

## Trabajo Fin de Grado

AUDITORÍAS ENERGÉTICAS. CASO PRÁCTICO  
SOBRE BOMBA DE CALOR DE LA INSTALACIÓN  
DIDÁCTICA DE CLIMATIZACIÓN EN LA  
UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA.

ENERGY AUDITS. UNIVERSITY OF ZARAGOZA  
DIDACTIC HVAC INSTALLATION, HEAT PUMP  
CASE STUDY.

Autor

VÍCTOR NIETO SOTO

Directora

BELÉN ZALBA NONAY

# RESUMEN

## AUDITORÍAS ENERGÉTICAS. CASO PRÁCTICO SOBRE BOMBA DE CALOR DE LA INSTALACIÓN DIDÁCTICA DE CLIMATIZACIÓN EN LA UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA.

Los sistemas de climatización de los edificios suponen una gran parte del gasto de energía en los edificios. Las auditorías pueden ayudar a conocer mejor las instalaciones, a detectar problemas y, por tanto, a reducir consumos. La bomba de calor permite aminorar consumos, descarbonizar las ciudades y se puede alimentar de energía eléctrica de origen renovable.

En el primer capítulo se realiza una introducción en la que se presenta la situación energética actual y el marco normativo en la Unión Europea y España. Además, incluye una descripción del Real Decreto 56/2016, referente a las auditorías energéticas. Al final del capítulo se muestra un esquema en el que se plantean los objetivos del Trabajo de Fin de Grado.

El siguiente capítulo está dedicado a las auditorías energéticas. Se explica en qué consisten y como se realizan. También se destacan los sistemas de gestión energética debido a su carácter de revisión y mejora continua. Por último, se analiza la situación de las auditorías energéticas en España.

En el tercer capítulo se describen los equipos de medida de instalaciones necesarios para las auditorías energéticas. Se investigan los instrumentos de los que dispone la Universidad de Zaragoza y los que se encuentran en el mercado.

El cuarto capítulo trata la bomba de calor. Se explica su funcionamiento y los procesos que experimentan estos equipos. Además, se señala la normativa que regula los indicadores energéticos.

En el quinto capítulo se presenta la instalación didáctica de climatización. Se describe el funcionamiento de la bomba de calor y se proponen una serie de cuestiones y ejercicios para la realización de una práctica docente.

Por último, se han establecido una serie de conclusiones en base al trabajo realizado, además de la propuesta de varias líneas de futuro para próximos trabajos.

## Tabla de contenido

|        |   |    |
|--------|---|----|
| 1.     | INTRODUCCIÓN .....  | 1  |
| 1.1.   | Situación Energética Global .....                                   | 1  |
| 1.2.   | Marco Normativo .....   | 2  |
| 1.2.1. | Marco Normativo de la Unión Europea .....                           | 2  |
| 1.2.2. | Marco Normativo de España.....                                      | 2  |
| 1.3.   | Objetivos .....   | 4  |
| 2.     | AUDITORÍAS ENERGÉTICAS.....   | 6  |
| 2.1.   | Definición .....  | 6  |
| 2.2.   | Esquema General .....   | 6  |
| 2.3.   | Sistema de Gestión.....   | 6  |
| 2.4.   | Situación en España .....   | 7  |
| 3.     | EQUIPOS DE MEDIDA EN INSTALACIONES .....                            | 8  |
| 3.1.   | Temperatura y Presión.....  | 8  |
| 3.2.   | Caudal.....   | 11 |
| 3.3.   | Energía Eléctrica .....   | 11 |
| 4.     | BOMBA DE CALOR .....  | 13 |
| 4.1.   | Definición .....  | 13 |
| 4.2.   | Funcionamiento de la Bomba de Calor .....                           | 14 |
| 4.3.   | Tipos de Bombas de Calor .....                                      | 15 |
| 4.4.   | Auditoría en la Bomba de Calor .....                                | 15 |
| 5.     | PRÁCTICA DOCENTE .....  | 18 |
| 5.1.   | Protocolo de Puesta en Marcha.....                                  | 18 |
| 5.2.   | Bomba de Calor de la Práctica Docente .....                         | 19 |
| 5.3.   | Cuestiones y Ejercicios para el Aprendizaje .....                   | 20 |
| 6.     | CONCLUSIONES .....  | 22 |
| 6.1.   | Conclusiones Generales .....  | 22 |
| 6.2.   | Conclusiones Específicas .....                                      | 22 |
| 6.3.   | Líneas de Futuro .....  | 23 |
|        | BIBLIOGRAFÍA.....   | 24 |
|        | ANEXOS .....  | 28 |
|        | Anexo A: Ampliación sobre la revisión de la normativa europea.....  | 28 |
|        | Anexo B: Ampliación sobre la revisión de la normativa española..... | 30 |
|        | Anexo C: Instrumentos para medir temperatura y presión.....         | 31 |
|        | Anexo D: Comparación entre sonda termopar tipo K y Pt1000 .....     | 40 |
|        | Anexo E: Pruebas con el analizador de refrigeración Testo 550 ..... | 43 |
|        | Anexo F: Instrumento para la medición del caudal .....              | 45 |

|   |    |
|---|----|
| Anexo G: Instrumentos para la medición del consumo eléctrico.....   | 46 |
| Anexo H: Descripción de la instalación didáctica de climatización .....                                   | 52 |
| Anexo I: Protocolo de puesta en marcha y consideraciones para un funcionamiento correcto del equipo ..... | 56 |
| Anexo J: Características técnicas de la bomba de calor de la práctica docente.....                        | 58 |
| Anexo K: Elementos que conforman la bomba de calor de la práctica docente.....                            | 59 |
| Anexo L: Funcionamiento de la bomba de calor de la práctica docente.....                                  | 65 |
| Anexo M: Incidentes durante el funcionamiento .....   | 73 |
| Anexo N: Fichas para la práctica docente .....  | 77 |

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1. Situación Energética Global

El uso del petróleo y otros combustibles fósiles ha sido clave en el desarrollo industrial. El control de este recurso se ha convertido en un auténtico árbitro del panorama internacional. El precio de estos recursos puede sufrir grandes variaciones debido a causas incontrolables por el consumidor como guerras, crisis financieras o especulaciones. Además, los combustibles fósiles son limitados y el desarrollo de nuevas economías como China, India o Brasil está aumentando la demanda y por consecuencia su precio [1]. En la Figura 1 se representa gráficamente el consumo de petróleo en millones de barriles diarios, por región, a lo largo de los últimos años.

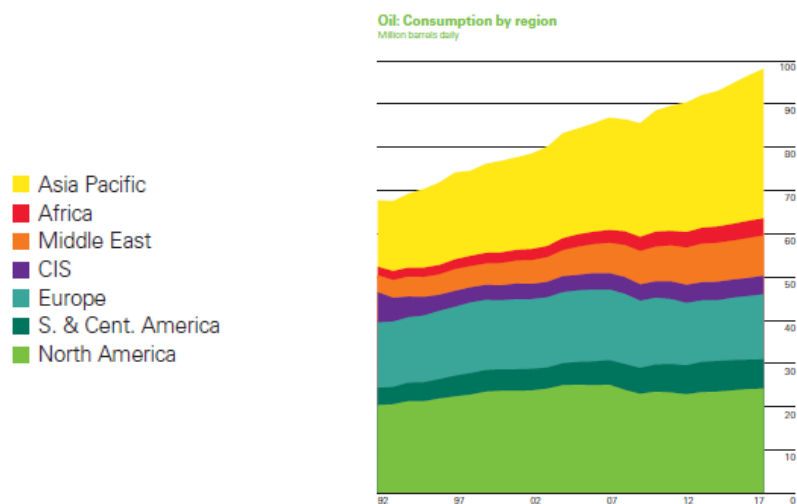


Figura 1: Consumo de petróleo por región.

Fuente: BP Statistical Review of World Energy. June 2018.

Por otra parte, la utilización de este tipo de combustibles origina la emisión de gases contaminantes, como el dióxido de carbono, que contribuyen al incremento del efecto invernadero, la lluvia ácida o el smog fotoquímico. Esta realidad empeora cuando se tiene en cuenta el aumento de la demanda energética, bienes y servicios, provocado por el incremento de la población mundial y las pautas de consumo [2].

La celebración del Acuerdo de París [3] pone de manifiesto algunos de los problemas ambientales que generan estos combustibles. Este acuerdo de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático busca reforzar la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático, en el contexto del desarrollo sostenible y de los esfuerzos por erradicar la pobreza.

Por consiguiente, se puede concluir que el origen de la auditoría energética nace de la creciente necesidad de reducir el consumo de energía primaria. Los objetivos principales son conseguir una mayor independencia del petróleo y una utilización sostenible de la energía. El desarrollo de las auditorías hasta la actualidad ha sido paulatino, y su paso por las distintas etapas y situaciones de crisis la ha llevado hasta su posición actual, siendo en el presente un elemento fundamental [1].

## 1.2. Marco Normativo

### 1.2.1. Marco Normativo de la Unión Europea

Desde 1993 con la primera directiva (Directiva 93/76/CEE) hasta hoy se han ido actualizando las medidas y objetivos. A continuación, se detallan solamente los aspectos de la normativa más relevantes para este trabajo. En el [Anexo A](#) se amplía la información referente a este aspecto.

#### Directiva 2010/31/UE EPBD (Energy Performance of Buildings Directive)

Los países de la UE supervisarán que antes de iniciar una construcción se estudie la viabilidad técnica, medioambiental y económica de instalaciones alternativas de alta eficiencia, como bomba de calor. Se fijarán requisitos mínimos de rendimiento energético de calefacción y refrigeración de espacios, de agua caliente sanitaria y de ventilación entre otros.

Las autoridades de cada país de la UE deben poner en marcha programas de inspección de las instalaciones de calefacción y refrigeración. Se aplicará un marco metodológico de cálculo común del rendimiento energético de los edificios [4].

#### Directiva 2012/27/UE EED (Energy Efficiency Directive)

Esta directiva establece que las auditorías energéticas deben ser obligatorias y periódicas para las grandes empresas por el ahorro energético significativo que puede suponer. La auditoría tiene que ser ejecutada de manera independiente por expertos cualificados y acreditados. Se impulsarán programas que animen a las PYMES a elaborar auditorías energéticas y se facilitará que todos los usuarios puedan acceder a ellas [5].

#### Directiva (UE) 2018/844

Las TIC (Tecnologías de la Información y la Comunicación) funcionarán como herramientas para la automatización de los edificios y seguimiento de las instalaciones. La digitalización del sistema energético es una oportunidad para economizar y aprovechar mejor los recursos energéticos. Las inspecciones de las instalaciones, promovidas por directivas anteriores, demostraron no ser eficaces. Una alternativa eficaz a estas inspecciones es la automatización y seguimiento electrónico a través de las nuevas tecnologías [6].

El acceso igualitario a la financiación es un requisito indispensable para una renovación profunda del parque inmobiliario. Casi el 50 % del gasto de energía final de la Unión se dedica a calefacción y refrigeración, y del total de este porcentaje, el 80% se consume en edificios. Por esta razón la UE debe aumentar sus esfuerzos para renovar el parque inmobiliario, priorizando así la eficiencia energética además del aprovechamiento de las energías renovables [6].

### 1.2.2. Marco Normativo de España

#### Código Técnico de la Edificación

El Código Técnico de la Edificación (CTE) [7] [8] se publicó mediante el Real Decreto 314/2006. Es el marco normativo que fomenta y fija las exigencias de calidad de los edificios y sus instalaciones. Sirve de instrumento para la transposición de directivas europeas. Los requisitos básicos en eficiencia energética y energías renovables que se deben satisfacer están establecidos en el Documento Básico de Ahorro de Energía (DB-HE) [9], entre las que destaca:

- **HE-2: Rendimiento de las instalaciones térmicas.**

Se desarrolla en el Reglamento de instalaciones térmicas en los edificios (RITE), donde se concretan los requisitos que deben satisfacer las instalaciones de climatización y agua caliente sanitaria para alcanzar una utilización racional de la energía. [10]

Real Decreto 56/2016

Se realizarán auditorías energéticas a las grandes empresas que tengan al menos a 250 trabajadores, o tengan un volumen de negocio que exceda de 50 millones de euros y un balance general que exceda de 43 millones de euros. También se aplicará a los grupos de sociedades que cumplan las condiciones de gran empresa. Quedan excluidas de esta aplicación las microempresas, pequeñas y medianas empresas [11].

Se realizará una auditoría cada cuatro años desde la fecha de la anterior auditoría. Debe cubrir, al menos, el 85% del consumo total de energía del conjunto de instalaciones ubicadas en el territorio nacional y que forman parte de las actividades industriales, comerciales y de servicios de dichas empresas [11].

En esta directiva se establecen las características y objetivos que deben satisfacer las auditorías para realizarlas correctamente y cumplir con su cometido. Para justificar el cumplimiento de estas obligaciones se pueden utilizar una auditoría energética según lo indicado o aplicar un sistema de gestión energético o medioambiental, que incluya una auditoría energética. Los auditores deben estar formados y acreditados correctamente conforme la UNE-EN 16247-5:2015 [11]. En cuanto a los sistemas de gestión energética, la norma UNE-EN ISO 50001 es la norma de gestión de la energía empresarial más utilizada internacionalmente [12]. En el apartado 2.4. se proporciona más información sobre la situación actual en España en relación a auditorías energéticas.

Normas UNE

La norma UNE-EN 16247 es la evolución de su predecesora UNE 216501, aunque tiene muchos puntos en común con la metodología, supone un avance por la consideración de los diferentes escenarios de aplicación [12]. Esta norma UNE-EN 16247 especifica los requisitos, la metodología común y los informes de las auditorías energéticas. Se aplica a todo tipo de instalaciones y organizaciones, y a todas las formas y usos de la energía, excluyendo las viviendas de particulares. Primero se tratan los requisitos generales comunes a todas las auditorías energéticas, más adelante se complementa con requisitos específicos en otras partes de esta norma dedicadas específicamente a los edificios, procesos industriales, transportes y competencias de los auditores energéticos [13]. La norma UNE EN 16247 se ha ido publicando por partes entre 2012 y 2015.

Empresas de Servicios Energéticos (ESE)

Según la Directiva 2006/32/CE [14] una empresa de servicios energéticos (ESE), es una persona física o jurídica que proporciona servicios energéticos o de mejora de la eficiencia energética en las instalaciones o locales de un usuario y afronta cierto riesgo económico. Actualmente en España hay 1.512 empresas de servicios energéticos, 29 de ellas situadas en Aragón [15].

En el [Anexo B](#) se amplía la revisión de la normativa española.

A continuación, en la Figura 2, se presenta un resumen del panorama normativo más relevante para este Trabajo de Fin de Grado.

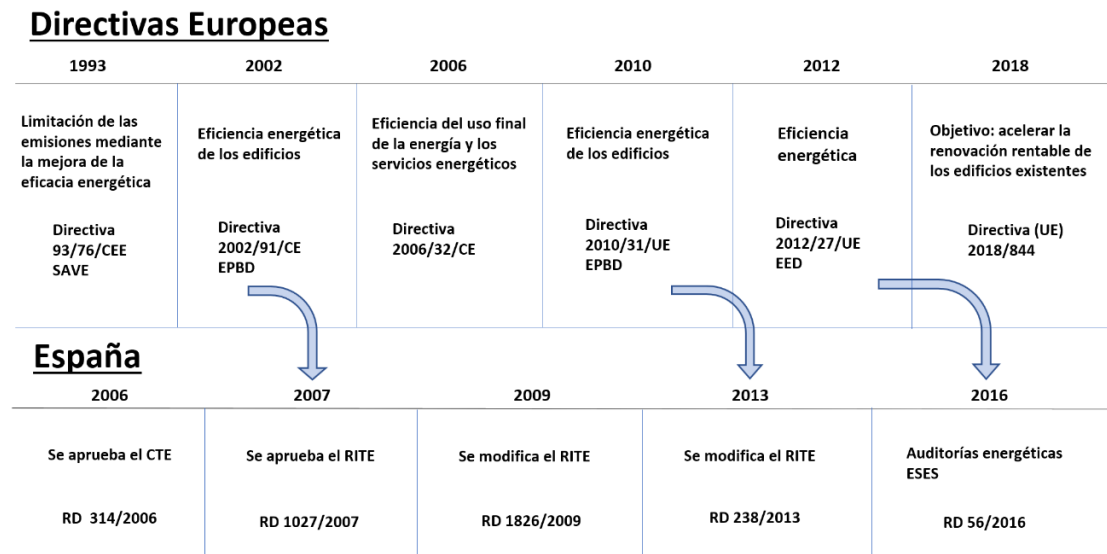


Figura 2: Síntesis del panorama normativo.

Fuente: Elaboración propia.

### 1.3. Objetivos

Tras el análisis de la situación energética actual, queda plasmado en el capítulo 1 la innegable necesidad de reducir el consumo de energía primaria. Para lograr este objetivo se debe hacer tres cosas:

1. Reducir la demanda de energía.
2. Combatir la demanda que no se puede anular mediante energías renovables.
3. Aumentar la eficiencia de los sistemas.

Este TFG está centrado en el segundo punto (la bomba de calor nos permite consumir energía eléctrica de origen renovable) y también en el punto 3, ya que se estudia la eficiencia de la bomba de calor.

Para avanzar hacia este objetivo, en el capítulo 2 de este trabajo se va a analizar información referente a auditorías energéticas. La auditoría energética es una herramienta de mejora continua que permite evaluar el aprovechamiento de energía.

El capítulo 3 trata sobre los equipos de medida requeridos en las auditorías, que proporcionan la información necesaria para analizar el comportamiento de los equipos e instalaciones.

En el capítulo 4 se estudia la bomba de calor como un equipo que puede ser eficiente y permite usar energía eléctrica, que en el futuro se espera que sea mayoritariamente de origen renovable.



Para terminar, en el capítulo 5, se propone una práctica docente cuya finalidad es la de que los estudiantes se familiaricen con estos conceptos y aprendan utilizando la instalación didáctica de climatización disponible en la Universidad de Zaragoza. El equipo utilizado en la práctica docente es una bomba de calor aire-agua reversible CIATESA serie ITB 155 (ver Figura 3). En el [Anexo J](#) se especifican las características técnicas del equipo.



Figura 3: Bomba de calor de la práctica docente.

En la Figura 4 se puede observar el esquema seguido para la realización del Trabajo Fin de Grado.

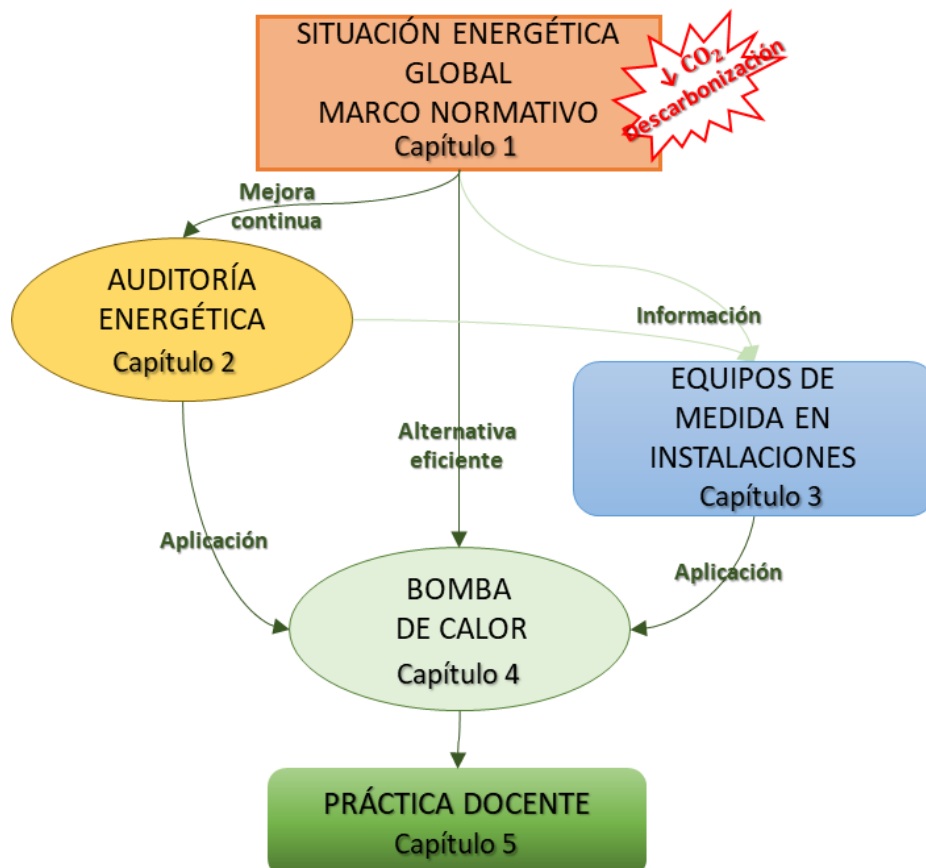


Figura 4: Esquema TFG.  
Fuente: Elaboración propia.

## 2. AUDITORÍAS ENERGÉTICAS

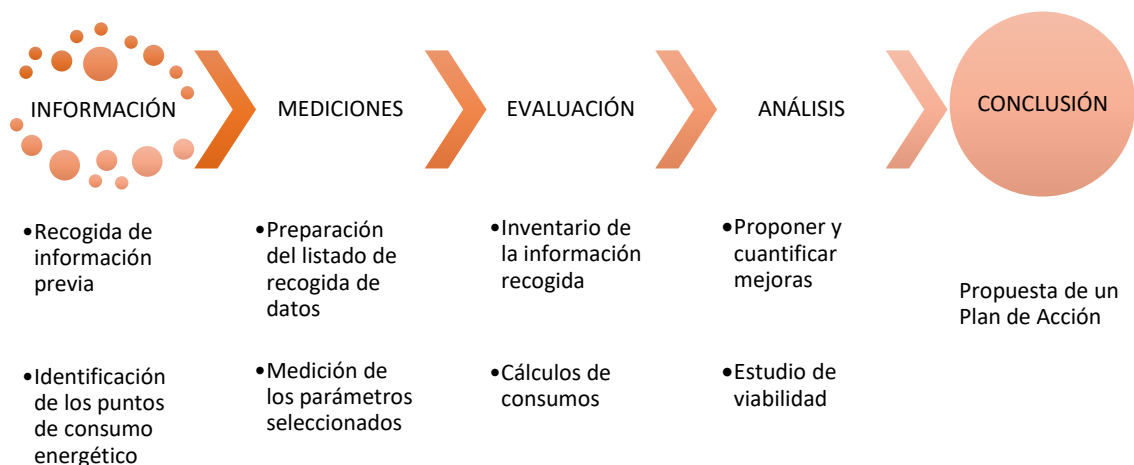
### 2.1. Definición

La norma UNE EN 16247-1:2012 [13] define que una Auditoría Energética consiste en: “Inspección y análisis sistemático del uso y consumo de energía en un emplazamiento, edificio, sistema u organización con el objetivo de identificar e informar acerca de los flujos de energía y del potencial de mejora de la eficiencia energética”.

La norma UNE EN 16247-2:2014 [16] señala que estas auditorías son capaces de ayudar a detectar oportunidades de implementación de la eficiencia energética. Las finalidades de estas auditorías, frecuentemente, son similares, técnicamente simples y numerosas (como en el sector residencial), pero también pueden ser únicas, complejas y altamente técnicas (como hospitales). Las auditorías energéticas en edificios pueden incluir al edificio entero, a partes del edificio o algún sistema técnico.

