart}$  calculado mediante la Fórmula 22:

$$Q_{elec}^{smart} = \sum_{i=1}^{7n} Q_{elec}^{smart} [i]$$

Fórmula 22

Donde:

$n = 1$  es el "periodo de referencia" basado en una semana;

$n = 2$  es el "periodo de referencia" basado en dos semanas;

$i$  es el día del periodo de referencia.

La energía útil de cada perfil de extracción del periodo de referencia  $Q_{LP}^{smart}$  [i] [kWh] se debe determinar cómo se indica en el apartado 8.2.5.1 La energía útil total del periodo de referencia  $Q_{LP}^{smart}$  se debe calcular mediante la Fórmula 23:

$$Q_{LP}^{smart} = \sum_{i=1}^{7n} Q_{LP}^{smart} [i]$$

Fórmula 23

Donde:

$n = 1$  es el "periodo de referencia" basado en una semana;

$n = 2$  es el "periodo de referencia" basado en dos semanas;

$i$  es el día del periodo de referencia.

## Diseño de una instalación para el ensayo de equipos de generación de ACS con bombas de calor agua/agua

Los productos clasificados como aparatos de tarifa reducida se deben conectar a la red eléctrica durante un periodo máximo de 8 h consecutivas entre las 22:00 y las 7:00 del perfil de extracción de 24 h como se indica en las tablas del anexo A.

Se debe respetar el periodo del perfil de extracción de 24 h, es decir que cada 24 h, a las 07:00 comienzan las extracciones especificados en las tablas del anexo A sin esperar la parada de la bomba de calor por el termostato.

### 8.2.7.8 Registro del "factor de control inteligente" (SCF)

La diferencia entre los resultados de la medición  $Q_{LP}^{ref}$  y  $Q_{LP}^{smart}$  debe ser inferior al 2%. El SCF se debe calcular mediante la Fórmula 24:

$$SCF = \left( 1 - \frac{Q_{elec}^{smart}}{Q_{elec}^{ref}} \right)$$

Fórmula 24

### 8.2.7.9 Ciclo de verificación

Etapa 8 de la Figura 24: Inmediatamente después del "periodo inteligente" se realiza un perfil de extracción complementaria de 24 h (denominado "ciclo de verificación" WHL) y se deben cumplir los requisitos de extracción. Si no se cumplen los requisitos la ventaja de control inteligente no se puede tener en cuenta para el cálculo de la eficiencia energética para el calentamiento del agua (véase 8.2.10) y el valor del control inteligente es igual a 0 en la Fórmula 28. Durante esta etapa el producto se ensaya siguiendo el perfil de extracción del calentador de agua en el primer día (día 1) del "periodo de referencia". La unidad debe poder cumplir los requisitos de este perfil de extracción.

### 8.2.8 Determinación del término de corrección de ambiente $Q_{cor}$

Para el caso en que una bomba de calor no esté instalada en un lugar isotérmico se debe realizar una corrección de los cálculos. Esta corrección se denomina "término de corrección" de ambiente  $Q_{cor}$  se expresa en kWh y se debe calcular mediante la Fórmula 25:

$$Q_{cor} = -k \times 24 \times P_{stby}$$

Fórmula 25

Donde:

**k** es el coeficiente cuyo valor se indica en la Tabla 15;

**P<sub>stby</sub>** son las pérdidas térmicas de calor primario en régimen estable

Para obtener  $P_{stby}$ , en kWh, determinadas mediante la Fórmula 26.

$$P_{stby} = CC \times P_{es}$$

Fórmula 26

Diseño de una instalación para el ensayo de equipos de generación de ACS con bombas de calor agua/agua

Donde:

**CC** Es el coeficiente de conversión igual a 2,5

**P<sub>es</sub>** Potencia absorbida

	3XS	XXS	XS	S	M	L	XL	XXL	3XL	4XL
<b>k</b>	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0	0	0

**Tabla 15 Diferentes perfiles de extracción**

### 8.2.9 Eficiencia energética para el calentador de agua $\eta_{wh}$ .

Para el cálculo de la eficiencia energética del calentador de agua, en primer lugar hay que determinar el consumo diario de energía eléctrica  $Q_{elec}$ , Para ello, se utiliza la Fórmula 27.