### 2.2. Esquema General

El carácter sistemático de la auditoría es muy importante, por lo que es clave que exista una metodología definida. En la Figura 5 se pueden observar las distintas fases que se llevan a cabo en una Auditoría Energética. Lo realmente importante no es la auditoría en sí misma, sino lo que se haga posteriormente a partir del informe de auditoría. Se puede afirmar que la Auditoría Energética es una herramienta para tomar decisiones en función de la información que se ha obtenido [1].



*Figura 5: Fases de una Auditoría Energética.  
Fuente: ATECYR. Auditorías energéticas en edificios.*

### 2.3. Sistema de Gestión

Las auditorías energéticas y los sistemas de gestión energética se complementan y buscan el mismo objetivo. Pero una auditoría es un estudio detallado del consumo energético acompañado de un análisis con propuestas de mejora que podrán ser puestas en marcha, mientras que un sistema de gestión toma como partida la auditoría realizando una gestión

continuada enfocado a la mejora continua. En la Figura 6 [17] se puede observar de forma esquemática los conceptos que se acaban de tratar.



Figura 6: Esquema de un Sistema de Gestión Energética.

Fuente: COMUNIDADISM.

#### 2.4. Situación en España

Como se menciona en el Real Decreto 56/2016 las auditorías energéticas son obligatorias para las grandes empresas y deben cumplir con el plazo y las condiciones marcadas. El Ministerio de Industria calcula que esta medida afecta a 3.800 compañías con cerca de 27.000 establecimientos o locales [18]. Las empresas que no dispongan de un sistema de gestión energético/ambiental, certificado que incluya una auditoría de acuerdo con el Real Decreto, deberán realizar una auditoría energética antes del 14 de noviembre de 2016.

Año y medio después de la finalización del plazo (Junio de 2018), A3e (Asociación de Empresas de Eficiencia Energética) agrupó en la feria Genera [19] a portavoces de Andalucía, Castilla y León y País Vasco. En Castilla y León, sólo el 8% de los negocios obligados no había cumplido con la obligación de ejecutar una auditoría energética. De las empresas auditadas en esta comunidad (un 15,5% del total en España) se registró una capacidad de ahorro energético de 713.510 MWh/a, lo que supondría una reducción de 14 millones de toneladas anuales de CO<sub>2</sub>. Las medidas para conseguir este ahorro supondrían una inversión de 146,7 millones de euros y el retorno de esta inversión se produciría en 3,8 años. En Andalucía, tras la inspección de 220 empresas, las informaciones obtenidas indicaban que alrededor del 20% de las grandes empresas no había realizado todavía esta auditoría. En País Vasco, menos del 10% del total no habían cumplido con la obligación. Tras la inspección completa de algunas empresas se determinó que la calidad media de las auditorías realizadas es alta. A diferencia de otras comunidades, la mayoría de las empresas auditadas acabaron adoptando un sistema de gestión energética. En Aragón el órgano competente es la Dirección General de Energía y Minas del Departamento de Economía, Industria y Empleo. El 19 de Septiembre de 2016 este organismo había gestionado 37 auditorías energéticas, que correspondían a 23 empresas [20].

### 3. EQUIPOS DE MEDIDA EN INSTALACIONES

Los equipos de medida son instrumentos que suministran los datos necesarios para conocer el funcionamiento de las instalaciones, que son relativamente opacas a nuestros sentidos. Las instalaciones se componen de un grupo de unidades diferentes, para que el conjunto funcione correctamente todas ellas deben funcionar correctamente [21]. La toma de medidas son la base de las auditorías energéticas y la manera de adquirir la información necesaria para plantear medidas de ahorro energético. El consumo energético depende de la demanda de energía y del rendimiento de los equipos:

$$\text{Consumo} = \frac{\text{Demanda}}{\text{Rendimiento medio}}$$

Por lo tanto, si se quiere reducir el gasto energético del edificio es necesario utilizar de forma responsable la energía y disminuir la demanda y/o mejorar el rendimiento medio de los equipos. En las auditorías el rendimiento medio de las instalaciones será difícil de valorar, ya que solo se puede obtener el rendimiento instantáneo en el momento de la medida. Se podría conocer el valor medio o estacional de la eficiencia si la instalación contara con un sistema de monitorización de datos en continuo.

A continuación, se exponen los parámetros que pueden ser necesarios para determinar la eficiencia energética de los equipos y los instrumentos con los que realizar las medidas [1].

- Medida de la energía útil de forma directa (Análisis de ciclos de refrigeración):
  - Manómetros, Sondas de Temperatura
- Medida de la energía útil de forma indirecta (Calor útil aportado a fluidos térmicos):
  - Termohigrómetro, Anemómetro, Caudalímetros, Sondas de Temperatura
- Medidas de la energía eléctrica consumida:
  - Analizador de Redes, Pinzas Amperimétricas

#### 3.1. Temperatura y Presión

##### TEMPERATURA

En la Tabla 1 se indica la distinta instrumentación para la medición de temperatura, además de su principio de funcionamiento y características [22].

*Tabla 1: Instrumentos para la medición de temperatura.*

*Fuente: Elaboración propia.*


| INSTRUMENTO             | FUNCIONAMIENTO   | CARACTERISTICAS   | RANGO   |
|-------------------------|--|---|---|
| Termómetro de vidrio    | Dilatación de un líquido en un capilar   | Voluminoso<br>Económico                                   | Mercurio:<br>Rango: -35 a 280°C<br>Precisión: ± 1%            |
| Termómetros bimetalicos | Dilatación de dos metales unidos   | No requiere mantenimiento<br>Medida local                 | Rango: -200 a 500°C<br>Precisión: ± 1%                        |
| Termopares              | Efecto termoeléctrico (Seebeck). La unión de dos metales produce una FEM función de la temperatura | Distintos tipos de termopares<br>Los más usados: K, T y J | Tipo K:<br>Rango: -40 a 1200°C<br>Precisión:<br>±1,5 / ±2,5°C |

|                            |   |  |   |
|----------------------------|---|--|---|
| Termómetros de resistencia | La resistencia eléctrica varía en función del metal usado<br>$R = R_0 (1 + \alpha T)$ | Muy habitual el uso de Pt100<br>Caro y frágil<br>Buena estabilidad | Platino:<br>Rango: -200 a 950°C<br>Precisión: ±0,01°C |
| Termistores                | Semiconductores, la resistencia varía fuertemente con la temperatura                  | Los NTC son habituales<br>No lineal<br>Sensibilidad excelente      | Rango: -50 a 120°C<br>Precisión: ±0,2°C               |
| Termómetros infrarrojos    | Radiación infrarroja emitida  | Sin contacto   | Rango: -20 a 200°C<br>Precisión: 2°C                  |

El Área de Máquinas y Motores Térmicos, del Departamento de Ingeniería Mecánica, cuenta con una Cámara termográfica Flir E60, utilizando este instrumento se identifican las distintas partes de la bomba de calor y a la temperatura aproximada a la que se encuentran. La utilización de este aparato fue útil para entender el funcionamiento de la máquina y elaborar la Figura 13. También se dispone de un Instrumento multiparámetro Testo 480 con diversas sondas de temperatura, aunque ninguna destinada a la medición en superficies de tuberías. Por lo tanto, se necesita comprar dos sondas de temperatura. Tras buscar diversas soluciones y mantener conversaciones con profesionales de Ibersystem recomendaron que, para la medición en tuberías con el Testo 480, la sonda de temperatura termopar tipo K de velcro mostrada en la Tabla 2 es la mejor opción. Esta sonda ofrecía la mejor relación entre prestaciones y precio.

*Tabla 2: Sonda abrazadera para tuberías.*

*Fuente: TESTO.*

|   |   |
|---|---|
|  | Proporciona una fijación fácil de la sonda de superficie a las tuberías con un diámetro de hasta 120 mm<br>Sonda de temperatura termopar tipo K con cable de 1.5 metros<br>Rango: -50 hasta +120 °C<br>Exactitud: ±1.5 °C |
|---|---|

En el [Anexo C](#) se muestran los instrumentos que posee el departamento y se realiza una búsqueda de las diferentes opciones existentes en el mercado.

En el [Anexo D](#) se comparan las medidas realizadas por una sonda Pt1000 sumergida en una válvula de equilibrado y las obtenidas con la sonda termopar comprada. En conclusión, la sonda Pt1000 proporciona resultados más precisos y rápidos, pero tiene el inconveniente de que es de tipo sumergido y no tiene flexibilidad para medir en cualquier lugar del circuito, ya que necesita la presencia de una válvula de equilibrado. Por otra parte, la sonda termopar permite medir con flexibilidad y proporciona valores representativos. Cuando se utilice esta sonda la tubería se aislará lo mejor posible.

## PRESIÓN

En la Tabla 3 se indica la distinta instrumentación para la medición de presión, además de su principio de funcionamiento y características [22].

*Tabla 3: Instrumentos para la medición de presión.*

*Fuente: Elaboración propia.*

|                        |  |  |
|------------------------|--|--|
| Elementos mecánicos    | Medida directa, se mide la presión por comparación                             | Amplio rango de medida<br>Precisión: 0,5 – 1%  |
|                        | Elementos elásticos deformados por la presión interna del fluido que contienen | Los de tipo Bourdon son los más utilizados   |
| Transductor de presión | Convierten la presión en una señal eléctrica                                   | Amplio rango de medida<br>Precisión: 0,5 – 1%<br>Los transductores electrónicos de vacío térmicos y de ionización tienen una alta precisión<br>Fiables, versátiles y poco sensibles a la vibración |

Tras realizar una revisión de los distintos instrumentos disponibles para tomar las medidas de la presión, se advierte que con el auge de las auditorías energéticas se están desarrollando nuevos instrumentos para los profesionales. Estos aparatos tienen una gran versatilidad, permitiendo medir parámetros clave como presión, temperatura y potencia, facilitando en gran medida el trabajo del auditor. El Analizador de Refrigeración Testo 570 es uno de estos instrumentos. Adquirir este aparato hubiera proporcionado una serie de ventajas y posibilidades a la hora de experimentar con la bomba de calor. Sin embargo, conectar y desconectar repetidamente las mangueras de los manómetros de este aparato a la instalación genera pérdidas de refrigerante. El refrigerante usado, R-407C, es una mezcla de distintos gases con diferente volatilidad, si se producen demasiadas pérdidas en el sistema el refrigerante del equipo no trabajaría satisfactoriamente.

La bomba de calor con la que se trabaja dispone de unos manómetros fijos que indican presiones de alta y de baja, tras la puesta en marcha se observa que estos manómetros presentan valores razonables. Gracias a un profesional de Ferroviál se verifican los resultados de los manómetros con el instrumento Testo 550 y se comprueba que los manómetros fijos funcionan correctamente. Por lo tanto, para medir las presiones de alta y de baja se usarán los manómetros mecánicos dotados por la instalación, evitando de este modo pérdidas reiteradas de refrigerante.

En el [Anexo E](#) se muestran las comprobaciones realizadas con el profesional de Ferroviál.

En el [Anexo C](#) se proporciona la información de los instrumentos que posee el departamento y se muestran algunos de los aparatos disponibles en el mercado.

### 3.2. Caudal

Para medir el caudal se pueden utilizar diferentes tipos de instrumentos. En la Tabla 4 se muestran algunos de los más comunes [22]:

*Tabla 4: Instrumentos para la medición de presión.*

*Fuente: Elaboración propia.*

|                            |   |
|----------------------------|---|
| Área Variable (Rotámetros) | Un flotador dentro del tubo cambia su posición en proporción del flujo  |
| Tipo Turbina               | Se basa en la velocidad<br>Un rotor gira al pasar al fluido, proporcional al caudal   |
| Electromagnéticos          | Campo magnético en la tubería con un fluido conductor, generando FEM  |
| Ultrasonidos               | Diferencia de velocidades del sonido al propagarse  |
| Tipo Coriolis              | Se basa en los principios de la mecánica del movimiento<br>Se hace vibrar el tubo, la aceleración produce una fuerza de torsión medible |
| Curva de la bomba          | Se basa en la presión diferencial   |
| Válvula de equilibrado     |   |
| Tubo Venturi               |   |

El circuito de agua posee válvulas de equilibrado en distintos puntos y el Departamento Ingeniería Mecánica dispone del instrumento TA – CBI para realizar mediciones de caudal. En el [Anexo F](#) se muestran las especificaciones del instrumento y las instrucciones de uso.

### 3.3. Energía Eléctrica

Para calcular el rendimiento y realizar un análisis de las instalaciones es necesario medir la potencia activa consumida por los equipos. Se pueden utilizar distintos tipos de instrumentos, a continuación, se muestran algunos de ellos [23]:

Vatímetros portátiles de bajas potencias: Enfocados a equipos monofásicos de bajas potencias como equipos informáticos o electrodomésticos.

Pinza amperimétrica o polímetro: La pinza amperimétrica permite cuantificar la intensidad de corriente que circula a través de conductores activos sin la necesidad de interrumpir su normal funcionamiento.

Medidor de potencia de 1 fase: Aparte de medir corriente alterna y tensión, puede determinar el  $\cos(\varphi)$  y por consiguiente la potencia absorbida en redes monofásicas y trifásicas equilibradas.

Analizador de redes (medidor de potencia de 3 fases): Son los equipos utilizados para medir el consumo de energía en instalaciones trifásicas. Además de registrar las tensiones, corrientes y  $\cos(\varphi)$  en valores verdaderos ( $T_{rms}$ ), son capaces de analizar la calidad de las señales eléctricas. Estos resultados se pueden registrar en el aparato para utilizarlos más adelante en programas como EXCEL.

Vatímetros y contadores de energía fijos: Los vatímetros de los armarios del edificio suelen tener buena precisión de medida (incertidumbre  $<0,5\%$ ) y en ocasiones son utilizados para los análisis energéticos. También se puede utilizar el contador instalado por la compañía para medir la potencia de algún equipo.

Para realizar el análisis de rendimiento de la bomba de calor se disponen de dos instrumentos, uno es el Analizador de Redes PCE-360 y otro es el medidor Efergy E2 Classic cuyo funcionamiento se basa en una pinza amperimétrica. El Analizador de Redes PCE-360 proporciona resultados más precisos y una serie de ventajas respecto al otro aparato, el aspecto negativo es que hay que manipular el cuadro eléctrico para poder realizar las medidas y puede ser peligroso. Sin embargo, el medidor Efergy E2 Classic es mucho más seguro y fácil de usar, pudiendo dejar conectada la pinza amperimétrica dentro de cuadro y visualizar los datos en un monitor externo. Por este motivo, se propone el medidor Efergy E2 Classic para elaborar la práctica docente. En el [Anexo G](#) se analiza su funcionamiento comparando los resultados con el Analizador de Redes PCE-360.



## 4. BOMBA DE CALOR

Los edificios son uno de los elementos que mayor consumo de energía primaria supone a nivel mundial. Precisamente, en la UE causan alrededor del 40% del gasto en energía y el 36% de las emisiones de CO<sub>2</sub> [24]. La eficiencia energética es clave para garantizar la sostenibilidad en los edificios.

Para proporcionar una solución integral de eficiencia energética se deben abordar todos los puntos de consumo. Como se puede observar en la Figura 7, la climatización es el principal punto de consumo energético de la vivienda [25]. La bomba de calor se muestra como una alternativa eficiente con una tecnología consolidada que puede utilizar energía de fuentes renovables.

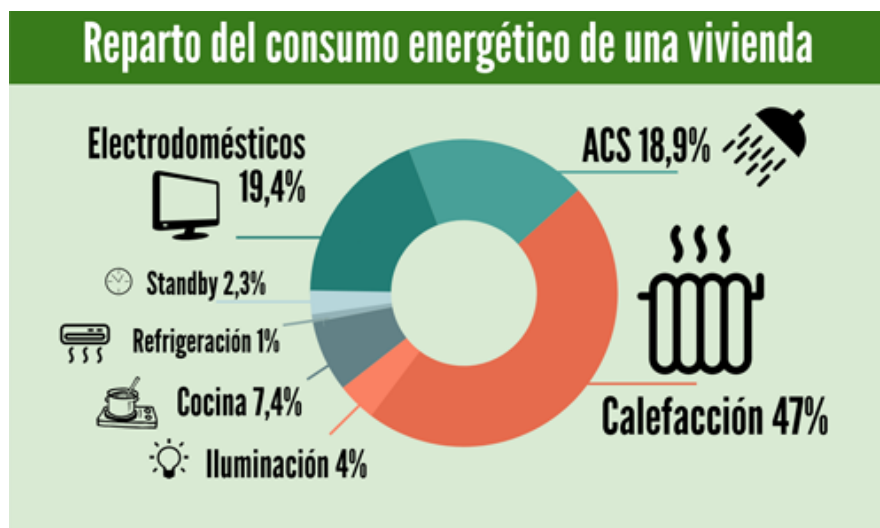


Figura 7: Reparto del consumo energético de una vivienda.

Fuente: CALORYFRIO. Construcción sostenible.

### 4.1. Definición

Una bomba de calor es una máquina térmica que trabaja según el ciclo de compresión de vapor, permite transferir energía en forma de calor de un foco a baja temperatura y cederla a otro foco a mayor temperatura (UNE 100 000:1995).

Este funcionamiento explica su nombre, ya que invierte el flujo natural del calor gracias a un trabajo incorporado por el compresor. Se le denomina bomba de calor, cuando durante alguna parte del año se usa el calor cedido en el condensador. El objetivo de la bomba de calor es conservar dentro de edificios o viviendas una temperatura adecuada [26].

## 4.2. Funcionamiento de la Bomba de Calor

El segundo principio de la termodinámica establece que la transferencia de energía no es posible sin la presencia de dos focos a distinta temperatura y que el calor va del foco caliente al frío. Sin embargo, las bombas de calor transportan el calor del foco frío al foco caliente. Para poder realizar esta acción es necesario aplicar una cantidad de energía adicional en el ciclo. Esta energía es en forma de calor en los ciclos de absorción y en forma de trabajo en los ciclos de compresión de vapor [27]. A continuación, en la Figura 8 se muestra el esquema de un ciclo de refrigeración en una bomba de calor.

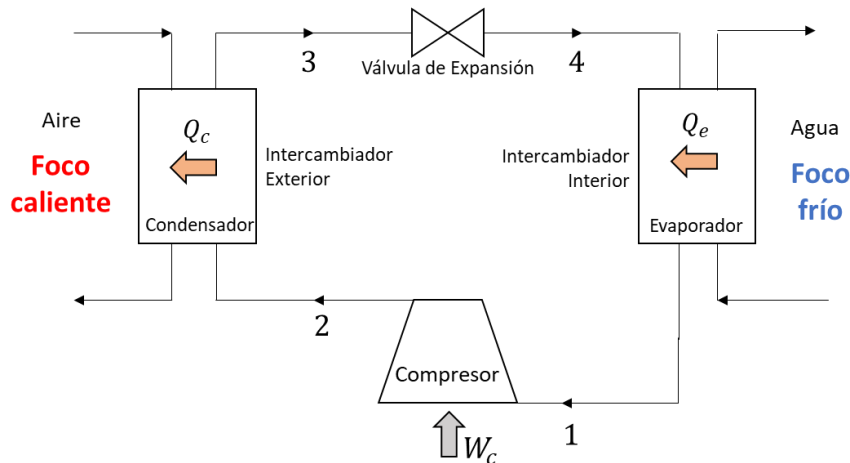


Figura 8: Componentes de un sistema de refrigeración por compresión de vapor.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 9 se exponen los diagramas característicos del ciclo ideal de compresión de vapor.

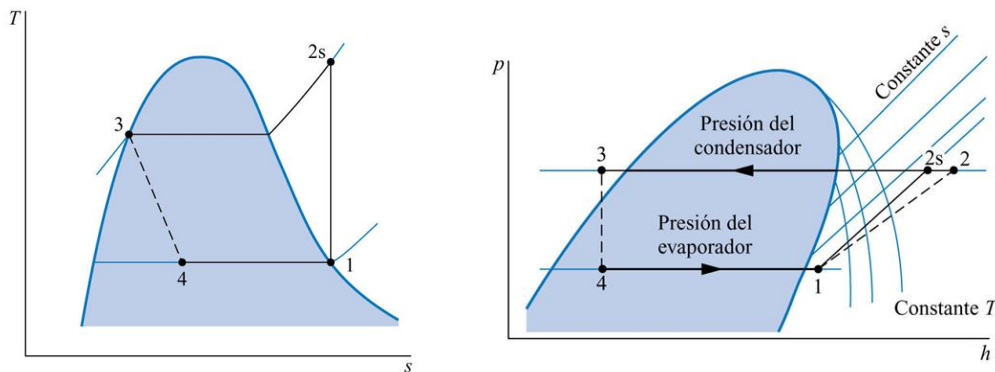


Figura 9: Diagramas T-s y P-h del ciclo ideal de compresión de vapor.

Fuente: MORAN, M.J.; SHAPIRO, H.N.; Fundamentos de Termodinámica Técnica.

Los procesos de un ciclo de refrigeración ideal con compresión del vapor son los siguientes [26]:

**Proceso 1-2s: Fase de Compresión.** Se produce una compresión isentrópica del gas refrigerante con la aplicación de un trabajo adicional.

**Proceso 2s-3: Fase de Condensación.** En esta etapa se cede calor a presión constante en el intercambiador interior o exterior, dependiendo en qué modo esté funcionando la instalación.

**Proceso 3-4: Fase de Expansión.** Se produce una etapa de estrangulación isoentálpica del refrigerante hasta la presión del evaporador.

**Proceso 4-1: Fase de Evaporación.** En esta etapa se absorbe calor a presión constante en el intercambiador interior o exterior, dependiendo en qué modo esté funcionando la instalación.

#### 4.3. Tipos de Bombas de Calor

Las bombas de calor se pueden clasificar de diversas maneras: partidas (tipo Split) vs compactas, por potencia, por tipo de compresor, según los focos con los que intercambia calor. La Directiva Europea 2009/28/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables, reconoce como energía renovable la energía capturada por las bombas de calor bajo determinadas condiciones [28] (explicado en el apartado 4.4.). Debido a esta directiva la siguiente clasificación ha adquirido gran importancia [29]:

Aerotérmicas: Intercambian calor con el aire ambiente.

Hidrotérmicas: Intercambian calor con el agua de mares, ríos o lagos.

Geotérmicas: Intercambian calor con el terreno.

Para describir el tipo de bomba de calor se utilizan dos palabras separadas por un guion. La primera indica el tipo de medio con el que intercambia calor en el exterior. La segunda indica el medio interior con el que se intercambia calor desde la bomba de calor [27]. La bomba de calor destinada a la práctica docente es aire-agua.

#### 4.4. Auditoría en la Bomba de Calor

A la hora de realizar el balance energético de la bomba de calor debe prestarse especial atención a la Directiva 2009/28/CE nombrada anteriormente. Aunque estos equipos utilizan energía del entorno para su funcionamiento, necesitan una energía auxiliar para que funcione el ciclo termodinámico. La energía aerotérmica, geotérmica e hidrotérmica utilizada por las bombas de calor se tendrá en cuenta, siempre que la producción final de energía supere de forma significativa el consumo de energía primaria necesaria para accionar la bomba de calor. Para calcular la energía renovable aprovechada a efectos de esta Directiva se emplea una metodología definida en el Anexo XVII, de la citada Directiva, titulado “Balance energético de las bombas de calor” [29].

$$E_{RES} = Q_{usable} * \left(1 - \frac{1}{SPF}\right)$$

Donde [26]:

$$Q_{usable} = H_{HP} * P_{rated}$$

Siendo:

$Q_{usable}$  – Calor útil total estimado aportado por la bomba de calor, expresado en GWh.

$H_{HP}$  – Número anual de horas durante las que se supone que una bomba de calor debe suministrar calor a la potencia nominal, expresado en horas.

$P_{rated}$  – Potencia nominal del ciclo en condiciones estándar, expresado en GW.

*SPF* – Factor de rendimiento medio estacional estimativo. Se establece un límite mínimo de rendimiento energético estacional, relacionando con la eficiencia media del sistema eléctrico europeo ( $\eta$ ),  $SPF > 1,15 * 1/\eta$ . Por debajo de este valor se considera que la bomba de calor no aporta energía renovable y no se tendrá en cuenta. El valor límite de *SPF* para una bomba de calor aire-agua reversible (como la que se utiliza en la práctica) en una zona climática media, como es Aragón, es de 2,6.

El cálculo de la eficiencia energética para sistemas de climatización cambió el 1 de enero de 2013 con el Reglamento CE 626/2011. Los estándares europeos EER y COP han sido sustituidos por los nuevos SEER y SCOP, basados en eficiencias estacionales, cambiando los métodos de clasificación en función de su eficiencia energética. El motivo de este cambio es que los indicadores EER y COP solo presentaban resultados de rendimiento de los equipos en condiciones predefinidas de temperatura exterior constante y con la unidad a plena carga [27] [30].

La nueva metodología sobre rendimiento se expone en la norma técnica EN 14825 [31]. Los nuevos índices pretenden ser más realistas y apropiados a la utilización de la bomba de calor, consideran dos parámetros de importancia que no se tenían en cuenta anteriormente como el consumo del equipo cuando esta apagado o funcionamiento del equipo con cargas parciales. La medición se hará tomando como referencia distintas zonas climáticas (zonas frías, cálidas y medias). Además, se debe medir el nivel sonoro que emita el equipo.

En la Figura 10 se muestran las clases de eficiencia energética relativas a los acondicionadores de aire, a excepción de los de conducto doble y los de conducto único.

| Clase de eficiencia energética | SEER                    | SCOP                    |
|--------------------------------|-------------------------|-------------------------|
| A+++                           | SEER $\geq$ 8,50        | SCOP $\geq$ 5,10        |
| A++                            | 6,10 $\leq$ SEER < 8,50 | 4,60 $\leq$ SCOP < 5,10 |
| A+                             | 5,60 $\leq$ SEER < 6,10 | 4,00 $\leq$ SCOP < 4,60 |
| A                              | 5,10 $\leq$ SEER < 5,60 | 3,40 $\leq$ SCOP < 4,00 |
| B                              | 4,60 $\leq$ SEER < 5,10 | 3,10 $\leq$ SCOP < 3,40 |
| C                              | 4,10 $\leq$ SEER < 4,60 | 2,80 $\leq$ SCOP < 3,10 |
| D                              | 3,60 $\leq$ SEER < 4,10 | 2,50 $\leq$ SCOP < 2,80 |
| E                              | 3,10 $\leq$ SEER < 3,60 | 2,20 $\leq$ SCOP < 2,50 |
| F                              | 2,60 $\leq$ SEER < 3,10 | 1,90 $\leq$ SCOP < 2,20 |
| G                              | SEER < 2,60             | SCOP < 1,90             |

Figura 10: Clasificación de la eficiencia energética en función de SEER y SCOP.

Fuente: Reglamento CE 626/2011.

En la Figura 11 se observa un modelo de etiqueta energética para acondicionadores de aire reversibles, exceptuando los de conducto único y conducto doble. En la etiqueta se debe señalar la marca, el modelo y todos los datos que se solicitan. Como se puede observar se deben indicar los niveles de potencia acústica de las unidades de interior y de exterior. Respecto a la calefacción, es obligatorio indicar la eficiencia energética de calefacción en la temporada media (verde); la indicación de la eficiencia en la temporada cálida (naranja) y fría (azul) es opcional. Las especificaciones sobre la etiqueta se exponen en el ANEXO III del Reglamento CE 626/2011 [29].

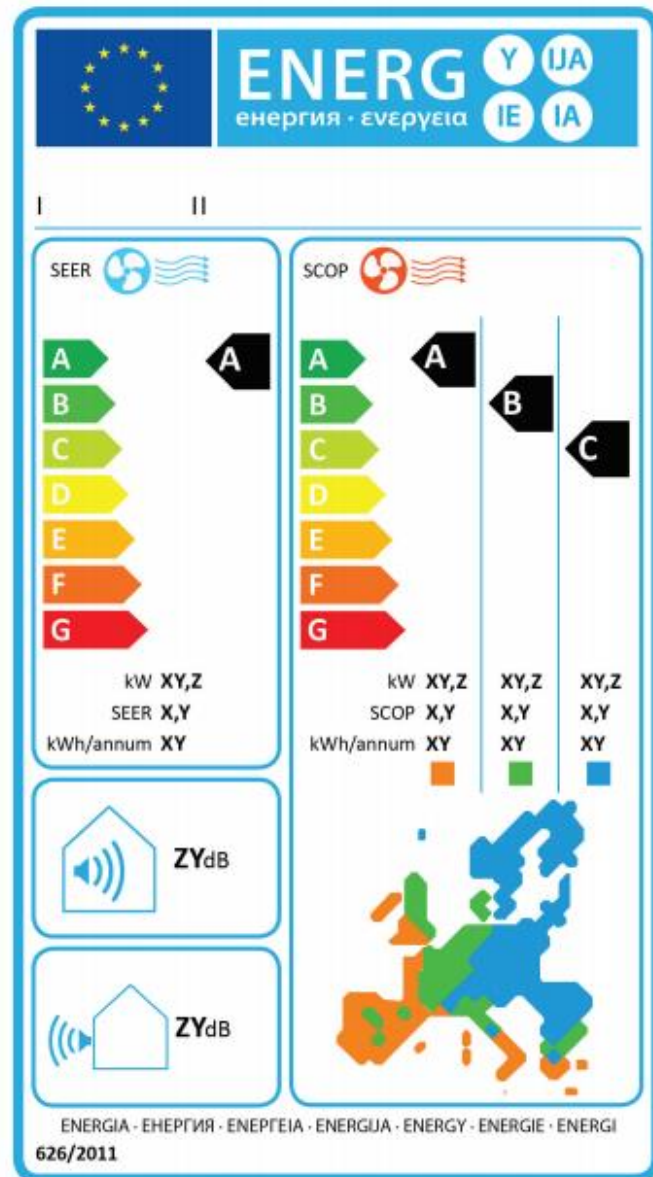


Figura 11: Modelo de etiqueta energética para acondicionadores de aire reversibles.  
Fuente: Reglamento CE 626/2011.

## 5. PRÁCTICA DOCENTE

El lugar en el que se realizará la práctica docente será la Nave 2 del Departamento de Ingeniería Mecánica, situado en el edificio Betancourt. En la Figura 12 se muestra la instalación.

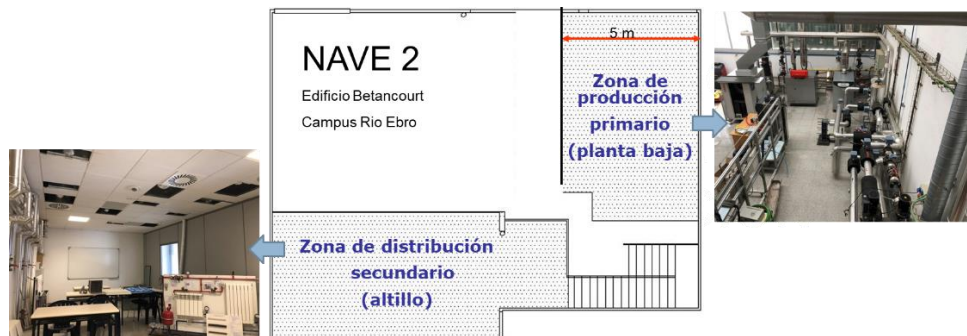


Figura 12: Nave 2 del Edificio Betancourt.

Fuente: Esquema facilitado por B. ZALBA.

La instalación fue diseñada con la finalidad de desarrollar prácticas docentes. Para la producción cuenta con 2 calderas y una bomba de calor, y en la zona del altillo se pueden estudiar diferentes elementos terminales como radiadores, fancoils, inductores y una instalación de difusión de aire. Esta instalación fue construida con la participación y donación de equipos de diversas empresas del sector. En el [Anexo H](#) se describe de forma detallada estas instalaciones.

### 5.1. Protocolo de Puesta en Marcha

Esta instalación permite un gran número de configuraciones distintas. Todas estas posibilidades se exponen en el [Anexo I](#), además de algunas consideraciones para el funcionamiento óptimo de la instalación. A continuación, se muestra la configuración del panel de control recomendada para realizar la práctica docente.

1. Poner el conmutador en posición NAVE para disipar con los elementos de la NAVE (Unidad de Tratamiento de Aire (UTA) + unidades terminales)
2. PRIMARIO-PRODUCCIÓN. Seleccionar el equipo Maquina Frío (Bomba de calor)
  - Seleccionar MODO FRÍO o CALOR
3. MODELO DE CONEXIÓN ENTRE PRIMARIO (PRODUCCIÓN) y SECUNDARIO (DISTRIBUCIÓN). Seleccionar entre las distintas opciones:
  - a) Directo
  - b) Botella rompedoras
  - c) Intercambiador de placas
4. SECUNDARIO-DISTRIBUCIÓN. Seleccionar como disipar la energía.

Si se ha seleccionado NAVE se puede disipar energía a través de la UTA y/o unidades terminales de la primera planta como el carrito fancoil o de radiadores.

## 5.2. Bomba de Calor de la Práctica Docente

Partiendo de un esquema básico de la instalación de CIATESA ITB 155 se conforma y adapta un cuadro resumen para que los estudiantes puedan entender mejor el funcionamiento de la bomba de calor. En este cuadro resumen se indica la dirección del fluido, la posición de la válvula de cuatro vías y la función de los intercambiadores (condensador o evaporador) en los modos de calor y frío con flechas rojas y azules. También se muestra con tres colores distintos (amarillo, verde y violeta) las distintas fases en las que se encuentra el fluido a medida que avanza por el circuito (vapor sobrecalentado, líquido subenfriado o vapor + líquido saturado). Además, la información sobre la bomba de calor de la práctica se amplía en los siguientes anexos:

- En el [Anexo J](#) se especifican las características técnicas del equipo.
- En el [Anexo K](#) se determinan los distintos elementos que conforman el equipo y se explica la función de cada uno.
- En el [Anexo L](#) se describe detalladamente el recorrido que realiza el gas refrigerante y los procesos que sufre.
- En el [Anexo M](#) se muestran algunas incidencias ocurridas durante los ensayos.

En la Figura 13 se observa el esquema de la bomba de calor aire-agua reversible que se utiliza durante la práctica y que forma parte del cuadro resumen preparado para los estudiantes. Este cuadro resumen está colocado en la instalación didáctica de climatización para facilitar la comprensión del funcionamiento de la bomba de calor a los estudiantes.

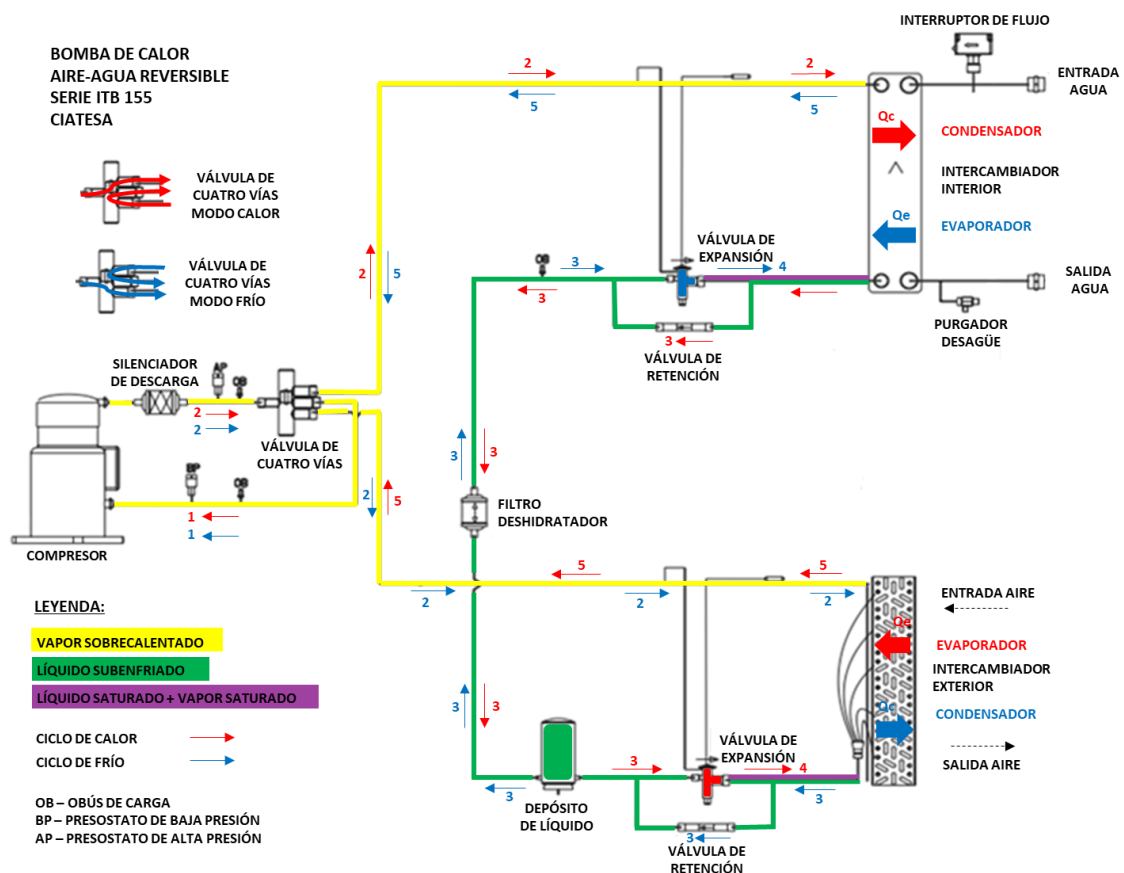


Figura 13: Esquema bomba de calor CIATESA ITB 155.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 14 se muestra los diagramas característicos de la bomba de calor de la práctica. Estos diagramas están relacionados con la figura anterior y también están incluidos en el cuadro resumen. Los dibujos son orientativos, puesto que los verdaderos diagramas del equipo se hallarán más adelante.

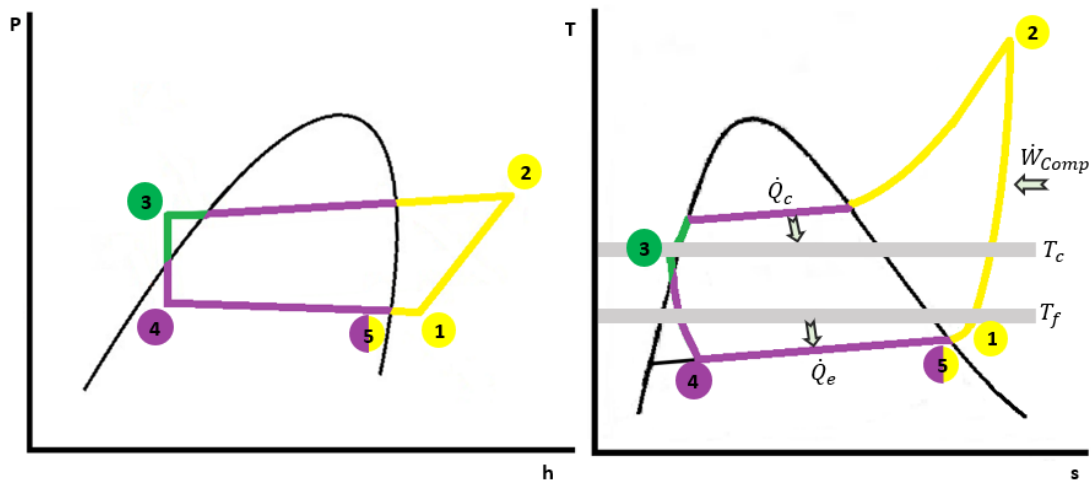


Figura 14: Diagramas orientativos T-s y P-h de la bomba de calor.

Fuente: Elaboración propia.

### 5.3. Cuestiones y Ejercicios para el Aprendizaje

Para promover el aprendizaje, en el [Anexo N](#), se ha preferido realizar 8 fichas con actividades en lugar de hacer un único guion de prácticas. De esta manera, el profesor puede seleccionar las cuestiones y ejercicios que quiera para componer el guion en función de los objetivos docentes buscados, del tiempo de duración de la práctica y de los conocimientos previos de los estudiantes.

Estas fichas se pueden utilizar para configurar un guion de prácticas para asignaturas como Termodinámica técnica y fundamentos de transmisión de calor, Ingeniería térmica, Calor y Frío o Climatización. Las fichas planteadas son las siguientes:

#### IDENTIFICAR PARTES DEL EQUIPO.

En esta ficha se muestran termografías de partes de la bomba de calor. Fijándose en las temperaturas que muestran las imágenes, el alumno deberá ser capaz de responder a algunas cuestiones básicas sobre el funcionamiento del equipo.

#### ANÁLISIS DEL RENDIMIENTO DE LA BOMBA DE CALOR.

El estudiante analizará el ciclo de compresión de vapor de la bomba de calor ayudándose del programa EES y analizará el subenfriamiento y el sobrecalentamiento. Realizará los balances de energía y entropía para el compresor. También calculará el COP y EER del equipo a través de método directo e indirecto. Este ejercicio ayudará al alumno a comprender y familiarizarse con aspectos fundamentales de la asignatura de una forma práctica.

#### PREGUNTAS CORTAS

En este apartado se plantean una serie de cuestiones relacionadas con el funcionamiento de la bomba de calor y de algunos componentes que conforman el equipo utilizado durante la práctica.



### **CUESTIONES DE AUDITORÍAS EN LA BOMBA DE CALOR**

El alumno investigará la normativa española relacionada con las auditorías energéticas y la bomba de calor. También buscará los distintos equipos de medida necesarios para medir en instalaciones analizando su principio de funcionamiento.

### **REFRIGERANTES**

Tras la realización de esta ficha, el alumno será capaz de identificar cuáles son las características más importantes de los refrigerantes. Además, conocerá la situación actual y los posibles cambios futuros de los refrigerantes debido a las normativas que limitan el uso de aquellos con mayor impacto ambiental.

### **ENFRIAMIENTO Y DESHUMIDIFICACIÓN EN LA UTA**

El estudiante analizará un proceso de enfriamiento y deshumidificación. En este ejercicio el alumno resolverá cuestiones de psicrometría ayudado por el programa EES y/o un diagrama psicrométrico. El estudiante comparará los resultados teóricos con los experimentales. Este ejercicio ayudará al alumno a comprender y familiarizarse con aspectos importantes de la asignatura de una forma experimental.

### **TRANSMISIÓN DE CALOR EN LA TUBERÍA DE ALIMENTACIÓN DEL FANCOIL**

En esta ficha se plantea un ejercicio de transmisión de calor unidireccional y estacionario. El estudiante utilizará sus conocimientos para resolver un problema práctico a través del programa EES.

### **CALCULAR EL CALOR INTERCAMBIADO EN EL FANCOIL**

Este ejercicio puede ser propuesto tras la realización de la ficha anterior. Se propone calcular el flujo de calor intercambiado en las baterías del fancoil. El alumno deberá de manejar instrumentos como el TA – CBI para medir caudal en una válvula de equilibrado y el Testo 480 para medir temperaturas en superficies de tuberías. Además, el alumno estudiará el funcionamiento de la válvula de equilibrado.

## 6. CONCLUSIONES

### 6.1. Conclusiones Generales

Al realizar un análisis de la situación energética global se refleja la necesidad de reducir el consumo de energía primaria. En la Unión Europea y España se ha ido configurando un marco normativo con el que se promueve la eficiencia energética, destacando el Real Decreto 56/2016, en lo referente a auditorías energéticas.

Como herramienta de mejora para una mayor eficiencia energética, se ha estudiado que es una auditoría energética, como se puede realizar y su regulación. Con el Real Decreto 56/2016 las auditorías energéticas pasaron a ser obligatorias para las grandes empresas. A pesar de que no todas las empresas cumplieron el plazo establecido, desde algunas comunidades autónomas se han proporcionado datos con resultados alentadores.

Se ha realizado un estudio de los principales equipos de medida para calcular la eficiencia energética y su utilización en las auditorías energéticas. En este apartado se presenta el principio de funcionamiento y características de los instrumentos. Además, se informa de que equipos de medida se dispone en la nave para analizar la bomba de calor de la práctica docente, proponiendo a continuación una serie de alternativas.

La bomba de calor puede ser una alternativa eficiente. Se detalla que es una bomba de calor y como funciona. A la hora de realizar el balance energético de la bomba de calor debe prestarse especial atención a la Directiva 2009/28/CE, que define la metodología establecida. Además, con el Reglamento CE 626/2011, los estándares EER y COP han sido sustituidos por los nuevos SEER y SCOP, basados en eficiencias estacionales.

Se realiza un estudio de la instalación didáctica de climatización y se elabora un protocolo de puesta en marcha, en el que se tienen en cuenta ciertas consideraciones. Por último, se describe en profundidad el funcionamiento de la bomba de calor y se proponen una serie de cuestiones y ejercicios para el estudiante.

### 6.2. Conclusiones Específicas

Para encontrar alternativas a los equipos de medida de la nave, se ha realizado una búsqueda en el mercado. Se ha revelado la existencia de nuevos instrumentos especializados para los profesionales, permitiendo medir presión, temperatura y potencia, facilitando en gran medida el trabajo del auditor.

Para el análisis de la bomba de calor y la preparación de la práctica docente se han estudiado y utilizado los siguientes aparatos:

- Instrumento para válvulas de equilibrado TA – CBI
- Cámara termográfica Flir E60
- Instrumento multi parámetro testo 480
- Analizador de refrigeración testo 550
- Analizador de redes PCE-360
- Medidor de consumo eléctrico Efergy E2 Classic

Además, se han realizado algunos ensayos para verificar y comparar el comportamiento de los instrumentos. Se ha estudiado la documentación técnica pertinente y se ha consultado con diversos profesionales de UTC (antes CIATESA, fabricante de la bomba de calor de la práctica), Ferrovial o Ibersystem.

Durante la puesta en marcha de la instalación de la Nave 2 para la realización de las pruebas se tuvieron que realizar una serie de modificaciones en la UTA. Debido a la falta de uso o a la utilización de este equipo con unas configuraciones diferentes, no había sido necesario hasta ahora la realización de estos cambios.

Por último, se han propuesto 8 fichas docentes con las que se estudian conceptos de termodinámica y transmisión de calor por medio del funcionamiento de la bomba de calor. En estas fichas se analiza su rendimiento y se calcula el COP y EER.

### 6.3. Líneas de Futuro

Como línea de futuro se plantea la posibilidad de realizar un trabajo similar a este, cambiando la utilización de la bomba de calor por alguna de las calderas de la instalación.