$$Q_{elec} = \frac{Q_{ref}}{Q_{LP}} \times W_{EL-LP}$$

**Fórmula 27**

Donde:

**Q<sub>elec</sub>** es el consumo diario de energía eléctrica, en kWh;

**Q<sub>ref</sub>** es la energía de referencia del perfil de extracción considerado, en kWh;

**Q<sub>LP</sub>** es la energía útil total durante el perfil de extracción completo, en kWh;

**W<sub>EL-LP</sub>** es el consumo de energía eléctrica total durante el perfil de extracción, en kWh.

### 8.2.10 Cálculo de $\eta_{wh}$ para los calentadores de agua con bomba de calor y los calentadores de agua mixtos con bomba de calor.

La eficiencia energética para el calentamiento del agua se debe expresar en % y se define mediante la Fórmula 28:

$$\eta_{wh} = \frac{Q_{ref}}{(CC \times Q_{elec}) \times (1 - SCF \times smart) + Q_{cor}}$$

**Fórmula 28**

Donde:

**$\eta_{wh}$**  es la eficiencia energética para el calentamiento del agua, en %;

**Q<sub>ref</sub>** es la energía de referencia del perfil de extracción considerado, en kWh;

**Q<sub>elec</sub>** es el consumo diario de energía eléctrica, en kWh;

**CC** es el coeficiente de conversión igual a 2,5;

**SCF** es el factor de control inteligente determinado de acuerdo con el apartado 8.2.7.1;

**Q<sub>cor</sub>** es el término de corrección ambiente determinado de acuerdo con el apartado 8.2.8, en kWh; **smart** es el indicador de conformidad de control inteligente del producto.

## Diseño de una instalación para el ensayo de equipos de generación de ACS con bombas de calor agua/agua

Si el valor de SCF es superior o igual a 0,07 y se cumplen los requisitos del apartado 8.2.7.9 el valor del control inteligente debe ser igual a 1. En el resto de los casos debe ser igual a 0.

### 8.2.11 Cálculo del consumo anual de energía eléctrica.

El consumo anual de energía eléctrica (AEC) en kWh/a se redondea al número entero más próximo y se debe calcular mediante la Fórmula 29:

$$AEC = 0,6 \times 366 \times \left( Q_{elec} \times (1 - SFC \times smart) + \frac{Q_{cor}}{CC} \right)$$

Fórmula 29

### 8.2.12 Potencia calorífica nominal.

La potencia calorífica nominal  $P_{rated}$  se calcula mediante la Fórmula 30: cuando se determina en las condiciones de ensayo especificadas en la tabla 4, con un clima medio para las unidades con aire exterior y el perfil de extracción máximo declarado por el fabricante.

$$P_{rated} = \frac{1,163 \times 3600 V_{40} (40-10)}{t_h \times 1000}$$

Fórmula 30

Donde:

$P_{rated}$  es la potencia calorífica nominal, en kW;

$V_{40}$  es el volumen máximo de agua mezclada a 40 °C, en l;

$t_h$  es la duración de la subida de temperatura, en s.

### 8.2.13 Coeficiente de rendimiento estacional ( $SCOP_{DHW}$ )

En el caso del coeficiente de rendimiento estacional se considera igual que el  $COP_{DHW}$  cuando se determina en las condiciones de ensayo indicadas en la Tabla 4.

### 8.2.14 Datos a registrar de los ensayos.

En la Tabla 16 se insertarán los datos registrados durante las etapas C a F y la Tabla 17 se utilizará para registrar datos complementarios cuando se declara el ciclo de control inteligente.