Otra línea de futuro puede ser analizar el comportamiento de la bomba de calor con la variación de la temperatura del aire ambiente en las distintas épocas del año.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] GARCÍA, R.; VICENTE, P.; GARCÍA, A.; ACOSTA, M.; NAVAS, M.A. AUDITORÍAS ENERGÉTICAS EN EDIFICIOS. Madrid: ATECYR, 2010. ISBN: 978-84-95010-38-4
- [2] Departamento de Ingeniería Química y Tecnologías del Medio Ambiente (Universidad de Zaragoza). Apuntes de la asignatura: Ingeniería de Medio Ambiente, Curso 2018-19.
- [3] Naciones Unidas. Acuerdo de París. [Consulta: 18-11-2018]. Disponible en: [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX:22016A1019\(01\)](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX:22016A1019(01))
- [4] Unión Europea. Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de mayo de 2010, relativa a la eficiencia energética de los edificios (refundición). [Consulta: 18-11-2018]. Disponible en: <https://www.boe.es/doue/2010/153/L00013-00035.pdf>
- [5] Unión Europea. Directiva 2012/27/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de octubre de 2012, relativa a la eficiencia energética, por la que se modifican las Directivas 2009/125/CE y 2010/30/UE, y por la que se derogan las Directivas 2004/8/CE y 2006/32/CE. [Consulta: 19-11-2018]. Disponible en: <https://www.boe.es/doue/2012/315/L00001-00056.pdf>
- [6] Unión Europea. Directiva (UE) 2018/844 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 30 de mayo de 2018, por la que se modifica la directiva 2010/31/UE relativa a la eficiencia energética de los edificios y la directiva 2012/27/UE relativa a la eficiencia energética. [Consulta: 19-11-2018]. Disponible en: <https://www.boe.es/doue/2018/156/L00075-00091.pdf>
- [7] CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN. Historia del CTE. [Consulta: 19-02-2019]. Disponible en: <https://www.codigotecnico.org/index.php/menu-que-cte/historia.html>
- [8] CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN. Marco reglamentario. [Consulta: 19-02-2019]. Disponible en: <https://www.codigotecnico.org/index.php/menu-que-cte/marco-reglamentario.html>
- [9] IDAE. Código técnico de la edificación. [Consulta: 19-02-2019]. Disponible en: <http://www.idae.es/tecnologias/eficiencia-energetica/edificacion/codigo-tecnico-de-la-edificacion>
- [10] IDAE. Reglamento de instalaciones térmicas de los edificios. [Consulta: 20-02-2019]. Disponible en: <http://www.idae.es/tecnologias/eficiencia-energetica/edificacion/reglamento-de-instalaciones-termicas-de-los-edificios>
- [11] Gobierno de España. Real Decreto 56/2016, de 12 de febrero, por el que se transpone la Directiva 2012/27/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de octubre de 2012, relativa a la eficiencia energética, en lo referente a auditorías energéticas, acreditación de proveedores de servicios y auditores energéticos y promoción de la eficiencia del suministro de energía. [Consulta: 20-02-2019]. Disponible en: [https://www.boe.es/diario\\_boe/txt.php?id=BOE-A-2016-1460](https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2016-1460)

- [12] Auditorías Energéticas según UNE 16247 | ISO 50001. [Consulta: 21-02-2019]. Disponible en: <http://iso50001.nom.es/auditorias-energeticas-segun-une-16247/>
- [13] AENOR. Auditorías energéticas. Parte 1: Requisitos generales. UNE EN 16247-1:2012. Madrid: AENOR, 2012.
- [14] Unión Europea. Directiva 2006/32/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 5 de abril de 2006, sobre la eficiencia del uso final de la energía y los servicios energéticos y por la que se deroga la Directiva 93/76/CEE del Consejo. [Consulta: 22-02-2019]. Disponible en: <https://www.boe.es/doue/2006/114/L00064-00085.pdf>
- [15] IDAE. Empresas Servicios Energéticos. [Consulta: 07-03-2019]. Disponible en: [https://www.idae.es/empresas/servicios-energeticos?registry=&field\\_ref\\_tax\\_province\\_tid=All&field\\_text1\\_und\\_value=&field\\_taxref\\_ccaa\\_tid=All](https://www.idae.es/empresas/servicios-energeticos?registry=&field_ref_tax_province_tid=All&field_text1_und_value=&field_taxref_ccaa_tid=All)
- [16] AENOR. Auditorías energéticas. Parte 2: Edificios. UNE EN 16247-2:2014. Madrid: AENOR, 2014.
- [17] COMUNIDADISM. ¿Auditorías Energéticas o Sistemas de Gestión Energética? [Consulta: 09-03-2019]. Disponible en: <http://www.comunidadism.es/blogs/%C2%BFauditorias-energeticas-o-sistemas-de-gestion-energetica>
- [18] Ministerio de Industria, Comercio y Turismo. [Consulta: 28-07-2019]. Disponible en: <https://www.mincotur.gob.es/es-es/gabineteprensa/notasprensa/2016/Paginas/20160212-auditorias-eficiencias.aspx>
- [19] INTEREMPRESAS. Las auditorías energéticas en las CC AA. [Consulta: 28-07-2019]. Disponible en: <https://www.interempresas.net/Instaladores/Articulos/220393-Las-auditorias-energeticas-en-las-CC-AA.html>
- [20] HERALDO. Más auditorías energéticas a empresas aragonesas antes de mitad de noviembre. [Consulta: 28-07-2019]. Disponible en: <https://www.heraldo.es/noticias/aragon/2016/09/18/mas-auditorias-energeticas-empresas-aragonesas-antes-mitad-noviembre-1064249-300.html#>
- [21] VICENTE, P. DTIE 17.04 INSTRUMENTACIÓN Y MEDICIÓN. Madrid: ATECYR, 2012. ISBN: 978-84-95010-47-6
- [22] CREUS, A. INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL. Barcelona: MACOMBO, 1989. ISBN: 84-267-0765-3
- [23] ATECYR. Guía básica de instrumentación de medida de instalaciones en los edificios. [Consulta: 28-07-2019]. Disponible en: <https://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/Guia-basica-de-instrumentacion-de-medida-de-instalaciones-en-los-edificios-fenercom-2011.pdf>
- [24] Comisión Europea. Políticas, información y servicios. [Consulta: 18-11-2018]. Disponible en: <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency/buildings>

- [25] CALORYFRIO. Construcción sostenible. [Consulta: 07-03-2019]. Disponible en: <https://www.caloryfrio.com/construccion-sostenible/casas-pasivas-y-edificios-energia-casino/climatizacion-eficiencia-energetica.html>
- [26] MORAN, M.J.; SHAPIRO, H.N. Fundamentos de Termodinámica Técnica. Barcelona: EDITORIAL REVERTÉ, 2004. ISBN: 84-291-4313-0
- [27] AFEC. La Bomba de Calor. Fundamentos, Tecnología y Casos Prácticos. Madrid: AFEC, 2015. ISBN: 978-84-606-5447-6
- [28] IDAE. Energía renovable capturada por bombas de calor. [Consulta: 07-03-2019]. Disponible en: <https://www.idae.es/tecnologias/energias-renovables/uso-termico/aeroterminia-e-hidrotermia>
- [29] Unión Europea. Directiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de abril de 2009, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables y por la que se modifican y se derogan las Directivas 2001/77/CE y 2003/30/CE. [Consulta: 20-02-2019]. Disponible en: <https://www.boe.es/doue/2009/140/L00016-00062.pdf>
- [30] Unión Europea. Reglamento Delegado (UE) No 626/2011 de la Comisión, de 4 de mayo de 2011, por el que se complementa la Directiva 2010/30/UE del Parlamento Europeo y del Consejo en lo que respecta al etiquetado energético de los acondicionadores de aire. [Consulta: 20-02-2019]. Disponible en: <https://www.boe.es/doue/2011/178/L00001-00072.pdf>
- [31] AENOR. Acondicionadores de aire, enfriadoras de líquido y bombas de calor con compresor accionado eléctricamente para la calefacción y la refrigeración de locales. Ensayos y clasificación en condiciones de carga parcial y cálculo del rendimiento estacional. UNE EN 14825:2016. Madrid: AENOR, 2012.
- [32] Comisión Europea. Políticas, información y servicios. [Consulta: 18-11-2018]. Disponible en: <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency/buildings>
- [33] Unión Europea. Directiva 93/76/CEE del Consejo, de 13 de septiembre de 1993, relativa a la limitación de las emisiones de dióxido de carbono mediante la mejora de la eficacia energética (SAVE). [Consulta: 21-11-2018]. Disponible en: <https://www.boe.es/doue/1993/237/L00028-00030.pdf>
- [34] Unión Europea. Directiva 2002/91/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre de 2002 relativa a la eficiencia energética de los edificios. [Consulta: 21-11-2018]. Disponible en: <https://www.boe.es/doue/2003/001/L00065-00071.pdf>
- [35] EUR-Lex. Síntesis de la legislación de la UE. [Consulta: 21-11-2018]. Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=LEGISSUM%3A127042>

- [36] Unión Europea. Directiva 2006/32/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 5 de abril de 2006, sobre la eficiencia del uso final de la energía y los servicios energéticos y por la que se deroga la Directiva 93/76/CEE del Consejo. [Consulta: 21-11-2018]. Disponible en: <https://www.boe.es/doue/2006/114/L00064-00085.pdf>
- [37] CIRCUTOR. El Real Decreto 56/2016 sobre auditorías energéticas. [Consulta: 20-02-2019]. Disponible en: <http://circuitor.es/es/documentacion-es/articulos/3782-el-nuevo-real-decreto-56-2016-sobre-las-auditorias-energeticas>
- [38] CIATESA. Documentación técnica del fabricante.
- [39] DOSSAT, R. Principios de refrigeración. México: COMPAÑIA EDITORIAL CONTINENTAL, 1980. ISBN: 978-96-826-0201-6
- [40] DANFOSS. Válvulas inversoras de 4 vías. [Consulta: 30-07-2019]. Disponible en: <http://products.danfoss.mx/productrange/refrigeration/solenoid-valves/4-way-reversing-valves/#/>
- [41] TEMARIOS FORMATIVOS PROFESIONALES. Componentes auxiliares-de climatización. [Consulta: 30-07-2019]. Disponible en: <https://temariosformativosprofesionales.files.wordpress.com/2013/02/componentes-auxiliares-de-climatizacion.pdf>
- [42] CARLY. Filtros secadores antiácidos. [Consulta: 30-07-2019]. Disponible en: [http://www.carly-sa.es/carlysoft/documents/es/DCY\\_DOCTEC\\_12\\_07\\_ESP.pdf](http://www.carly-sa.es/carlysoft/documents/es/DCY_DOCTEC_12_07_ESP.pdf)

## ANEXOS

### Anexo A: Ampliación sobre la revisión de la normativa europea

Los edificios causan alrededor del 40% del consumo de energía y el 36% de las emisiones de CO<sub>2</sub> en la UE. En la actualidad cerca el 35% de los edificios de la UE tienen más de 50 años y casi el 75% del stock de edificios es ineficiente energéticamente, mientras que los edificios renovados al año son solo el 0,4-1,2% (dependiendo del país). Una renovación de los edificios construidos tiene la capacidad de disminuir el consumo total de energía en 5-6% y reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> en un 5% [32].

La renovación de estos edificios conlleva una inversión que estimularía la economía. El sector de la construcción se vería muy favorecido ya que genera aproximadamente el 9% del PIB de Europa y representa directamente 18 millones de empleos directos. Las PYMES se beneficiarían particularmente, ya que contribuyen con más del 70% del valor agregado en el sector de la construcción de la UE [32].

#### Directiva 93/76/CEE SAVE (Derogada por Directiva 2006/32/CE)

Con la Directiva 93/76/CEE del Consejo, de 13 de septiembre de 1993, relativa a la limitación de las emisiones de dióxido de carbono mediante la mejora de la eficacia energética (SAVE) [33] se establecieron programas relativos a:

- la facturación de los gastos de calefacción, climatización y agua caliente sanitaria en función del consumo real
- la inspección periódica de calderas
- las auditorías energéticas en las empresas de elevado consumo de energía
- la certificación energética de los edificios
- el aislamiento térmico de los edificios nuevos
- la financiación por terceros de las inversiones en eficiencia energética en el sector público

Esta directiva no imponía verdaderas obligaciones salvo el deber de informar bianualmente a la comisión.

#### Directiva 2002/91/CE EPBD (Derogada por Directiva 2010/31/UE)

La finalidad de la Directiva [34] es fomentar la eficiencia energética de los edificios, teniendo en cuenta las condiciones climáticas exteriores y las particularidades locales, los requisitos ambientales interiores y la relación coste-eficacia.

Esta Directiva se organiza en torno a los siguientes elementos principales:

- Inspección periódica de las calderas y de los sistemas centrales de climatización de edificios. Evaluación de las instalaciones de calefacción con calderas de más de 15 años.
- Sistemas de certificación energética de edificios. Los certificados deberán datar de menos de cinco años.
- Aplicación de los requisitos mínimos relativos al rendimiento energético de los edificios nuevos y de los ya existentes cuando se realicen reformas importantes.
- Una metodología común de cálculo de la eficiencia energética integrada de los edificios.



La metodología común de cálculo debe integrar todos los elementos que determinan el rendimiento energético. Es un planteamiento integrado en el que se debe tener en cuenta elementos como las instalaciones de climatización, de iluminación, la localización y orientación del edificio o la recuperación del calor. Los Estados miembros son los encargados de fijar estos requisitos mínimos [35].

Directiva 2006/32/CE (Derogada por Directiva 2012/27/UE)

Directiva 2006/32/CE [36] del Parlamento Europeo y del Consejo, de 5 de abril de 2006, sobre la eficiencia del uso final de la energía y los servicios energéticos.

Los países de la UE asegurarán la disponibilidad de sistemas de auditoría energética para encontrar potenciales medidas de ahorro energético. Estas auditorías deben ser elaboradas de manera independiente y ser accesibles a todos los consumidores de los sectores industrial, comercial y doméstico. También se debe velar por que se suministre a los usuarios contadores individuales a precios razonables y una facturación transparente que muestre el consumo real de energía.

## Anexo B: Ampliación sobre la revisión de la normativa española

### Real Decreto 56/2016

Real Decreto 56/2016, de 12 de febrero, por el que se transpone la Directiva 2012/27/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de octubre de 2012, relativa a la eficiencia energética, en lo referente a auditorías energéticas, acreditación de proveedores de servicios y auditores energéticos y promoción de la eficiencia del suministro de energía [11] [37].

#### - Características de la auditoría

Deberán basarse en datos operativos actualizados, medidos y verificables.

Serán proporcionadas y representativas para poder trazar una imagen del rendimiento energético global, pudiendo determinar de una manera fiable las oportunidades de mejora.

Para facilitar una información clara sobre el potencial de ahorro se reflejará de forma precisa los cálculos para las medidas propuestas.

Se deben almacenar los datos recogidos en las auditorías para análisis históricos y trazabilidad del comportamiento.

Las empresas y grupos de sociedades deben conservar la auditoría energética en vigor y entregarla a las autoridades competentes cuando la requieran.

Las empresas y grupos de sociedades son responsables de actualizar la información de sus auditorías. Esta información estará recogida en el Registro Administrativo de Auditorías Energéticas, que será público y gratuito. Tras la finalización de la auditoría se dispone de tres meses para registrarla.

#### - Justificación del cumplimiento

Para justificar el cumplimiento de estas obligaciones se pueden utilizar dos métodos distintos.

a) Realizar una auditoría energética según se indica en el artículo 3 apartado 3, de este real decreto.

b) Aplicar un sistema de gestión energético o medioambiental, que incluya una auditoría energética conforme se establece en el artículo 3 apartado 3. Este sistema de gestión debe estar certificado por un organismo independiente y debe cumplir las normas correspondientes.

Cuando la empresa o grupo de sociedades tenga una certificación de eficiencia energética de acuerdo con el Real Decreto 235/2013, éste podrá formar parte de la auditoría energética con relación a la parte edificatoria, siempre y cuando incluya las recomendaciones correspondientes para la mejora de la eficiencia energética.

#### - Acreditación de los auditores

Los auditores deben estar formados y acreditados correctamente, para esto deben de haber recibido y superado un curso de formación específico para auditorías energéticas elaborado por un órgano competente de la comunidad autónoma. El auditor debe conocer la normativa de ejecución de auditorías energéticas (UNE-EN 16247) y la realización de medidas de variables energéticas como intensidad, tensión eléctrica, reactiva, armónicos y consumo de energía.

#### - Régimen sancionador

El incumplimiento de este Real Decreto puede ocasionar sanciones de hasta 60.000 € en materia de auditorías energéticas.

## Anexo C: Instrumentos para medir temperatura y presión

### CÁMARA TERMOGRÁFICA FLIR E60

La Universidad de Zaragoza dispone de este instrumento, ha resultado muy útil para analizar el funcionamiento de la instalación de forma cualitativa, aunque no cuantitativa. Además, gracias a este aparato se puede registrar la temperatura del refrigerante a la salida del compresor y así concretar mejor en el rango de temperatura para comprar la sonda de temperatura. En la Figura 15 se muestra la cámara termográfica.



*Figura 15: Cámara termográfica Flir E60.*

- Resolución hasta de 320 x 240 píxeles
- Pequeña y liviana
- Cámara visual de alta calidad
- Galería de imágenes en miniatura
- Precisión  $\pm 2\%$
- Interfaz de usuario intuitivo
- LED incorporados
- Batería de larga duración
- Puntero láser

La forma de utilizarla es muy sencilla, dispone de una pantalla en la que se elige el modo de captura. En la propia pantalla se pueden visualizar las fotos realizadas, estas imágenes se pueden transferir fácilmente a otro dispositivo a través de una tarjeta SD o por vía USB.

Un aspecto importante a tener en cuenta a la hora de realizar termografías es la de la emisividad de los materiales. Antes de realizar cualquier medición se debe configurar con la emisividad del material que se desea medir. El dispositivo ofrece unos parámetros de emisividad por defecto para unos materiales concretos, pero cuando se desconoce el material o puede estar alterado por pintura, polvo u otros agentes se realiza lo siguiente:

La emisividad para una cinta adhesiva negra es de 0,9. Se coloca la cinta negra sobre la superficie que se desea medir y se espera a que se establezca la temperatura. A continuación, se toma una termografía y se compara la temperatura de la superficie sin cinta negra y con cinta negra. La temperatura debería ser la misma. Configuramos la emisividad de forma que la temperatura del tubo sin la cinta negra sea igual que la temperatura anterior con cinta.

### INSTRUMENTO MULTIPARÁMETRO TESTO 480

En la Figura 16 se muestra el Instrumento multiparámetro Testo 480, el cual tiene diversas sondas acoplables.



*Figura 16: Instrumento multiparámetro Testo 480.*

Las sondas permiten realizar las siguientes mediciones con el testo 480: velocidad, temperatura, humedad, presión, grado de turbulencia, calor radiante, CO<sub>2</sub>, intensidad de la luz, índices PMV/PPD y valor WBGT

- Sensor de presión diferencial de alta precisión integrado
- Incluye software profesional para PC

#### Datos técnicos generales

Temperatura de funcionamiento: 0 hasta +40 °C

Clase de protección: IP30

Sondas conectables: 2 sondas de temperatura TP tipo K, 1 sensor de presión diferencial interno, 3 sondas digitales

En la Tabla 5 se muestran las características de las sondas acoplables al instrumento.

*Tabla 5: Datos técnicos del Instrumento Testo 480.*


*Fuente: TESTO.*

|   |  |   |
|---|--|---|
| <b>Pt100</b><br>Rango: -100 hasta +400 °C<br>Resolución: 0,01 °C  | <b>Tipo K (NiCr-Ni)</b><br>Rango: -200 hasta +1370 °C<br>Exactitud: $\pm(0,3^{\circ}\text{C} + 0,1\% \text{ del vm})$<br>Resolución: 0,1 °C  | <b>Humedad capacitiva</b><br>Rango: 0 hasta 100 %HR<br>Resolución: 0,1 %HR  |
| <b>Presión absoluta</b><br>Rango: 700 a 1100 hPa<br>Exactitud: $\pm 3 \text{ hPa}$<br>Resolución: 0,1 hPa | <b>Anemómetro de molinete</b><br>Rango: 0,6 hasta +50 m/s (Molinete $\varnothing$ 16 mm)<br>0,1 hasta +15 m/s (Molinete $\varnothing$ 100 mm)<br>Resolución:<br>0,1 m/s (Molinete $\varnothing$ 16 mm)<br>0,01 m/s (Molinete $\varnothing$ 100 mm) | <b>Hilo caliente</b><br>Rango: 0 hasta +20 m/s<br>Resolución: 0,01 m/s<br><br><b>Medición de CO<sub>2</sub></b><br>Rango: 0 a 10000 ppm CO <sub>2</sub><br>Resolución: 1 ppm CO <sub>2</sub>  |
| <b>Evaluación de lugares de trabajo</b><br>Rango: 0 hasta +5 m/s<br>Resolución: 0,01 m/s                  | <b>Medición Lux</b><br>Rango: 0 hasta 100000 lux<br>Resolución: 1 lux  | <b>Sensor de presión piezoresistivo</b><br>Rango: -100 hasta +100 hPa<br>Exactitud: $\pm(0,3 \text{ Pa} + 1 \% \text{ del v.m.})$ (0 hasta +25 hPa)<br>$\pm(0,1 \text{ hPa} + 1,5 \% \text{ del v.m.})$ (+25,001 hasta +100 hPa)<br>Resolución: 0,001 hPa |

Como se ha comentado anteriormente (apartado 3.1.), el Instrumento multiparámetro Testo 480 posee diversas sondas de temperatura, pero ninguna destinada a la medición en superficies de tuberías. Por lo tanto, se necesita comprar dos sondas de temperatura. Tras buscar diversas soluciones y mantener conversaciones con profesionales de Ibersystem recomendaron que, para la medición en tuberías con el Testo 480, la sonda de temperatura termopar tipo K de velcro mostrada en la Tabla 2 es la mejor opción. Esta sonda ofrecía la mejor relación entre prestaciones y precio.

*Tabla 2: Sonda abrazadera para tuberías.*

*Fuente: TESTO.*

|   |  |
|---|--|
|  | <p>Proporciona una fijación fácil de la sonda de superficie a las tuberías con un diámetro de hasta 120 mm</p> <p>Sonda de temperatura termopar tipo K con cable de 1.5 metros</p> <p>Rango: -50 hasta +120 °C</p> <p>Exactitud: <math>\pm 1.5</math> °C</p> |
|---|--|

Además, también se utilizarán los termómetros bimetálicos instalados en el circuito de agua como el de la Figura 17.



*Figura 17: Termómetro bimetálico de la instalación.*

Para medir la presión de la bomba de calor se utilizan los manómetros fijos del equipo expuestos en la Figura 18.




*Figura 18: Manómetros fijos de la bomba de calor.*

## REVISIÓN DE INSTRUMENTOS DISPONIBLES EN EL MERCADO

En la Tabla 6 se muestra un instrumento indicado para la medición de la temperatura en climatización con una sonda termopar tipo K.

Tabla 6: Termómetro Testo 925.

Fuente: TESTO.



| Termómetro testo 925 - Especial para el sector HVACR Termopar Tipo K              |  |
|---|--|
|  | <p>Rango de medida: -50 hasta +1000 °C<br/>Resolución: 0,1 °C (-50 hasta +199,9 °C); 1 °C el Resto<br/>Precisión: ± (0,5 °C + 0,3 % del v.m.) (-40 hasta +900 °C)<br/>1 canal<br/><u>El paquete incluye:</u><br/>Termómetro testo 925<br/>Pila cuadrada 9 V<br/>Protocolo de calibración<br/>Manual de instrucciones</p> |

- Sonda de temperatura enchufable y sonda de temperatura por radio conectable
- Amplia gama de sondas de temperatura rápidas para la medición de superficies, medición ambiental o medición por inmersión/penetración
- Valores límite configurables y alarma acústica si se sobrepasan

Algunas sondas compatibles con este instrumento y destinadas al uso de la medición de superficies de tuberías se muestran en la Tabla 7.

Tabla 7: Sondas acoplables al Testo 925.


Fuente: TESTO.

| Sonda de pinza - Para mediciones de temperatura en tubos (Ø 15–25 mm)               |   |
|---|---|
|  | <p>Pinza de sujeción para una fijación rápida de la sonda de superficie en los tubos (Ø máx. 1")<br/>Termopar tipo K sonda de temperatura<br/>Rango de medición -50 hasta +100 °C<br/>Exactitud: ±2.5 °C</p>  |
| Sonda de temperatura con abrazadera - Diámetros de 5 a 65 mm                        |   |
|  | <p>Con abrazadera con perno: proporciona una fijación rápida y fácil de la sonda a las tuberías con un diámetro de 5 a 65 mm<br/>Sonda de temperatura termopar tipo K con cable de 1.2 metros<br/>Rango de medición: -60 hasta +130 °C<br/>Exactitud: ±2.5 °C</p> |

En la Tabla 8 se exponen algunas especificaciones del termómetro Testo 110.

*Tabla 8: Termómetro Testo 110.*

*Fuente: TESTO.*


| Termómetro testo 110 - Termómetro profesional NTC                                 |  |
|---|--|
|  | <p>Rango de medida: -50 hasta +150 °C<br/>                     Exactitud: <math>\pm 0.2</math> °C (-20 hasta +80 °C)<br/>                     Resolución: 0,1 °C<br/>                     1 canal<br/> <u>El paquete incluye:</u><br/>                     Termómetro testo 110<br/>                     1 pila cuadrada 9 V<br/>                     Protocolo de calibración</p> |

- Una sonda de temperatura enchufable y una sonda por radio conectable, otras sondas disponibles opcionalmente para numerosas aplicaciones prácticas
- Alarma acústica, valores límite configurables por el usuario
- Cumple con los requisitos APPCC, EN13485 e ITC 3701/2006

A continuación, en la Tabla 9 se muestra una sonda compatible con el Testo 110. Esta sonda tiene muy buena precisión, el problema es que a la salida del compresor se alcanzan temperaturas mayores que las de su rango de medición. Por otro lado, no es compatible con el instrumento del departamento Testo 480.

*Tabla 9: Sonda acoplable al Testo 110.*


*Fuente: TESTO.*

| Sonda de temperatura para superficies - Con sensor NTC                              |   |
|---|---|
|  | <p>Con cinta de velcro para la sujeción sencilla de la sonda de temperatura en tubos con un diámetro de hasta 75 mm<br/>                     Sonda de temperatura con sensor de temperatura NTC<br/>                     Rango: -50 hasta +70 °C<br/>                     Exactitud: <math>\pm 0,2</math> °C (-25 hasta +70 °C)<br/> <math>\pm 0,4</math> °C (-50 hasta -25 °C)</p> |

En la Tabla 10 se muestran diversas características del termómetro MICROTHERMA 1.

*Tabla 10: Termómetro MICROTHERMA 1.*

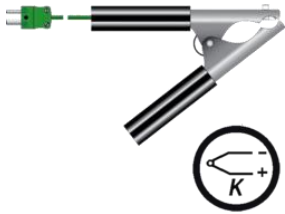
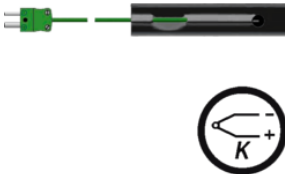
*Fuente: GESA.*

| MICROTHERMA 1 Termómetro digital para industria con recalibración automática      |  |
|---|--|
|  | <p>Rango de medida: -270 a 1768°C</p> <p>Resolución: 0,1 °C/°F</p> <p>Precisión: ±0.2°C ±1 dígito</p> <p>Batería: 2x 1.5 voltios AAA</p> <p>1 canal</p> <p><u>El paquete incluye:</u></p> <p>Termómetro</p> <p>Posibilidad de certificado de calibración</p> |

El termómetro posee un microprocesador incorporado que permite que el instrumento lleve a cabo de forma continua y automática la recalibración. Adicionalmente el usuario podrá ajustar la lectura ( $\pm 2,5^{\circ}\text{C}$ ) para compensar eventuales errores de la sonda. Este aparato acepta cualquier tipo de termopar (K, J, T, R, N, S o E). En la Tabla 11 se muestran distintas sondas que se pueden utilizar con el instrumento MICROTHERMA 1.

*Tabla 11: Sondas acoplables al MICROTHERMA 1.*

*Fuente: GESA.*

| TERMOPAR TIPO K SONDA DE PINZA PARA TUBOS   |  |
|---|--|
|  | <p>Esta resistente sonda de pinza está diseñada para medir la superficie de tuberías con diámetros entre <math>\varnothing 6</math> y <math>\varnothing 30\text{mm}</math> de instalaciones de refrigeración, calefacción o sistemas de climatización. El tiempo de respuesta es inferior a 2 segundos.</p> <p>Con un rango de <math>-10</math> a <math>100^{\circ}\text{C}</math> y un cable liso de 1m de largo.</p> |
| TERMOPAR TIPO K SONDA DE VELCRO PARA TUBERIAS                                       |  |
|  | <p>Esta sonda de velcro de 500mm está diseñada para medir la temperatura para en tuberías de tamaño mediano y grande. El tiempo de respuesta es inferior a 20 segundos.</p> <p>Con un rango de <math>-10</math> a <math>100^{\circ}\text{C}</math> y un cable de 1m de largo.</p>  |



En la Tabla 12 se muestran algunos instrumentos indicados para la medición de presiones en el circuito de gas refrigerante.

*Tabla 12: Puentes de manómetros.*


*Fuente: ALMACÉN ELECTRICIDAD, EFINOX.*

|  |   |
|--|---|
|   | <p>Mod. ESC 2000/5, estuche compuesto de:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Analizador 2 Válvulas R22-R134-R404A-R407C</li> <li>- Juego de 3 mangueras 1.500 mm. Junta teflón 1/4"</li> <li>- Manómetros ALTA y BAJA 80 MM</li> </ul>  |
|  | <p>Maletín con puente de manómetros de 4 vías con protección anti-colisión y mangueras de carga.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Puente de aluminio</li> <li>• Mandos con alta resistencia a los golpes</li> <li>• Visor</li> <li>• Manómetros Clase 1.6</li> <li>• 2 vías para 80 mm R134a, R404A, R407C y R410A</li> </ul> |

A continuación, se muestran algunos instrumentos que facilitan el trabajo a los profesionales de la climatización. Uno de estos instrumentos se muestra en la Tabla 13.

*Tabla 13: Set Smart Probes.*


*Fuente: TESTO.*

| Set Smart Probes refrigeración - Instrumentos para smartphone  |  |
|--|--|
|                                       | <p>Conexión del manómetro directamente sin mangueras a la toma del sistema (pérdida mínima de refrigerante)</p> <p>Medición simultánea en diversos puntos del sistema, aunque estén muy alejados entre si</p> <p>Fácil selección del refrigerante mediante la app testo Smart Probes</p> <p>Cálculo automático de la temperatura de evaporación y condensación mediante la app</p> |
| <p><b>NTC</b></p> <p>Rango: -40 hasta +150 °C</p> <p>Exactitud: ±1,3 °C (-20 hasta +85 °C)</p> <p>Resolución: 0,1 °C</p> | <p><b>Medición de la presión</b></p> <p>Rango: -1 hasta +60 bar</p> <p>Exactitud: ±0,5</p> <p>Resolución: 0,01 bar</p> <p>Conexión para sonda: 7 / 16 " - UNF</p> <p>Sobrecarga rel. (Alta presión): +65 bar</p>   |

En la Tabla 14 se muestran las especificaciones del instrumento Testo 550. Este instrumento ha sido utilizado en la instalación didáctica de climatización, donde un profesional muestra cómo realizar las medidas y analizar el equipo.

*Tabla 14: Analizador de refrigeración Testo 550.*


*Fuente: TESTO.*

| Analizador de refrigeración testo 550 - Con Bluetooth y mangueras de llenado   |   |
|--|---|
|   | <p>Incluye 3 mangueras, 2 sondas de temperatura tipo pinza y 1 maletín de transporte</p> <p>Cálculo automático del recalentamiento y subenfriamiento para 60 refrigerantes; sin necesidad de cálculos manuales</p> <p>App gratuita: visualización de las mediciones, indicador gráfico de progreso, documentación de los valores de medición y actualizaciones de los refrigerantes</p> <p>Test de estanqueidad con compensación de temperatura</p> |
| <p><b>Medición Temperatura</b><br/> Rango: -50 hasta +150 °C<br/> Exactitud: ±0,5 °C<br/> Resolución: 0,1 °C<br/> Conexión para sonda: 2 x Conectable (NTC)</p> <p><b>Medición de vacío</b><br/> Rango: -1 hasta 0 bar</p> | <p><b>Medición de la presión</b><br/> Rango: -1 hasta 60 bar<br/> Exactitud: ±0,5 % del f.e<br/> Resolución: 0,01 bar<br/> Conexión para sonda: 3 x 7/16" – UNF<br/> Sobrecarga rel. (Alta presión): 65 bar</p>   |

En la Tabla 15 se muestran las especificaciones del Analizador de Refrigeración Testo 570.

*Tabla 15: Analizador de refrigeración Testo 570.*

*Fuente: TESTO.*

| Analizador de refrigeración testo 570-2   |  |
|---|--|
|    | <p>40 refrigerantes memorizados en el analizador, actualizables vía web</p> <p>Cálculo simultáneo del recalentamiento y subenfriamiento en tiempo real</p> <p>Registro de valores de medición hasta 999 horas; valoración y análisis mediante software para PC "EasyKool"</p> <p>Registro de presión, temperatura, corriente y vacío con un solo instrumento</p> |
| <p><b>Medición Temperatura</b><br/> Rango: -50 hasta +150 °C<br/> Exactitud: ±0,5 °C (±1 dígito)<br/> Resolución: 0,1 °C<br/> Conexión sonda: 3 x Conectable (NTC)</p> <p><b>Medición de vacío</b><br/> Rango: -1 hasta 0 bar<br/> Exactitud: 1 % f.e.<br/> Resolución: 1 hPa / 1 mbar / 500 micras</p> | <p><b>Medición de la presión</b><br/> Rango: 50 bar<br/> Exactitud: ±0,5 % f.e. (±1 dígito)<br/> Resolución: 0,01 bar / 0,1 psi<br/> Conexión para sonda: 3 x 7/16" – UNF + 1 x 5/8" – UNF</p> <p>Sobrecarga rel. (Baja presión): 52 bar<br/> Sobrecarga rel. (Alta presión): 52 bar<br/> Baja presión rel.: 50 bar<br/> Alta presión rel.: 50 bar</p>           |

## Anexo D: Comparación entre sonda termopar tipo K y Pt1000



En este anexo se confrontan las mediciones tomadas por la sonda termopar tipo K para medición de temperatura superficial en tuberías y la sonda de temperatura Pt1000 sumergida usando una válvula de equilibrado con el instrumento TA - CBI, dicho instrumento se expone en el [Anexo G](#). El objetivo de esta prueba es analizar los distintos comportamientos según la sonda utilizada y tener en cuenta los resultados obtenidos a la hora de preparar la práctica docente. En la Figura 19 se muestra una imagen tomada durante la ejecución de este ensayo.

La sonda con el termopar está abrazada a la tubería por medio de la cinta de velcro en la que va insertada. Además, se ha recubierto con aislante para intentar evitar la influencia de las condiciones ambiente.

Figura 19: Ensayo de comparación de temperaturas.

La prueba se realiza en la tubería de entrada del fancoil de la nave, el cual es alimentado por la bomba de calor. En la primera Figura 20 se parte de la instalación en reposo encendiéndose en modo calefacción. Como se puede observar la sonda Termopar K sigue la tendencia del Pt1000, aunque siempre permanece alrededor de (1-1,5) °C por debajo. Esto se puede explicar debido a que la sonda termopar toma la medida de temperatura de la pared de la tubería. La temperatura de la pared de la tubería depende de la temperatura del fluido interno que la recorre y de la temperatura ambiente exterior. Por lo tanto, cuando se coloque la sonda se tratará de aislar lo posible.

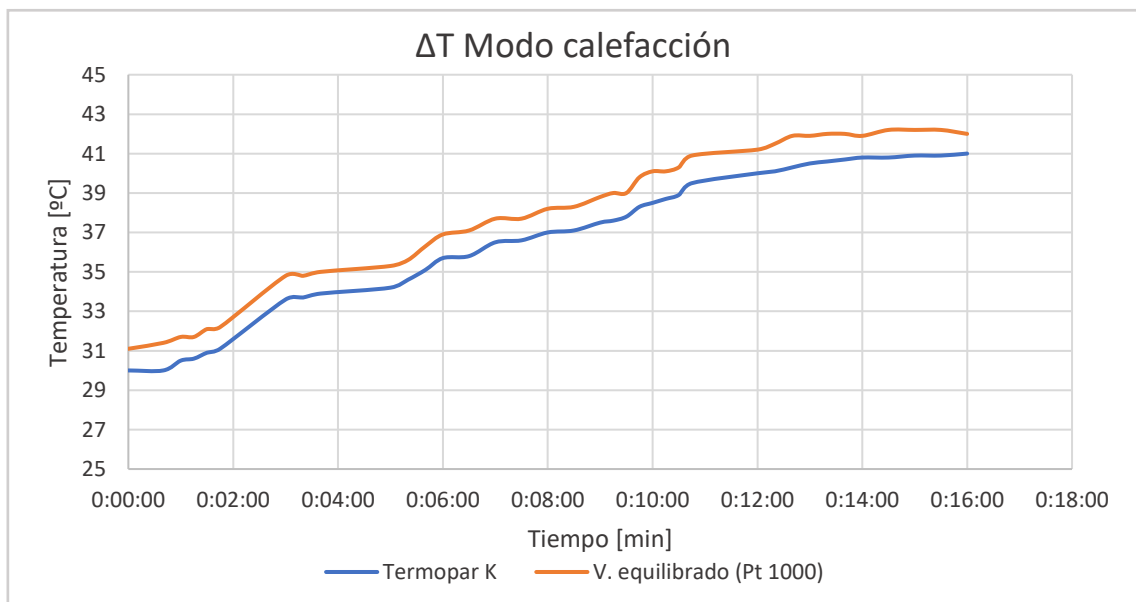
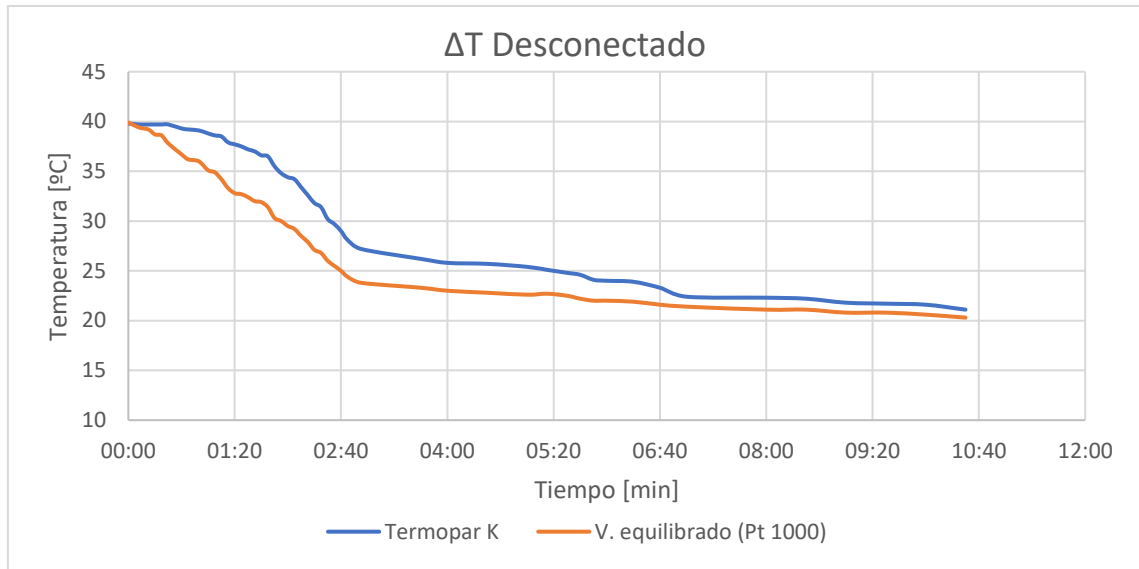


Figura 20: Diferencia de temperatura en modo calefacción.

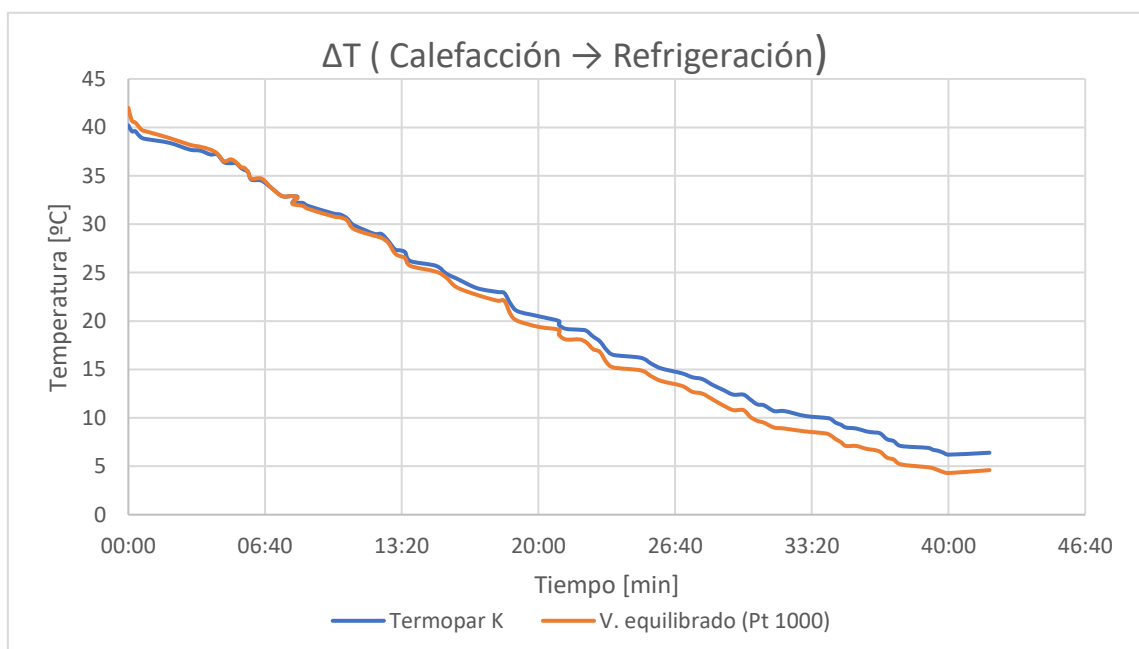
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 21 la bomba de calor se para y el agua que circula por el fancoil se detiene, aunque el fancoil sigue encendido disipando calor. Esto provoca que el agua parada en las tuberías se enfríe poco a poco hasta alcanzar la temperatura ambiente. La sonda pt 1000 registra más rápido los cambios de temperatura, ya que es de tipo sumergido, mientras que el Termopar K tarda más.



*Figura 21: Diferencia de temperatura en desconexión.  
Fuente: Elaboración propia.*

A continuación, en la Figura 22, la instalación se vuelve a poner en marcha en modo frío. El agua parte de unas temperaturas altas debido a que la bomba de calor estaba en modo calefacción. Las temperaturas se van reduciendo hasta conseguir unas buenas condiciones para la refrigeración.



*Figura 22: Diferencia de temperatura en modo refrigeración.  
Fuente: Elaboración propia.*

En conclusión, la sonda Pt1000 proporciona resultados más rápidos y precisos, pero tiene el inconveniente de que es de tipo sumergido y no tiene flexibilidad para medir en cualquier lugar del circuito, ya que necesita la presencia de una válvula de equilibrado. Por otra parte, la sonda termopar permite medir con flexibilidad y proporciona valores representativos. Cuando se utilice esta sonda se recomienda colocar cuidadosamente bien apretada la cinta de velcro para que no entre el aire entre la sonda y la tubería. Después se coloca una capa de coquilla aislante para evitar la influencia de las condiciones exteriores.

## Anexo E: Pruebas con el analizador de refrigeración Testo 550

En la Figura 23 se realiza una prueba con el Analizador de refrigeración Testo 550, en la que un profesional muestra cómo realizar las medidas y analizar el equipo.



*Figura 23: Prueba con el Analizador de refrigeración Testo 550.*

Con la ayuda del técnico frigorista de la empresa Ferrovial se comparan las medidas de los manómetros fijos con las del instrumento Testo 550. En la Figura 24 se observa que las medidas tomadas por el Analizador de refrigeración Testo 550 ( $P_{\text{alta}} = 19,26$  bar y  $P_{\text{baja}} = 3,55$  bar ).



*Figura 24: Medida de presión con Testo 550.*

En la Figura 25 se observa las medidas tomadas por los manómetros fijos de la bomba de calor ( $P_{\text{alta}} = 19,5 \text{ bar}$  y  $P_{\text{baja}} = 3,5 \text{ bar}$ ) en el mismo instante de tiempo que la anterior Figura 24.



*Figura 25: Medida de presión con manómetros del equipo.*

Se hicieron varias medidas en las que se vio la coincidencia como en las fotos que aquí se muestran. Esta prueba sirvió para verificar el correcto funcionamiento de los manómetros y para aprender cómo se realizan estas medidas con el equipo de Testo.



## Anexo F: Instrumento para la medición del caudal

### INSTRUMENTO DE EQUILIBRADO TA - CBI

Las válvulas de equilibrado instaladas en el circuito hidráulico pueden ser utilizadas para medir el caudal a partir de la pérdida de presión producida y de la posición del obturador de la válvula. Con el instrumento TA – CBI del que dispone el centro se puede medir fácilmente la presión diferencial, el caudal y la temperatura. En la Figura 26 se muestra una imagen del instrumento.



Figura 26: Instrumento de equilibrado TA – CBI.

#### **Precisión de medida:**

Presión diferencial: El mayor entre  $\pm 1\%$  del valor mostrado ó  $\pm 0,2$  kPa.

Caudal: Idéntico al de la presión diferencial + tolerancia de la válvula.

Temperatura:  $< 0,2^{\circ}\text{C}$  + tolerancia de la sonda.

#### **Rangos de trabajo:**

Presión total: máx. 2 500 kPa.

Presión diferencial: -9/200 kPa.

Temperatura: -20 a  $+120^{\circ}\text{C}$

A continuación se explica el procedimiento seguido para realizar la medida de caudal en la instalación:

1. Dado que las baterías del instrumento ya no funcionan correctamente, este debe estar conectado a la corriente durante el funcionamiento.
2. Se monta el aparato, conectando al instrumento la unidad sensora y a esta unidad las mangueras con las agujas.
3. Se procede a quitar los tapones de la válvula de equilibrado.
4. Se pulsa el botón del transductor que comunica a las dos cámaras.
5. Se comprueba que la válvula de la manguera esté cerrada y se introduce la aguja de la otra manguera (que no dispone de válvula) en la toma.
6. Se abre ligeramente la válvula de la manguera aun sin conectar y se permite la salida del aire que se encuentra en el transductor.
7. Se introduce la segunda manguera en la toma y ahora se abre totalmente la llave de la manguera.
8. Se enciende el instrumento y se selecciona el parámetro que deseamos medir. El instrumento posee una pantalla en la que se siguen las instrucciones fácilmente.
9. El instrumento solicita una calibración, para ello se pulsa el botón del transductor durante el tiempo que se indica.
10. Para obtener el dato del caudal se debe introducir en el instrumento la información que aparece en pantalla. Primero se introduce el modelo de válvula y el diámetro nominal, y por último, el número de vueltas de cierre. (El número más alejado indica la unidad, y la ruleta interior más grande, el decimal).
11. La pantalla muestra la medida de caudal.