Diseño de una instalación para el ensayo de equipos de generación de ACS con bombas de calor agua/agua

Magnitud medida calculada	Unidad	Todos los ensayos	Periodo de subida de temperatura [Etapa C]	Potencia absorbida en regimen estable [Etapa D]	Pasos de agua y COPdwh [Etapa E]	Agua mezclada y temperatura de referencia [Etapa F]
Temperatura de entrada del liquido	°C					
Temperatura de salida del liquido	°C					
Concentracion del agua glicolada	%Vol					
Densidad del liquido	kg/m3					
Calor especifico del liquido	Kj/Kg/K					
caudal del liquido	Kg/h					
presion estatica interna y externa	Kpa					
Agua caliente sanitaria	°C					
Temperatura de entrada del agua fria	°C		$\theta_{wc}$			
Temperatura de salida del agua caliente	°C				$T_m$	$\theta_{WH}$
Temperatura punta	°C				$T_p$	
Caudal de agua caliente					$f$	$f_{Max}$
Tiempo/Duracion	s		$t_h$	$t_{es}$	$t_{TTC}$	$t_{40}$
Numero de Ciclos marcha parada				x		
Perfil de extraccion					x	
Energia de referencia	kWh				$Q_{ref}$	
Energia calorifica util en cada paso	kWh				QHP-tap	
Energia util total del perfil de extraccion	kWh				QLP	
Coefficiente de eficiencia de energia					COPDHW	
Termino de correccion ambiental					$Q_{cor}$	
Eficiencia energetica para el calentamiento de agua	%				$\eta_{WH}$	
Volumen de agua extraida	l					V40
Temperatura de referencia	°C					$\theta_{WH}$
Ciclo de deshielo						
Periodo de deshielo	s		x			
Ciclo de operacion en el periodo de deshielo	s		x			
Otro						
Presion atmosferica	Pa		x			
Temperatura ambiente	°C		x			
Magnitudes electricas						
Tension	V		x			
Frecuencia	Hz		x			
Potencia absorbida	kW			$P_{es}$		
Consumo de energia electrica medido	kWh		$W_{eh-M}$	$W_{es-M}$	QEL-tap QEL-LP WEL-M-LP	
Correccion para los ventiladores y las bombas	kWh		WEL-corr	WEL-corr	WEL-corr	
Consumo de energia electrica calculado para los producto de tarifa reducida si es aplicable	kWh					
Consumo de energia electrica	kWh				WEL-OFF	
Consumo diario de energia electrica	kWh		W <sub>eh</sub> -HP	W <sub>es</sub> -HP	WEL-LP	
Consumo anual de energia electrica	kWh/a				AEC	

Tabla 16 Ficha de registro de datos

Diseño de una instalación para el ensayo de equipos de generación de ACS con bombas de calor agua/agua

Magnitud medida calculada	Unidad	Todos los ensayos	Periodo de subida de temperatura [Etapa C]	Potencia absorbida en regimen estable [Etapa D]	Pasos de agua y COPdwh [Etapa E]	Agua mezclada y temperatura de referencia [Etapa F]
Consumo energía eléctrica calculado para los productos de tarifa reducida si es aplicable	kWh				WEL-OFF	
Consumo de energía eléctrica	kWh		Weh-HP	Wes-HP	WEL-LP	
Consumo diario de energía eléctrica					Qelec	
Consumo anual de energía eléctrica	kWh/a				AEC	

**Tabla 17 Datos complementarios a registrar para el ensayo de ciclo inteligente**

Los datos deberán de ser insertado en las casillas marcadas en cada etapa, según los resultados obtenidos una vez se haya calculado.

### 8.2.15 Informe de ensayos

Para que el informe del ensayo sea válido debe de contener como mínimo la siguiente información:

- a) Fecha;
- b) Organismo de ensayo;
- c) Lugar del ensayo;
- d) Responsable del ensayo
- e) Denominación del objeto a ensayar
- f) Números de serie del fabricante de la bomba de calor ensayada y del depósito acumulador, si es aplicable;
- g) Descripciones de la bomba de calor ensayada y del depósito acumulador incluyendo el reglaje del termostato, la velocidad de la bomba y del ventilador;
- h) Producto de tarifa reducida (sí/no);
- i) Tipo de refrigerante;
- j) Masa del refrigerante;
- k) Propiedades de los fluidos (distintos del agua);
- l) La referencia a esta norma europea;
- m) Cualquier desviación del método de ensayo;
- n) Los valores registrados (Tabla 17)
- o) Los principales resultados (Tabla 18)
- p) La fecha y la firma del responsable de ensayos.

### 8.2.16 Principales resultados obtenidos.

En la Tabla 18 se muestra la ficha que se rellanará al finalizar los ensayos con los principales resultados.

Nº	Resultados	Simbolo	Unidad
1-	Perfil de extracción	-	-
2-	Reglaje del control, por ejemplo, temperatura e reglje del termostato, modo	-	-
3-	Duración de la subida de temperatura	th	h:min
4-	Consumo de energía durante la subida de temperatura	Weh-HP	kWh
5-	Potencia absorbida en régimen estable	Pes	W
6-	Energía útil total durante el perfil de extracción	QLP	kWh
7-	Consumo de energía total durante el perfil de extracción	WEL-LP	kWh
8-	Consumo diario de energía eléctrica	Qelec	kWh
9-	Coficiente de eficiencia energética	COPDHW	-
10-	Eficiencia energética para el calentamiento de agua	$\eta_{WH}$	%
11-	Consumo anual de energía electrica	AEC	kWh/a
12-	Temperatura del agua caliente de referencia	$\theta'_{WH}$	°C
13-	Volumen máximo del agua mezclada a 40°C	V40	l
14-	Reglaje del control inteligente, por ejemplo temperatura de reglaje del termostato	-	-
15-	Para los productos con tontrol inteligente, el factor de control inteligente	SCF	-
16-	Para los productos con tontrol inteligente, el orden de los perfiles de extraccion del dia 1 al 5	-	-
17-	Rango de temperatura de operación: temperatura mínima y máxima de la fuente de calor, temperatura mínima de arranque y tempertura media máxima del agua caliente sanitaria	-	°C
18-	Volumen nominal del deposito, cuando aplique	Vm	l
19-	Potencia calorífica nominal	Prated	Kw
20-	Coficiente de rendimiento estacional	SCOPDHW	-

**Tabla 18 Presentación de los principales resultados**

## 9 Presupuesto de los materiales

El presupuesto mostrado a continuación contiene las cantidades y los precios (IVA incluido) solo de algunos de los materiales y equipos utilizados en la instalación de ensayos de bombas de calor agua/agua, debido a que excluye dos de los depósitos, pues se encuentran en existencia en el Laboratorio de Calor y Frío.

<b>Presupuesto de equipos de la instalación</b>				
<b>Ítem</b>	<b>Cant.</b>	<b>Unidad</b>	<b>Precio unitario</b>	<b>Precio Total</b>
Aislante térmico	8	2 Metro	37.00 €	296.00 €
Bomba de circulación Wilo con control	2	UD	600.00 €	1,200.00 €
Bomba Pedrollo	3	UD	108.90 €	326.70 €
Caudalímetro electromagnético Siemens	2	UD	1,700.00 €	3,400.00 €
Depósito ACS	2	UD	2,825.00 €	5,650.00 €
Filtro	2	UD	30.00 €	60.00 €
PIDs Watlow	1	UD	350.00 €	350.00 €
RTD	10	UD	17.00 €	170.00 €
Sensor de nivel	1	UD	45.00 €	45.00 €
Actuador de control modulante Danfoss	1	UD	225.00 €	225.00 €
Tarjetas multiplexoras Agilent/Keysight 34970A.	1	UD	500.00 €	500.00 €
Tubería	15	Metro	2.00 €	30.00 €
Codos	6	UD	2.00 €	12.00 €
Tes	3	UD	2.00 €	6.00 €
Datalogger Agilent 34972A	1	UD	600.00 €	600.00 €
USB-3102	1	UD	420.00 €	420.00 €
Válvula mecánica Arco	7	UD	17.00 €	119.00 €
Válvula actuación eléctrica Cepex	4	UD	37.00 €	148.00 €
Válvula de tres vías Danfoss	1	UD	250.00 €	250.00 €
Cablería y racorería	1	Varios	1,000.00 €	1,000.00 €
			<b>TOTAL:</b>	<b>14,807.70 €</b>

El presupuesto nos arroja valores de 14,807.09€ con IVA incluido.

## 10 Conclusiones

Debido a la necesidad de la generación de calor de la forma más eficientes y sin hacer daño al medio ambiente, surgen distintas tecnologías de transferencia de calor en climatización y refrigeración. Este proyecto se centra en el estudio de bombas de calor accionadas eléctricamente para la producción de agua caliente sanitaria. En concreto, la finalidad de este proyecto es diseñar una instalación para ensayar bombas de calor agua/agua accionadas eléctricamente.