## Anexo G: Instrumentos para la medición del consumo eléctrico



### ANALIZADOR DE REDES PCE-360

Este instrumento sirve para medir la potencia en una o en tres fases. Para ello, su pantalla presenta hasta 10 valores. Se pueden utilizar hasta 4 pinzas de corriente a la vez. Los valores guardados en el aparato pueden ser transmitidos al PC para su posterior valoración. En la Tabla 16 se muestran las especificaciones del instrumento.

*Tabla 16: Analizador de redes PCE-360.*

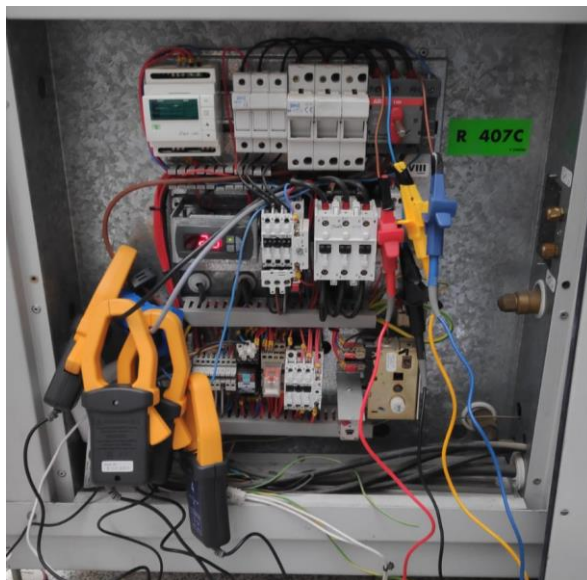
*Fuente: PCE Ibérica.*

|  |                                       |
|--|---------------------------------------|
| <b>AC Medición de tensión</b>          |                                       |
| Rango de medición                      | 50 ... 600,0 V valor efectivo real    |
| Resolución                             | 0,1 V                                 |
| Precisión                              | ±1,5 % valor de medición + 10 dígitos |
| Resistencia de entrada                 | 2 MΩ                                  |
| Protección contra sobrecarga           | 1000 V rms                            |
| Frecuencia nominal de la red eléctrica | 45 ... 66 Hz                          |
| <b>AC Medición de corriente</b>        |                                       |
| Rango de medición                      | 3 ... 999,9 A valor efectivo real     |
| Resolución                             | 0,1 A                                 |
| Precisión (incl. Pinzas de corriente)  | ±1,5 % valor de medición + 15 dígitos |
| Señal de salida pinza de corriente     | 0,35 mV/A                             |
| Protección contra sobrecarga           | 1000 A rms                            |
| Frecuencia nominal de la red eléctrica | 45 ... 66 Hz                          |
| <b>Potencia efectiva P</b>             |                                       |
| Rango de medición                      | 150 W ... 999,9 kW                    |
| Resolución                             | 0,1 kW                                |
| Precisión                              | ±1,5 % valor de medición + 20 dígitos |
| <b>Potencia aparente S</b>             |                                       |
| Rango de medición                      | 150 VA ... 999,9 kVA                  |
| Resolución                             | 0,1 kVA                               |
| Precisión                              | ±1,5 % valor de medición ± 20 dígitos |
| <b>Potencia reactiva Q</b>             |                                       |
| Rango de medición                      | 150 Var ... 999,9 kVar                |
| Resolución                             | 0,1 kVar                              |
| Precisión                              | ±1,5 % valor de medición ±20 dígitos  |
| <b>Factor de potencia (cos Φ)</b>      |                                       |
| Rango de medición                      | 0 ... +1                              |
| Resolución                             | 0,001                                 |
| Precisión                              | ±0,06                                 |
| <b>Ángulo de fase (Φ)</b>              |                                       |
| Rango de medición                      | -90° .... +90°                        |
| Resolución                             | 0,1°                                  |
| Precisión                              | ± 3°                                  |

|   |   |
|---|---|
| <b>Medición de frecuencia (U &gt; 50V)</b>                    |   |
| Rango de medición   | 40 ... 100 Hz   |
| Resolución  | 0,1 Hz  |
| Precisión   | ±0,1 % valor de medición +2 dígitos   |
| Fuente de medición  | Tensión U1 > 10 V   |
| <b>Medición de la rotación de fase (UL &gt; 50V)</b>          |   |
| Rango de tensión de entrada                                   | 3P > 10 V   |
| Sentido normal de la rotación de fase                         |      |
| Sentido inverso de la rotación de fase                        |      |
| Fuente de medición  | U1, U2 y U3   |
| <b>Medición de energía o trabajo efectiva</b>                 |   |
| Rango de medición / Resolución                                | 0 ... 9999 MWh  |
| Precisión   | ±1,5 % valor de medición +20 dígitos  |
| Intervalo del temporizador                                    | 1 segundo   |
| Precisión del temporizador                                    | ±50 ppm (25° C / 77° F)   |
| <b>Medición de energía o trabajo aparente</b>                 |   |
| Rango de medición / Resolución                                | 0 ... 9999 MVAh   |
| Precisión   | ±1,5 % valor de medición +20 dígitos  |
| Intervalo del temporizador                                    | 1 segundo   |
| Precisión del temporizador                                    | ±50 ppm (25° C / 77° F)   |
| <b>Medición de energía o trabajo reactiva</b>                 |   |
| Rango de medición / Resolución                                | 0 ... 9999 MVarh  |
| Precisión   | ±1,5 % valor de medición ±20 dígitos  |
| Intervalo del temporizador                                    | 1 segundo   |
| Precisión del temporizador                                    | ±50 ppm (25° C / 77° F)   |
| <b>Medición de armónicos</b>                                  |   |
| Orden   | 1 ... 63  |
| Precisión   | ±3 % THD  |
| Fuente de medición  | U1, U2, U3 > 10 V I1, I2, I3 > 3 A  |
| <b>Especificaciones técnicas generales</b>                    |   |
| Frecuencia de muestreo  | 1/s   |
| Máxima tensión entre entradas de corriente y neutral.         | 1000 Vrms   |
| Diámetro máximo del cable al utilizar las pinzas de corriente | Ø 42 mm   |
| Pantalla  | LCD de 4 dígitos  |
| Memoria   | 50 registros para almacenamiento manual.<br>Tarjeta SD de 4 GB para registro de datos |
| Alimentación  | 8 x pilas tipo AA de 1,5 V Adaptador: 12 V, 300 mA                                    |
| Duración de las pilas   | Aprox. 50 horas   |
| Desconexión automática  | Aprox. después de 30 min. de inactividad  |
| Condiciones de funcionamiento                                 | 0 ... +40 °C <80 % H.r. (hasta +31 °C) <50 % H.r. (+32 hasta +40 °C)                  |

|                               |  |
|-------------------------------|--|
| Coeficiente de temperatura    | 0,1 * (precisión correspondiente) / °C<br>(< +18 o > +28 °C)                             |
| Condiciones de almacenamiento | -10 ... +60 °C < 70 % H.r., sin condensación   |
| Dimensiones                   | Aparato de medición: 235 x 117 x 54 mm<br>Pinzas de corriente: 193 x 88 x 40 mm          |
| Peso                          | Aparato de medición: aprox. 730 g (pilas incluidas)<br>Pinzas de corriente: aprox. 333 g |

**Utilización:** Se debe desconectar toda la alimentación del equipo para colocar las pinzas del analizador de forma segura. Para medir correctamente los datos hay que tener cuidado a la hora de colocar los cables para no mezclar tensión de una fase con la corriente de otra, ya que los datos no serían reales. Para facilitar la colocación correcta de los cables, las tomas de tensión están coloreadas y las pinzas amperimétricas numeradas. Además, las pinzas amperimétricas deben de colocarse en un sentido determinado. En la Figura 27 se muestra una imagen tomada durante la utilización del Analizador de redes PCE-360.



*Figura 27: Utilización del Analizador de redes PCE-360.*

## MEDIDOR EFERGY E2 CLASSIC

El medidor Efergy E2 Classic es mucho más seguro y fácil de usar, está enfocado al uso doméstico y a la utilización por parte de usuarios no profesionales. En la Figura 28 se puede observar este aparato.



*Figura 28: Medidor Efergy E2 Classic.  
Fuente: EFERGY.*

### Especificaciones:

Frecuencia: 433 MHz

Tiempo de Transmisión: 10sec (predeterminado) / 15sec / 20sec

Rango de tensión del sensor: 110 – 400V

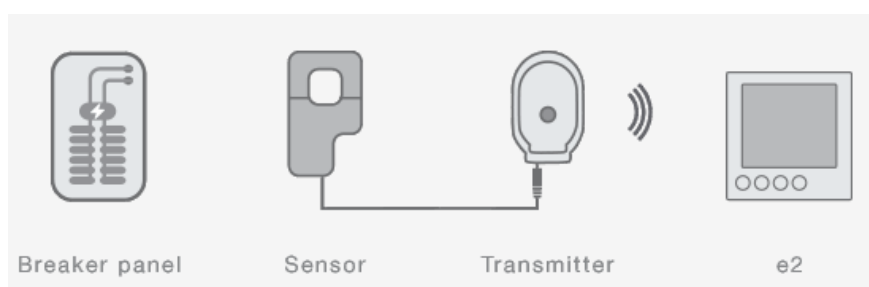
Corriente de medición: 50mA – 90A

Memoria: 256kb

Alimentación de la pantalla: 3 pilas alcalinas AAA

Alimentación del transmisor: 3 pilas alcalinas AA

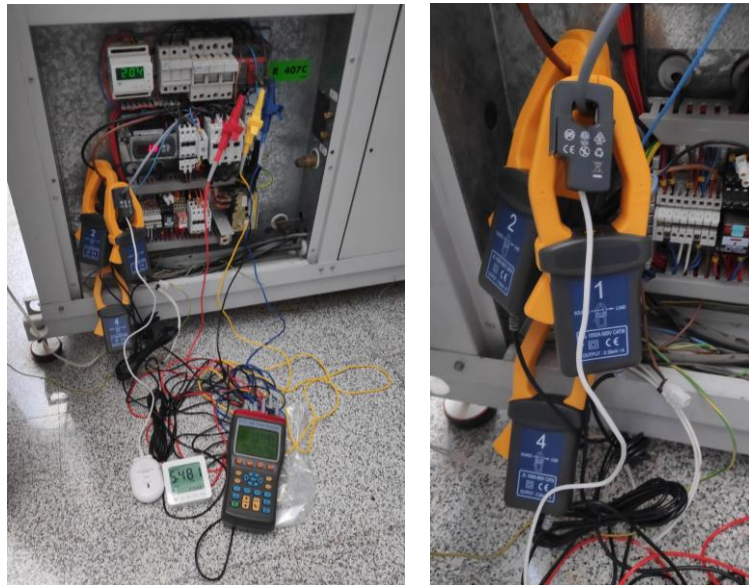
**Utilización:** Se debe colocar la pinza amperimétrica en la fase que se quiera controlar y conectarlo al transmisor. Al transmisor le llegan las medidas y envía esta información inalámbricamente al monitor externo para su procesamiento y visualización. En la Figura 29 se muestra un esquema de funcionamiento.



*Figura 29: Funcionamiento del Medidor Efergy E2 Classic.  
Fuente: EFERGY.*

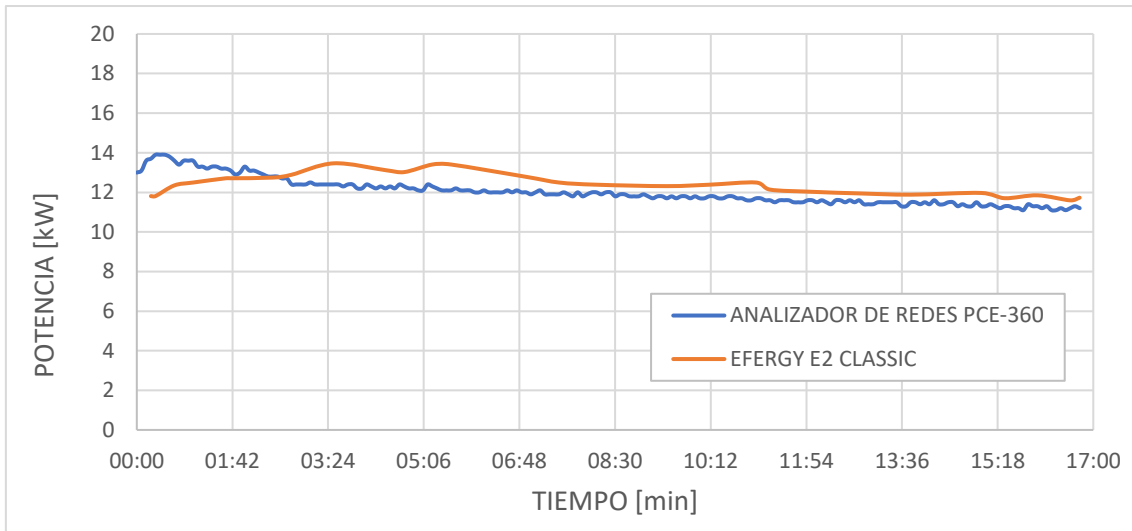
### COMPARACIÓN DE RESULTADOS

El Analizador de Redes PCE-360 proporciona resultados precisos y es el instrumento idóneo para las medidas que se van a realizar. Sin embargo, como se ha comentado antes, el medidor Efergy E2 Classic es mucho más seguro y fácil de utilizar para los alumnos. Por lo tanto, se considera que la utilización del medidor Efergy E2 Classic puede ser una alternativa para el cálculo del consumo eléctrico de forma aproximada. Se realiza una prueba en la que se analiza su funcionamiento comparándolo con el Analizador de Redes PCE – 360. En la Figura 30 se muestra una imagen tomada durante la prueba.



*Figura 30: Prueba de consumo eléctrico.*

En la Figura 31 se muestra la comparación de la potencia activa medida con los dos instrumentos. Para calcular la potencia con el medidor Efergy E2 se han utilizado los datos proporcionados por el Analizador de Redes PCE – 360. Se configura la tensión del medidor Efergy E2 a 225V. El monitor muestra la potencia de una sola fase y sin aplicar ningún factor de potencia. Para obtener de forma aproximada la potencia consumida se multiplica el valor mostrado en el monitor por 3 (debido a las fases) y por el factor de potencia medido en la fase en la que está colocado la pinza amperimétrica del aparato.



*Figura 31: Comparación de medidas de consumo eléctrico.*

*Fuente: Elaboración propia.*

Por lo tanto, viendo los resultados de esta prueba se recomienda la utilización del medidor Efergy E2 para la toma de medidas por los alumnos en la práctica. Por otro lado, en el caso de que se quiera realizar un análisis preciso y detallado de la bomba de calor se recomienda la utilización del analizador de redes PCE – 360.

## Anexo H: Descripción de la instalación didáctica de climatización

El lugar en el que se realizará la práctica docente será la Nave 2 del Departamento de Ingeniería Mecánica, situado en el edificio Betancourt. El taller tiene dos niveles y comprende la planta baja y la planta primera. En la Figura 32 se indica donde está ubicado.



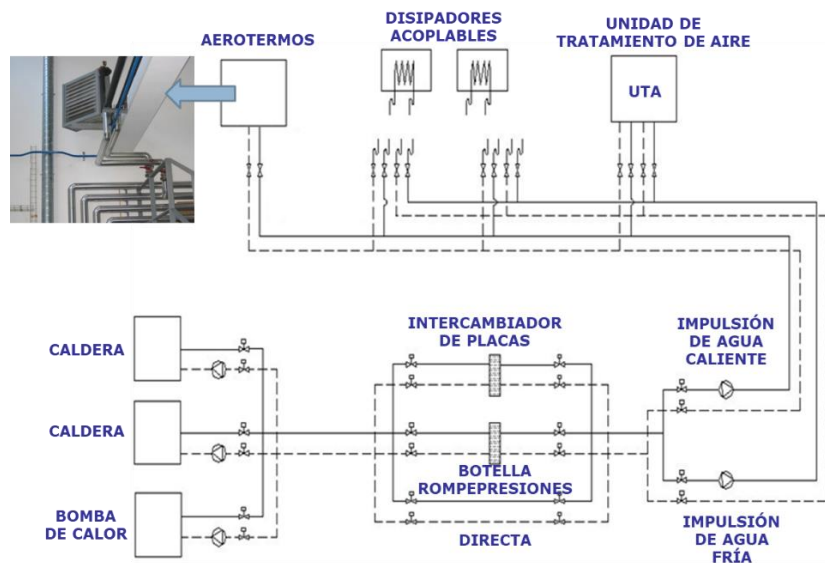
**Planta Baja**

*Figura 32: Plano de la planta baja del edificio Betancourt.  
Fuente: Universidad de Zaragoza.*

En la producción (primario) hay dos calderas y una bomba de calor.

En la zona de distribución (secundario) se dispone para el estudio de una UTA con distintos elementos difusores, además de algunos elementos terminales acoplables como un carrito fancoil o radiador. También se pueden utilizar los aerotermos del centro, aunque únicamente para disipar calor de las calderas.

En cuanto a la conexión entre primario y secundario existen tres posibilidades: intercambiador de placas, botella rompepresiones o conexión directa. En la Figura 33 se muestra un esquema de funcionamiento.



*Figura 33: Esquema de la instalación didáctica de climatización.  
Fuente: Esquema facilitado por B. ZALBA.*





El equipo utilizado para la práctica es una bomba de calor CIATESA ITB-155. Tipo aire – agua. Esto quiere decir que en la batería exterior el refrigerante intercambia calor con el aire y en la batería interior intercambia calor con agua. Toma el aire del interior de la nave y expulsa al exterior a través del conducto de la parte superior. En la Figura 34 se muestra su funcionamiento.

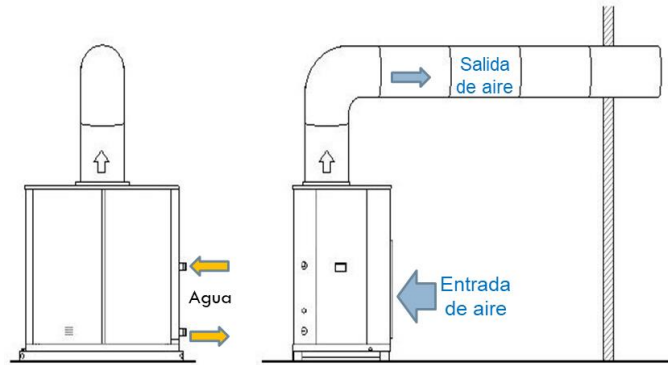


Figura 34: Bomba de calor de la instalación.

Fuente: Esquema facilitado por B. ZALBA.

Una opción de conexión entre el primario y el secundario es el intercambiador de placas. Los fluidos de los circuitos no se mezclan y permite el intercambio de energía sin que haya influencia entre las bombas del primario y del secundario. De esta forma, el equilibrado hidráulico es más sencillo. Con esta opción existe una mayor protección de las calderas y la bomba de calor, ya que se garantiza que funcionan con el caudal de agua para el que han sido diseñados. En la Figura 35 se observa el intercambiador de placas de la nave junto a un esquema de funcionamiento.

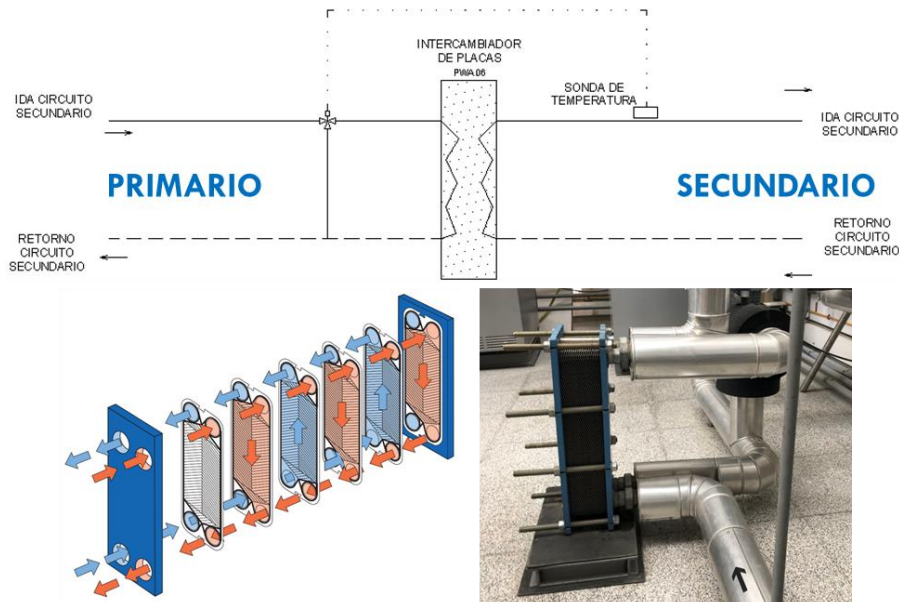


Figura 35: Intercambiador de placas de la instalación.

Fuente: Esquema facilitado por B. ZALBA.

Otra opción de conexión es la botella rompepresiones, o aguja hidráulica, consiste en un cilindro vertical de amplio diámetro (se recomienda que deber ser 3 veces mayor que el de las tuberías). Su principio de funcionamiento consiste en un cortocircuito hidráulico, aislando las bombas del circuito primario y secundario. Aunque el agua pase por todo el circuito la botella rompepresiones equilibra hidráulicamente la instalación evitando que las bombas de ambos circuitos actúen en serie. Su funcionamiento depende de la convección natural, favoreciéndose la estratificación. Solo debe ser utilizada para funcionar en modo calefacción. En la Figura 36 se observa cómo se diseñó, se montó y su acabado final. En la parte superior de la botella hay un purgador y en la parte inferior un desagüe.

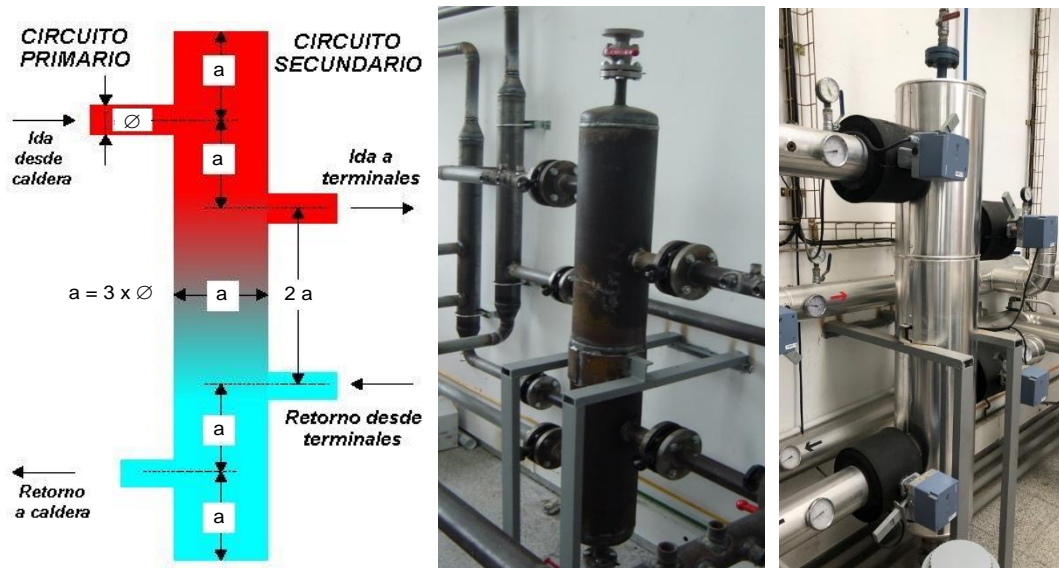


Figura 36: Botella rompepresiones de la instalación.