La instalación diseñada en este Trabajo Final de Master permite la caracterización de distintas bombas de calor. El diseño inicial propuesto se ha adaptado para la caracterización de una bomba de calor que utiliza CO<sub>2</sub> como refrigerante desarrollada por el grupo de investigación de Modelado de Sistemas Térmicos y Energéticos, ubicada en el Laboratorio de Calor y Frío. La instalación diseñada en este proyecto permitirá ensayar y conocer las prestaciones de esta bomba.

Dentro de la memoria se describe el esquema de la nueva instalación y los diferentes equipos que la componen. Así mismo, en la memoria se describe en detalle la normativa que regula los ensayos, y se analiza las distintas etapas de los mismos. Además, se ha implementado en Excell una guía de ensayo o check'list conforme a norma que permitirá controlar paso a paso los ensayos experimentales de caracterización de las prestaciones de la bomba. De esta manera, esta memoria presenta el esquema de la instalación y es la guía a seguir para la realización de los ensayos correspondientes a bombas de calor agua/agua.

## Bibliografía

- [1] E. Commission, Edificaciones, 2018.
- [2] V. G. Caravaca, «MODELADO DE UNA BOMBA DE CALOR AGUA/AGUA FUNCIONANDO CON CO2. ESTUDIO DE DIFERENTES CONFIGURACIONES Y ESTRATEGIAS DE CONTROL,» Cartagena, Murcia, 2017.
- [3] B. d. C. y. E. R. e. Edificios, Francisco Javier Rey Martines & Eloy Velasco Gomez, S.A. EDICIONES PARANINFO, 2005.
- [4] N. Española, «Ensayos y requisitos para el mercado de equipos de agua caliente sanitaria,» 2017.
- [5] Lapesa, «Lapesa,» 2018. [En línea]. Available: <http://lapesa.es/es/agua-caliente-sanitaria/geiser-inox.html>. [Último acceso: 2018].
- [6] «Pedrollo,» [En línea]. Available: <https://www.pedrollo.com/es/pq-electrobombas-con-rodete-periferico/127>.
- [7] «Wilco Pump,» [En línea]. Available: [https://wilo.com/es/es/Productos-y-campos-de-aplicaci%C3%B3n/B%C3%BAqueda-de-series/Stratos-25-1-6\\_1553.html](https://wilo.com/es/es/Productos-y-campos-de-aplicaci%C3%B3n/B%C3%BAqueda-de-series/Stratos-25-1-6_1553.html).
- [8] Masa, «Masa,» 2017. [En línea]. Available: [http://www.masa.es/wp-content/uploads/2017/06/Tarifas2017\\_modificacion\\_junio-WEB.pdf](http://www.masa.es/wp-content/uploads/2017/06/Tarifas2017_modificacion_junio-WEB.pdf).
- [9] CIDELSA, «CIDELSA,» [En línea]. Available: [http://www.cidelsa.com/media/prod\\_brochure\\_2/Tuberia\\_Lisa\\_de\\_HDPE.pdf](http://www.cidelsa.com/media/prod_brochure_2/Tuberia_Lisa_de_HDPE.pdf).
- [10] R. L. Mott, Mecanica de Fluidos, 2006.
- [11] R. L. Mott, Mecánica de Fluidos, Mexico: Pearson, 2006.
- [12] «Siemens,» [En línea]. Available: <https://www.siemens.com/global/en/home.html>.
- [13] «TcDirect,» [En línea]. Available: <http://www.tcdirect.es>.
- [14] «Sensovant,» [En línea]. Available: <http://sensovant.com/productos/caudal-nivel-fluidos/sensores-Nivel-de-liquidos/sensores-capacitivos/articulo/sensor-de-nivel-de-liquidos-de-acero-inoxidable-Serie-R.html>.
- [15] E. y. T. Ministerio de Insustria, «REGLAMENTO DE INSTALACIONES TERMICAS EN LOS EDIFICIOS,» 2013.
- [16] V. Arco, «Valvulas Arco,» Valvulas Arco, 2018. [En línea]. Available: [http://www.valvulasarco.com/gestion/descarga/file\\_archivo\\_en96.pdf](http://www.valvulasarco.com/gestion/descarga/file_archivo_en96.pdf).
- [17] Danfoss, «Especificaciones Válvulas de asiento VRB 2, VRB 3,» 2009.
- [18] «Cepex,» [En línea]. Available: <https://www.cepex.com>.
- [19] G. P. Systems, «GF Piping Systems,» [En línea]. Available: [http://www.gfps.com/appgate/ecat/common\\_flow/100011/ES/es/109068/109358/index.html](http://www.gfps.com/appgate/ecat/common_flow/100011/ES/es/109068/109358/index.html).
- [20] Watlow, «<http://www.watlow.com/>,» [En línea].
- [21] M. Computing, «<https://www.mccdaq.com/>,» [En línea]. Available: <https://www.mccdaq.com/>.

- [22] Farnell, «<https://es.farnell.com/>,» [En línea].
- [23] L. C. EUROPEA, «REGLAMENTO (UE) No. 813/2013 DE LA COMISIÓN EUROPEA,» 2013.
- [24] J. M. Cámara, «Modelado de una instalación de refrigeración de CO<sub>2</sub> para su aplicación en remolques frigoríficos,» Cartagena, Murcia, 2014.
- [25] M. P. Cruzado, «Diseño e instrumentación de una bomba de calor Funcionando con CO<sub>2</sub>,» Cartagena, Murcia, 2016.
- [26] BIPM, «Evaluation of measurement data Guide to the expression of uncertainty in measurement,» JCGM , 2008.

Diseño de una instalación para el ensayo de equipos de generación de ACS con bombas de calor agua/agua

**Anexos**

A. Tabla de los perfiles de extracción para la bomba de calor que utiliza CO<sub>2</sub> como refrigerante que se ensayara.

H	H	3XL					Actuación	Temperatura del depósito ACS	Extracción de litros total litros	
		Qtap dato kWh	Tiempo segundos	Tiempo minutos	f litros/min	Tm °C				Tp °C
1	7:00	11.20	401.34	6.69	48	40	Encender bomba y abrir válvula	45 °C 30.43	321.07	
2	7:05						en 7 min apagar y cerrar válvula			
3	7:15									
4	7:26									
5	7:30									
6	7:45									
7	8:01	5.04	722.41	12.04	24	25	Encender bomba y abrir válvula	15.01	288.96	
8	8:05						en 12 min apagar y cerrar válvula			
9	8:15									
10	8:25									
11	8:30									
12	8:45									
13	9:00	1.68	240.80	4.01	24	25	Encender bomba y abrir válvula	15.04	96.32	
14	9:30						en 4 min apagar y cerrar válvula			
15	10:00									
16	10:30	0.84	60.20	1.00	24	10	40	Encender bomba y abrir válvula	30.06	24.08
17	11:00						en 1 min apagar y cerrar válvula			
18	11:30									
19	11:45	1.68	240.80	4.01	24	25	Encender bomba y abrir válvula	16.45	96.32	
20	12:00						en 4 min apagar y cerrar válvula			
21	12:30									
22	12:45	2.52	90.30	1.51	32	10	55	Encender bomba y abrir válvula	46.43	48.16
23	14:30						en 1.51 min apagar y cerrar válvula			
24	15:00									
25	15:30	2.52	361.20	6.02	24	25	Encender bomba y abrir válvula	16.43	144.48	
26	16:00						6.02 min apagar y cerrar válvula			
27	16:30									
28	17:00									
29	18:00									
30	18:15									
31	18:30	3.36	481.61	8.03	24	25	Encender bomba y abrir válvula	16.43	192.64	
32	19:00						8.03 min apagar y cerrar válvula			
33	19:30									
34	20:00									
35	20:30	5.88	210.70	3.51	32	10	55	Encender bomba y abrir válvula	45.91	112.37
36	20:45						3.51 min apagar y cerrar válvula			
37	20:46									
38	21:00									
39	21:15									
40	21:30	12.04	431.44	7.19	48	40	Encender bomba y abrir válvula	31.61	345.15	
41	21:35						7.19 min apagar y cerrar válvula			
42	21:45									
43	Qref	46.76	3240.80	54.01					1669.57	