Fuente: Esquema facilitado por B. ZALBA.

Para la disipación se dispone de una unidad de tratamiento de aire modelo Trox Technik TBS - 25. Para regular el caudal de agua tiene una válvula de tres vías. Cuenta con un único ventilador de hasta 2500 m<sup>3</sup>/h para vencer las pérdidas de carga en los conductos. En la Figura 37 se muestran las distintas partes de la UTA de la instalación.

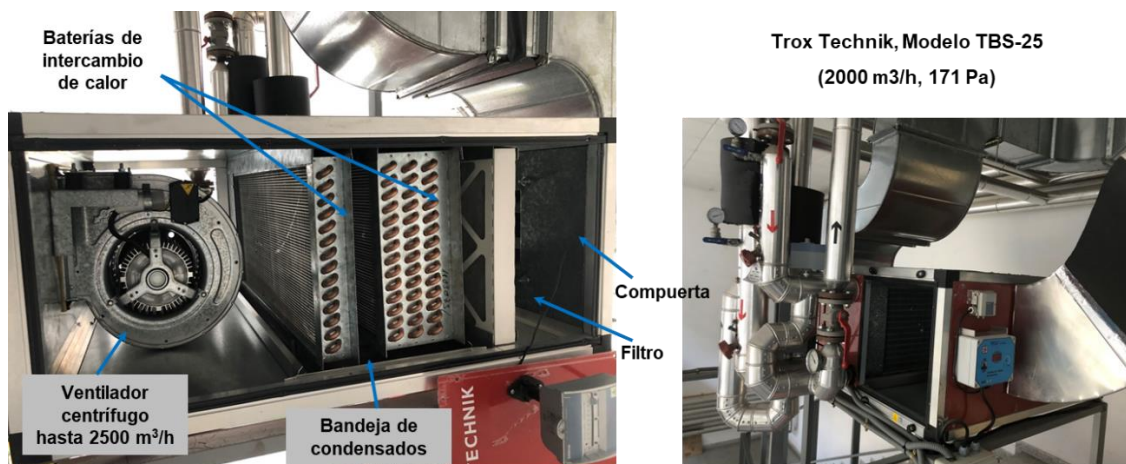


Figura 37: Unidad de tratamiento de aire de la instalación.

Fuente: Esquema facilitado por B. ZALBA.

De la unidad de tratamiento de aire sale un conducto de impulsión que se divide en dos en el falso techo de la habitación del altillo. En esta parte de la instalación se puede experimentar con diferentes tipos de difusores o unidades terminales de impulsión equilibradas mediante compuertas de regulación. En la Figura 38 se pueden ver algunos de los difusores de la nave.



Figura 38: Unidades terminales de impulsión de la instalación.

Fuente: Esquema facilitado por B. ZALBA.

Al altillo se llega con cuatro tuberías (impulsión y retorno para agua fría y caliente) mediante conexiones flexibles se pueden ir conectando diferentes tipos de unidades terminales. Los purgadores están colocados aquí, en el punto más alto del circuito secundario. En la Figura 39 se muestran algunas unidades terminales, el inductor es alimentado de aire desde la UTA para producir el efecto de inducción.

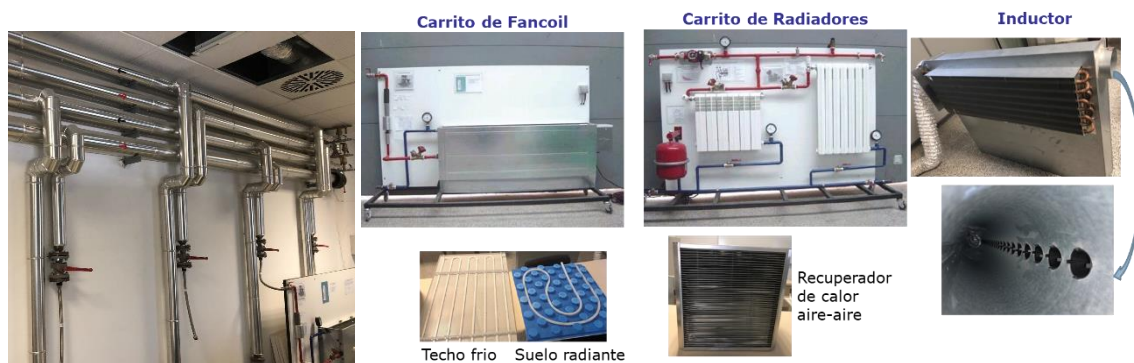


Figura 39: Unidades terminales de la instalación.

Fuente: Esquema facilitado por B. ZALBA.

## Anexo I: Protocolo de puesta en marcha y consideraciones para un funcionamiento correcto del equipo

En la Figura 40 se observa el panel de control desde donde se debe manejar la instalación. A continuación, se explica las posibilidades de configuración.

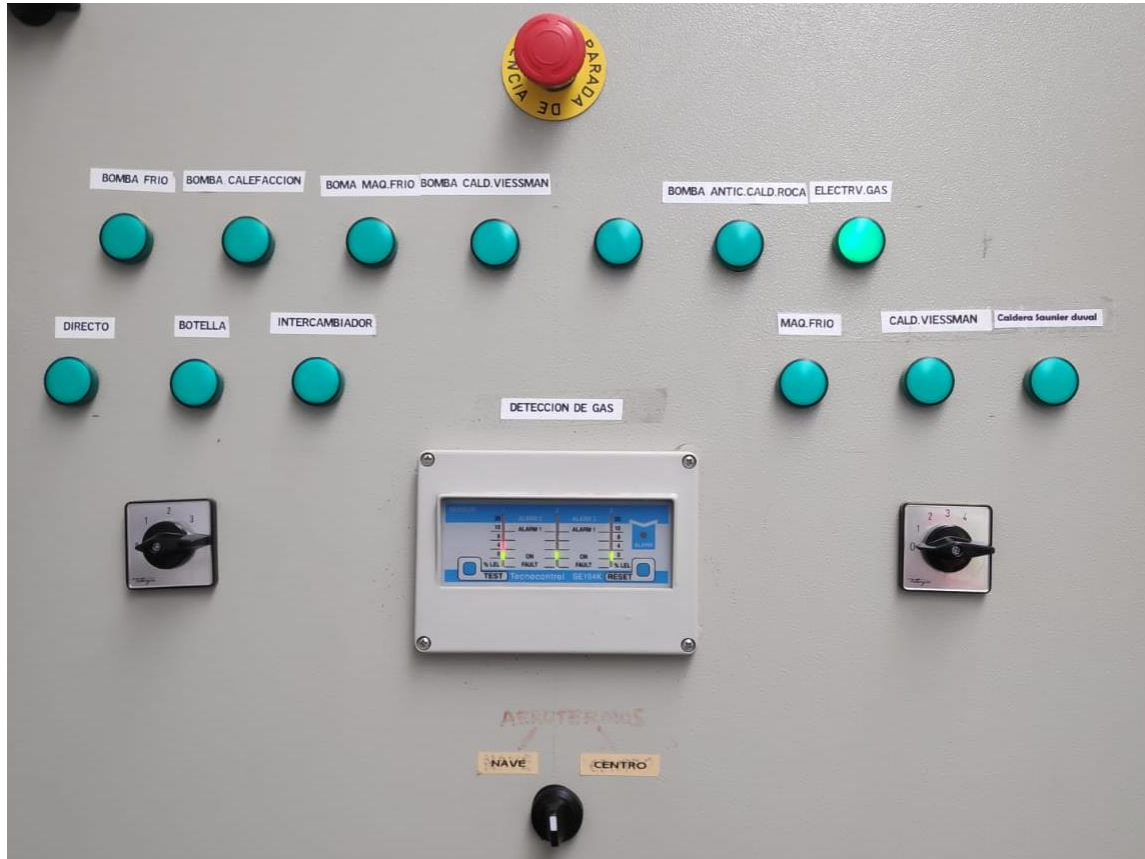


Figura 40: Panel de control de la instalación.

### Encendido:

1. Poner el conmutador en posición NAVE o CENTRO, según se quiera disipar con los elementos de la NAVE (UTA + unidades terminales) o con los aerotermos que pertenecen a la instalación del CENTRO.
2. PRIMARIO-PRODUCCIÓN. Selección del equipo:
  - a) Máquina Frío (Bomba de calor): Seleccionar MODO FRÍO o CALOR.
    - o La selección se hace en la bomba de calor, no en el panel de la Figura 40.
  - b) Caldera Viessmann
  - c) Caldera Saunier Duval
3. MODELO DE CONEXIÓN ENTRE PRIMARIO (PRODUCCIÓN) y SECUNDARIO (DISTRIBUCIÓN). Seleccionar entre las distintas opciones:
  - d) Directo
  - e) Botella rompedpresiones
  - f) Intercambiador de placas

#### 4. SECUNDARIO-DISTRIBUCIÓN. Seleccionar como disipar la energía.

Es una instalación a cuatro tubos. Dos de estos tubos sirven para impulsión y retorno del agua caliente producida por las calderas. Los otros dos tubos transportan el agua tratada en el intercambiador de placas de la bomba de calor, agua caliente si la bomba de calor está en modo calefacción o agua fría si la bomba de calor está en modo refrigeración. Desde el cuadro de control cuando se selecciona alguna de las calderas pone en marcha la bomba que mueve el agua por dos de las tuberías y en cambio si se selecciona la bomba de calor se pone en marcha la otra bomba que hace circular el agua por las otras dos tuberías.

Si se ha seleccionado NAVE se puede disipar energía a través de la UTA y/o unidades terminales de la primera planta como el carrito fancoil o de radiadores. Hay que asegurarse que las llaves de paso están abiertas y que la UTA y unidades terminales se encuentran encendidas. Si se selecciona como equipo primario la bomba de calor se pone en marcha automáticamente la bomba hidráulica que NO conecta con los aerotermos. Por lo tanto, la bomba de calor solo puede disipar con los elementos de la NAVE.

Si se ha seleccionado CENTRO, se debe tener en cuenta los horarios de climatización del centro, ya que los ventiladores de los aerotermos solo funcionan cuando la climatización del centro está encendida. En la siguiente página se puede comprobar horarios: <https://oficinaverde.unizar.es/horarios-de-encendido-de-las-instalaciones-generales-de-frio-y-calor>

En el caso de que la climatización del centro no se vaya a encender el día que se usen los equipos se puede avisar a mantenimiento para que enciendan los ventiladores aerotermos indicando el día y la hora. Hay que asegurarse que las llaves de paso de los aerotermos están abiertas cuando se use este modo.

Aunque la bomba de calor no se esté usando es necesario mantener la alimentación eléctrica de forma continua para alimentar a la resistencia del cárter del compresor y la resistencia antihielo. La tarea de la resistencia de cárter es conservar el aceite del compresor a una mayor temperatura que la que corresponde a la parte más fría de la instalación. De esta manera, si una pequeña cantidad de refrigerante llega y condensa en el cárter vaporizaría rápidamente volviendo de nuevo al circuito por la línea de aspiración. Reduce la migración de refrigerante y asegura una lubricación correcta del compresor. Si la bomba de calor se encontraba sin tensión, antes de la puesta en marcha mantener bajo tensión el equipo durante al menos 4 horas.

Además, se deben evitar los obstáculos que impidan al equipo la aspiración de aire en la batería o dificultar la impulsión del ventilador. Por lo tanto, se recomienda no retirar los paneles exteriores del equipo durante el funcionamiento.

Se debe prestar atención a que el depósito de condensados de la UTA no rebase nivel del tubo de goteo cuando opera en modo frío y el de la bomba de calor en modo calor.

## Anexo J: Características técnicas de la bomba de calor de la práctica docente

A continuación, en la Tabla 17 se muestran las características técnicas de la bomba de calor. El modelo utilizado es el 155, y se emplea refrigerante R407C.

Tabla 17: Características técnicas de la bomba de calor.

Fuente: Manual del fabricante.

| SERIE ITB - RTB - QTB            |   | MODELO     |       |       |       |       |        |        |        |        |        |        |        |
|----------------------------------|---|------------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                                  |   | 30         | 40    | 40M   | 50    | 65    | 80     | 95     | 120    | 155    | 195    | 255    | 315    |
| Potencias Refrigeración (R-22)   | Potencia Frigorífica (1) (kW)           | 6,1        | 8,0   | 8,0   | 9,8   | 12,6  | 16,1   | 18,5   | 23,9   | 30,8   | 37,0   | 47,8   | 61,6   |
|                                  | Potencia Absorbida (3) (kW)             | 2,6        | 3,4   | 3,4   | 4,4   | 5,7   | 7,6    | 8,6    | 11,7   | 14,7   | 17,2   | 23,4   | 29,4   |
|                                  | Rendimiento EER                         | 2,3        | 2,3   | 2,3   | 2,2   | 2,2   | 2,1    | 2,1    | 2,0    | 2,1    | 2,1    | 2,0    | 2,1    |
| Potencias Refrigeración (R-407c) | Potencia Frigorífica (1) (kW)           | --         |       |       |       |       |        | 17,3   | 23,3   | 29,6   | 34,6   | 46,0   | 59,2   |
|                                  | Potencia Absorbida (3) (kW)             | --         |       |       |       |       |        | 8,3    | 11,5   | 14,4   | 16,7   | 22,7   | 29,0   |
|                                  | Rendimiento EER                         | --         |       |       |       |       |        | 2,1    | 2,0    | 2,1    | 2,1    | 2,0    | 2,0    |
| Potencias Calefacción (R-22)     | Potencia Calorífica (2) (kW)            | 6,4        | 8,6   | 8,6   | 10,5  | 14,0  | 18,1   | 20,9   | 27,0   | 34,7   | 41,8   | 54,0   | 69,4   |
|                                  | Potencia Absorbida (3) (kW)             | 2,3        | 3,2   | 3,2   | 4,1   | 5,4   | 7,3    | 8,1    | 10,1   | 13,6   | 16,2   | 20,2   | 27,2   |
|                                  | Rendimiento COP                         | 2,8        | 2,7   | 2,7   | 2,5   | 2,6   | 2,5    | 2,6    | 2,7    | 2,5    | 2,6    | 2,7    | 2,5    |
| Circuito Interior                | Caudal agua nominal (m <sup>3</sup> /h) | 1,1        | 1,4   | 1,4   | 1,7   | 2,2   | 2,8    | 3,2    | 4,1    | 5,3    | 6,4    | 8,2    | 10,6   |
|                                  | Pérdida de carga (m.c.a.)               | 2,3        | 3,6   | 3,6   | 1,7   | 2,7   | 2,8    | 2,1    | 1,6    | 1,5    | 2,5    | 2,8    | 2,8    |
|                                  | Número de circuitos                     | 1          |       |       |       |       |        |        |        |        |        |        |        |
|                                  | Conexión agua entrada                   | 1"         | 1"    | 1"    | 1"    | 1"    | 1 1/4" | 1 1/4" | 1 1/2" | 1 1/2" | 1 1/2" | 2"     | 2"     |
|                                  | Conexión agua salida                    | 1"         | 1"    | 1"    | 1"    | 1"    | 1 1/4" | 1 1/4" | 1 1/2" | 1 1/2" | 1 1/2" | 2"     | 2"     |
| Circuito Exterior                | Caudal aire nominal (m <sup>3</sup> /h) | 2.500      | 3.500 | 3.500 | 4.100 | 4.600 | 6.500  | 7.000  | 10.000 | 12.200 | 14.000 | 20.000 | 24.400 |
|                                  | Presión estát. disp. (mm.c.a)           | 7          | 5     | 5     | 5     | 5     | 7      | 7      | 8      | 11     | 7      | 8      | 11     |
|                                  | Tipo de ventilador                      | CENTRÍFUGO |       |       |       |       |        |        |        |        |        |        |        |
|                                  | Número de circuitos                     | 1          |       |       |       |       |        |        |        |        |        |        |        |
|                                  | Potencia del motor (kW)                 | 0,25       | 0,55  | 0,55  | 0,75  | 1,1   | 1,1    | 1,5    | 2,2    | 2,2    | 2x1,5  | 2x2,2  | 2x2,2  |
|                                  | r.p.m.                                  | 900        | 936   | 936   | 936   | 1088  | 656    | 749    | 690    | 621    | 749    | 690    | 621    |
| Compresor                        | Tipo                                    | HERMÉTICO  |       |       |       |       |        |        |        |        |        |        |        |
|                                  | Número                                  | 1          |       |       |       |       |        | 2      |        |        |        |        |        |
|                                  | Potencia (CV)                           | 2,3        | 3,5   | 3,5   | 4     | 5     | 6,5    | 7,5    | 10     | 12,5   | 7,5    | 10     | 12,5   |
|                                  | Número circuitos                        | 1          |       |       |       |       |        |        |        |        |        |        |        |
| Refrigerante (R-22)              | Carga RTB (kg)                          | 1,5        | 1,7   | 1,7   | 2,0   | 2,4   | 3,9    | 4,5    | 5,5    | 6,4    | 9,4    | 12,1   | 16,3   |
|                                  | Carga ITB (kg)                          | 2,0        | 2,8   | 2,8   | 4,0   | 5,2   | 7,5    | 10,0   | 13,6   | 15,0   | 18,0   | 24,0   | 26,0   |
|                                  | Carga QTB (kg)                          | 0,7        | 0,8   | 0,8   | 1,3   | 1,6   | 2,5    | 2,6    | 3,1    | 3,8    | 6,9    | 8,0    | 9,4    |
| Peso                             | RTB - QTB (kg)                          | 123        | 180   | 180   | 187   | 216   | 245    | 295    | 328    | 370    | 502    | 600    | 695    |
|                                  | ITB (kg)                                | 126        | 184   | 184   | 192   | 221   | 250    | 303    | 340    | 382    | 516    | 616    | 708    |

(1) Potencia frigorífica dada para unas condiciones de temperatura exterior 35°C y régimen de agua fría 12/7 °C.

(2) Potencia calorífica dada para unas condiciones de temperatura exterior 6 °C BH y temperatura salida caliente 50 °C.

(3) Potencia total absorbida por compresor y motoventilador en las condiciones anteriores.

## Anexo K: Elementos que conforman la bomba de calor de la práctica docente

**Bomba de calor aire-agua reversible CIATESA serie ITB 155:** Equipo reversible para producción de agua caliente y fría funcionando a temperaturas exteriores negativas (superiores a  $-7^{\circ}\text{C}$ ) con desescarche por inversión de ciclo. Es un equipo compacto equipado con ventilador centrífugo e intercambiador de placas. Concebido para la instalación interior, aunque también puede situarse en exterior [38].

**Compresor:** Hay varios tipos de compresores, en este caso es hermético de tipo pistón, también se les llama tipo alternativo, pertenece a la categoría de compresores de desplazamiento positivo o flujo intermitente. Tiene protección interna, montados sobre amortiguadores y con resistencia de cárter. Esta máquina admite el gas, lo comprime y lo descarga a una mayor presión y temperatura. Es el elemento más importante del circuito [38]. En la Figura 41 se puede observar las especificaciones del compresor del equipo.



Figura 41: Etiqueta del compresor de la bomba de calor.

En las Figura 42 y Figura 43 se muestran los distintos componentes de un compresor hermético de tipo alternativo.

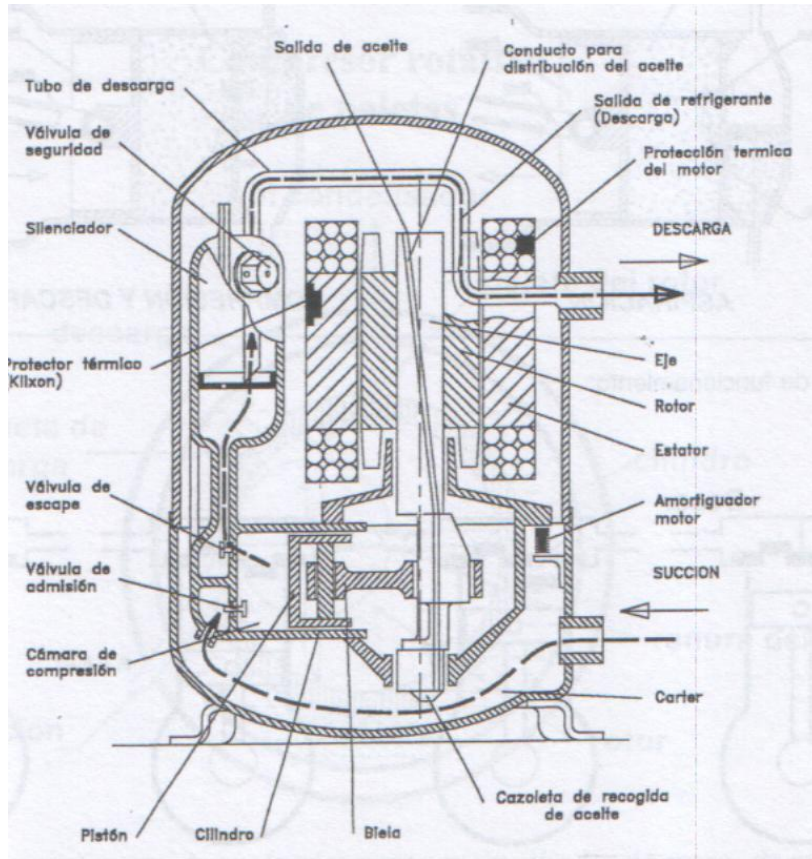


Figura 42: Interior de un compresor.  
Fuente: AIREACONDICIONADOYCLIMA.

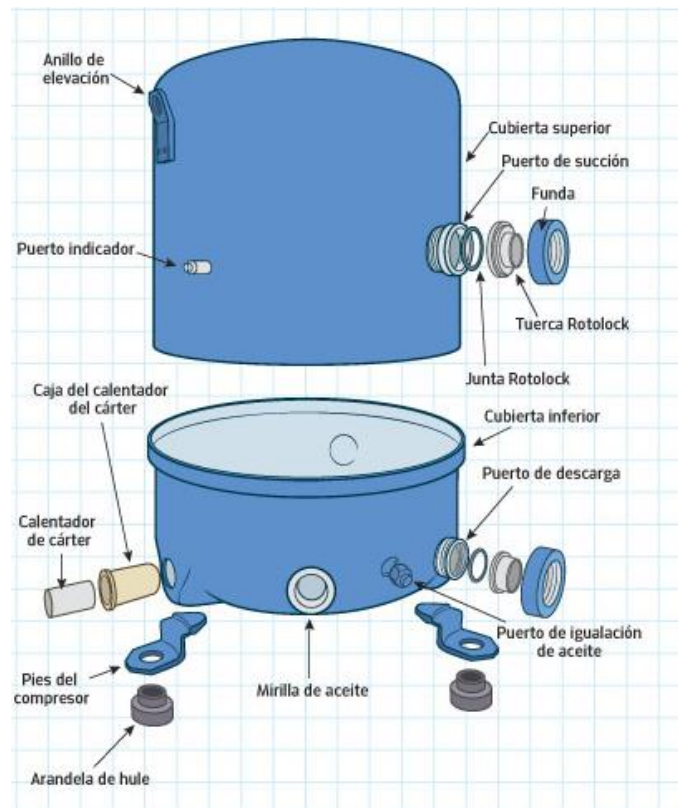


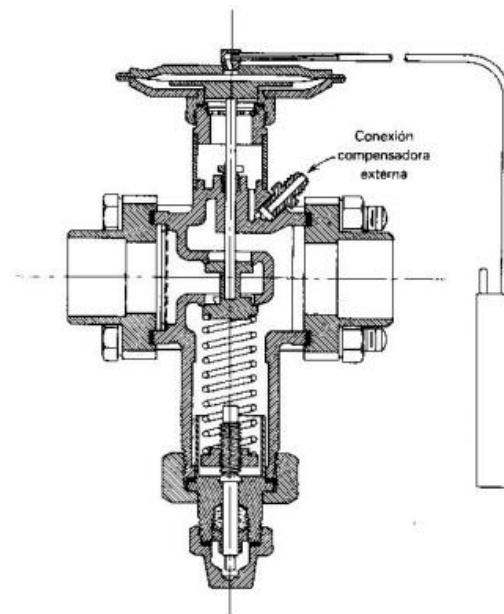
Figura 43: Carcasa de un compresor.  
Fuente: OGRADOS.



Intercambiador interior: Intercambiador de placas de acero inoxidable soldadas, aislado térmicamente. Se produce el intercambio de energía entre el circuito principal de refrigerante y el circuito secundario de agua. En modo calefacción realizará la labor de condensador y en modo frío la de evaporador [38].

Intercambiador exterior: Batería de aire con ventilador centrífugo, tubos de cobre y aletas de aluminio con bandeja de recogida de condensados. Se produce el intercambio de energía entre el refrigerante y el aire. En modo calefacción realizará la función de evaporador y en modo frío la de condensador [38].

Válvula de expansión termostática con igualación externa: Las válvulas de expansión generan la caída de presión necesaria entre el condensador y el evaporador. Su función es la de controlar el caudal de refrigerante en estado líquido que entra en el evaporador y la de sostener un sobrecalentamiento constante en la entrada del compresor. Para controlar la válvula se dispone de un bulbo sensor de temperatura que se sitúa adosado en la tubería de salida del evaporador y se encarga de cerrarla o abrirla para así disminuir o aumentar la entrada de refrigerante y su evaporación dentro del evaporador. La válvula de expansión termostática con igualación externa es la solución ante la pérdida de carga que experimenta el refrigerante en el interior del evaporador. Este problema es habitual en instalaciones frigoríficas [39]. En la Figura 44 se observa el interior de una de estas válvulas.



*Figura 44: Válvula de expansión termostática compensada externamente.*

*Fuente: DOSSAT, R. Principios de refrigeración.*

Válvula de inversión cuatro vías: Es un elemento necesario para los equipos con inversión de ciclo. El ciclo de inversión se inicia mediante una pequeña válvula solenoide que controla el movimiento de un deslizador cambiando el sentido de circulación del refrigerante. En modo calor, al salir del compresor, el refrigerante se dirigirá al intercambiador interior, mientras que en modo frío se irá al intercambiador exterior [40].

**Silenciador de descarga:** Su función es la de reducir la amplitud de las pulsaciones de los gases de descarga en los compresores. Son la alternativa más eficiente contra los ruidos de funcionamiento en las instalaciones de refrigeración [41]. En la Figura 45, la etiqueta amarilla indica algunos de los refrigerantes con los que se puede utilizar la unidad y la pegatina de “TOP” señala en que posición se debe colocar.



Figura 45: Silenciador de descarga de la bomba de calor.

**Válvula de retención:** También llamada válvula antirretorno, está destinada a impedir una inversión de la circulación. La circulación del líquido en el sentido deseado abre la válvula; al invertirse la circulación, se cierra. En la Figura 46 se muestra un dibujo de su funcionamiento.

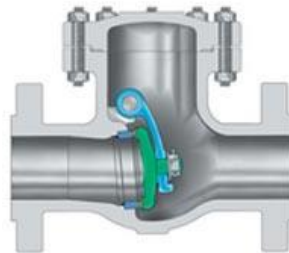


Figura 46: Válvula de retención.  
Fuente: Catálogo de FERGUSON.

**Depósito de líquido:** El depósito de líquido está situado entre el condensador y la válvula de expansión. Su función es la de garantizar la llegada de líquido a la válvula de expansión y regular su adecuada cantidad. La salida del depósito está ubicada en el fondo para asegurar que el fluido se encuentra en fase líquida. Además, en caso de que sean necesarias operaciones de mantenimiento, el depósito de líquido permite almacenar el gas refrigerante de la instalación [27]. En la Figura 47 se enseña el depósito de líquido de la bomba de calor objeto de este Trabajo Fin de Grado.



Figura 47: Depósito de líquido de la bomba de calor.

Filtro deshidratador: o filtro secador antiácido se encarga de la filtración y deshidratación de los gases refrigerantes a su paso por él. También neutraliza los ácidos originados por la conducción del líquido en las instalaciones de refrigeración y de acondicionamiento de aire [42]. En la Figura 48 se puede observar las especificaciones del filtro deshidratador del equipo.



Figura 48: Etiqueta del filtro deshidratador de la bomba de calor.

El rendimiento de los filtros depende de la composición del deshidratante y de la velocidad a la que el refrigerante atraviesa el filtro. Se procura que el filtro sea grande para que la pérdida de carga sea pequeña. La composición de los filtros suele ser gel de sílice, alúmina activada o tamiz molecular. Cuando se realice el montaje se tendrá en cuenta la dirección del paso de gas refrigerante, el sentido de flujo se especifica en el cuerpo del filtro mediante una flecha [41]. En el caso del filtro se la bomba de calor de la práctica se indica con una flecha en ambos sentidos, ya que el flujo pasa en las dos direcciones. En la Figura 49 se muestra el interior de un filtro deshidratador.



Figura 49: Interior de un filtro deshidratador.

Fuente: CARLY.

Obús de carga: A través de esta unidad se realizará la carga de refrigerante en el equipo.

Presostato: Abre o cierra el circuito eléctrico dependiendo de la lectura de presión del refrigerante. La presión del fluido actúa sobre un pistón interno haciendo que se mueva hasta que se unen dos contactos. Cuando la presión baja, un resorte empuja el pistón en sentido contrario y los contactos se separan [41].

- De baja presión: Su función es la de regular el funcionamiento del compresor.
- De alta presión: Se emplea como un elemento de seguridad, tiene la función de parar el equipo cuando la presión es demasiado alta.

En el [Anexo L](#) se pueden observar los elementos que conforman la bomba de calor utilizados durante su funcionamiento.

## Anexo L: Funcionamiento de la bomba de calor de la práctica docente

Los Anexos K y L ha servido para aprender sobre el funcionamiento experimental de la bomba de calor. Además, son útiles para que un profesor que quiere hacer una práctica con la bomba de calor y no conozca su funcionamiento detallado, se familiarice con el equipo de forma rápida. Si se quiere, también se puede facilitar esta información a los estudiantes.

A la hora de representar el funcionamiento y los procesos que ocurren en este equipo, para facilitar la comprensión, se han utilizado una serie de indicadores con distintos colores que indican las fases en las que se encuentra el refrigerante.

**Vapor sobrecalentado**

**Líquido subenfriado**

**Líquido saturado + vapor saturado**

Se comienza la explicación por el compresor, es el elemento más importante del circuito, comprime y descarga el refrigerante a una mayor presión y temperatura. El fluido entra y sale del compresor como vapor sobrecalentado. El conducto de entrada es el de arriba y el de salida el de abajo, como se puede advertir en la Figura 50.

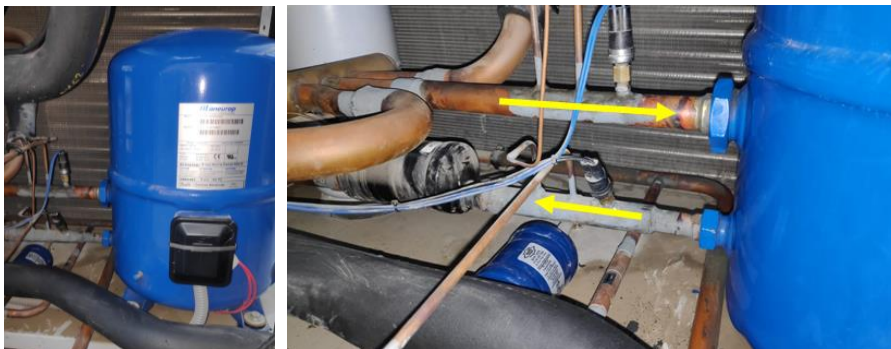


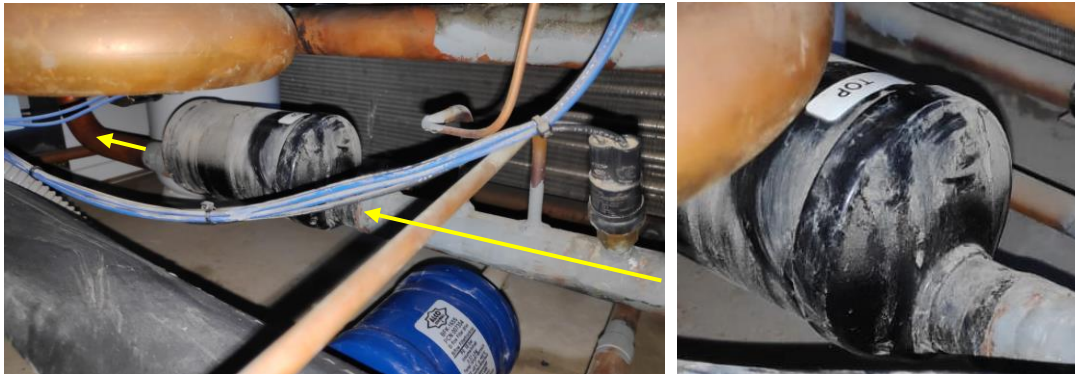
Figura 50: Tuberías de entrada y salida del compresor.

Además, en esta imagen se pueden observar los presostatos de baja y de alta, situados a la entrada y salida respectivamente. Estos presostatos abren o cierran el circuito eléctrico dependiendo de la lectura de presión del fluido. Al lado de los presostatos se observa, en la Figura 51, la toma de los manómetros mecánicos de la instalación, que se utilizarán durante la práctica docente.



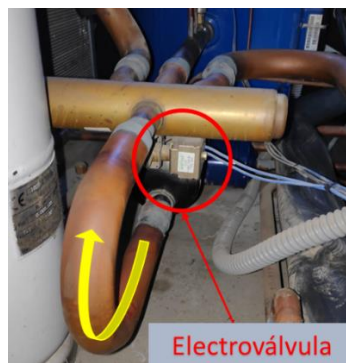
Figura 51: Presostatos y toma de los manómetros.

Una vez que el fluido sale del compresor pasa directamente al silenciador de descarga. Su función es la de reducir el ruido originado por las pulsaciones de gas en la línea de descarga del compresor. El paso del refrigerante se indica en la Figura 52.



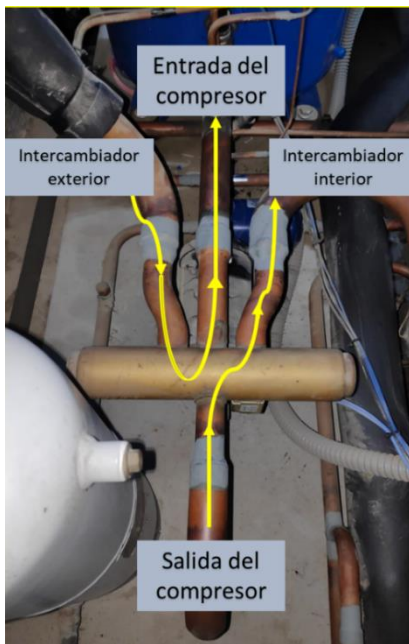
*Figura 52: Silenciador de descarga.*

Una vez que el refrigerante pasa por el filtro de descarga entra a la válvula de 4 vías. El equipo funcionará en modo calor o frío dependiendo de la posición en la que se encuentre configurado. Esta posición se controla desde el panel eléctrico a través de una electroválvula, o válvula de solenoide. En la Figura 53 se puede observar este dispositivo.



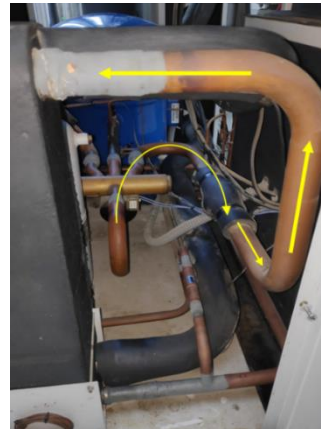
*Figura 53: Entrada del refrigerante a la válvula de 4 vías.*

## **MODO CALOR**



*Figura 54: Válvula de 4 vías en modo calor.*

Cuando se opera en modo calor el refrigerante que sale del compresor se conduce al intercambiador interior. Este proceso se puede ver en las Figuras 54 y 55.



*Figura 55: Salida del refrigerante de la válvula de 4 vías en modo calor.*

El intercambiador interior realiza la función de condensador, el circuito principal de refrigerante intercambia energía con el circuito de agua. Como se indica en la Figura 56, al pasar por el intercambiador el agua aumenta la temperatura y es distribuido por el circuito secundario para la disipación en los distintos equipos de la nave.



*Figura 56: Intercambiador interior en modo calor.*

El refrigerante entra al condensador como vapor sobrecalentado y sale como líquido subenfriado, además como se puede percibir en la Figura 56 el diámetro del conducto de salida es menor. A continuación, el fluido pasa a través de una válvula de retención o antirretorno y se dirige hacia el depósito de líquido (ver Figura 57).



*Figura 57: Salida del refrigerante del intercambiador interior en modo calor.*

El depósito de líquido asegura que, tras su paso por él, el refrigerante circulará en forma líquida. Debido a su diseño el refrigerante, en estado líquido, se encuentra en el fondo e irá saliendo a través de un orificio situado en la base. Este recorrido se señala en la Figura 58.



*Figura 58: Paso del refrigerante por el depósito de líquido en modo calor.*

Una vez que sale del depósito de líquido el refrigerante atraviesa el filtro deshidratador (ver Figura 59), que se encarga de la filtración y deshidratación del refrigerante, además de la eliminación de contaminantes que pueda haber en el sistema.



*Figura 59: Paso del refrigerante por el filtro deshidratador en modo calor.*



A continuación, como se indica en la Figura 60, el líquido subenfriado entra a la válvula de expansión termostática con igualación externa, que genera la caída de presión necesaria antes de entrar al evaporador. Para controlar la válvula se dispone de un bulbo sensor de temperatura, situado en la tubería de salida del evaporador, que se encarga de cerrarla o abrirla. Se utiliza una válvula de expansión con igualación externa para mitigar la pérdida de carga que experimenta el refrigerante en el interior del evaporador.



*Figura 60: Válvula de expansión del modo calor.*

El refrigerante sale de la válvula de expansión como una mezcla de líquido + vapor saturado que se dirige al intercambiador exterior, que hará la función de evaporador. En la Figura 61 se muestra el recorrido seguido.



*Figura 61: Entrada del refrigerante al intercambiador exterior modo calor.*

En el intercambiador exterior el refrigerante intercambiará energía con el aire, el proceso se indica en la Figura 62. Este aire se tomará de la nave a través de unas rejillas, gracias al ventilador interior de la bomba de calor, y atravesará la batería con refrigerante. Posteriormente, el aire frío será expulsado por un conducto al exterior. El refrigerante aumenta su entalpía y sale del intercambiador como vapor sobrecalentado. El fluido prosigue por la tubería hasta la válvula de cuatro vías, donde es conducido hacia el compresor y el ciclo comienza de nuevo.

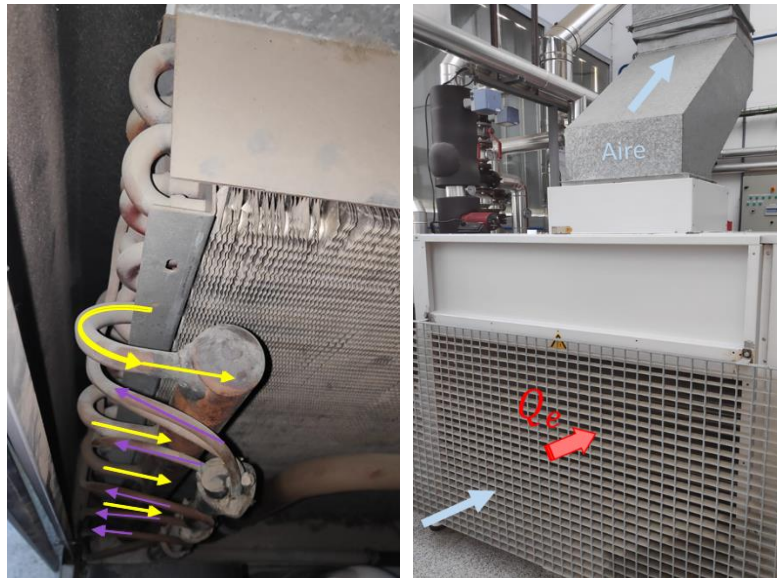


Figura 62: Intercambiador exterior en modo calor.

### **MODO FRÍO**

Cuando se opera en modo frío el refrigerante sale del compresor como vapor sobrecalentado y se dirige al intercambiador exterior, como se puede ver en la Figura 63.

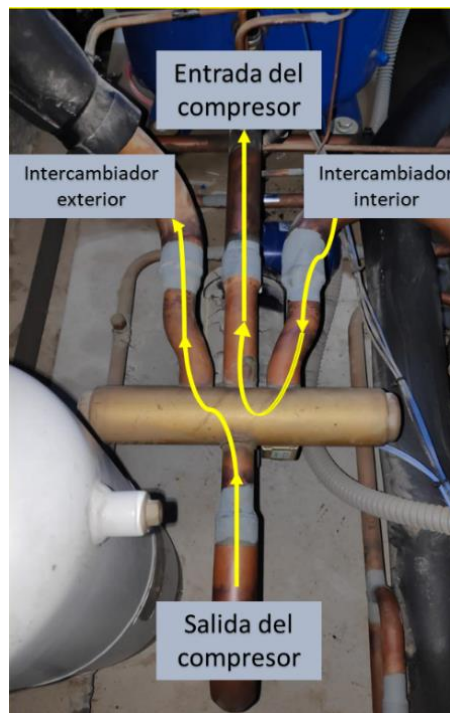


Figura 63: Válvula de 4 vías en modo frío.

El vapor sobrecalentado entra al intercambiador exterior, que hace la función de condensador. En este proceso se intercambia energía con el aire, que sale al exterior por el conducto de evacuación a mayor temperatura. Este proceso se expone en la Figura 64.

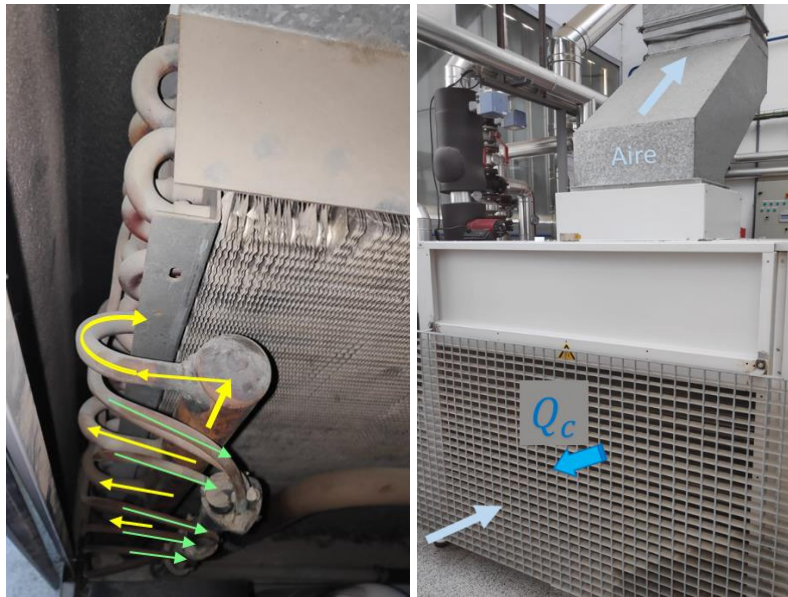


Figura 64: Intercambiador exterior en modo frío.

El refrigerante sale del intercambiador como líquido subenfriado y avanza pasando por la válvula de retención correspondiente. Después, pasa por el filtro de deshidratación hasta llegar al depósito de líquido. Este recorrido se señala en la Figura 65.

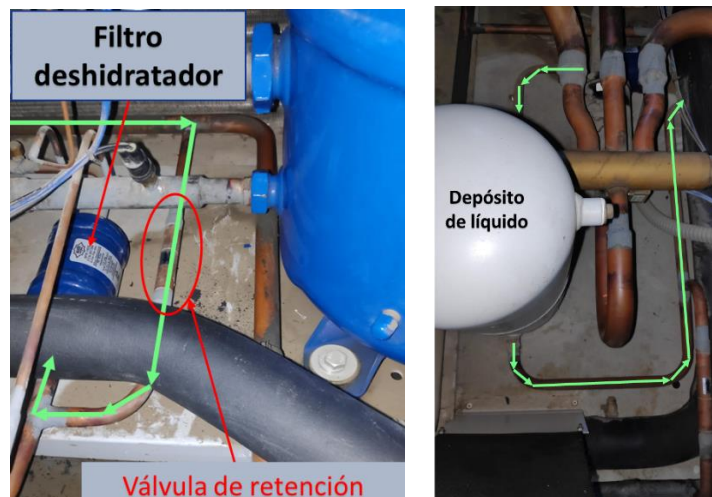


Figura 65: Paso del refrigerante por el filtro deshidratador en modo frío.

Como se observa en la Figura 66, al salir del depósito de líquido el refrigerante se dirige hacia la válvula de expansión termostática con igualación externa generándose la caída de presión necesaria antes de entrar al evaporador.



*Figura 66: Válvula de expansión del modo frío.*

El fluido sale de la válvula como mezcla de líquido + vapor saturado y entra al intercambiador interior, que realiza la función de evaporador (ver Figura 67). El circuito de agua intercambia energía con el refrigerante y sale a una menor temperatura.



*Figura 67: Intercambiador interior en modo frío.*

Por último, el refrigerante sale del intercambiador y prosigue por la tubería hasta la válvula de cuatro vías, donde es conducido hacia el compresor y el ciclo comienza de nuevo.

## Anexo M: Incidentes durante el funcionamiento

Durante la puesta en marcha de la instalación de la Nave 2 para la realización de las pruebas se tuvo que realizar una serie de modificaciones respecto a la configuración inicial.

Debido a la falta de uso o a la utilización de la instalación con unas configuraciones diferentes, no había sido necesario hasta ahora la realización de estos cambios.

Estas modificaciones se realizaron en la UTA (Unidad de Tratamiento de Aire) y los problemas que se encontraron tienen que ver con el intercambio de energía en las baterías y la condensación de agua producida en su interior.

### **La UTA no disipa el calor/frío que llega desde la bomba de calor**

Al poner en funcionamiento la bomba de calor y encender la UTA y el fancoil (unidad terminal del atillo) se comprobó que el fancoil funcionaba correctamente, pero que la UTA no conseguía intercambiar energía con el aire. Se verificó que la UTA estaba correctamente encendida y con el máximo caudal de impulsión posible. También se comprobó que las llaves de paso estuvieran abiertas

Se observó que el actuador SIEMENS SQS 65 de la válvula motorizada (ver Figura 68) indicaba que estaba completamente cerrada y, por tanto, el agua caliente/fría no pasaba por las baterías.



*Figura 68: Conducto de entrada de la UTA.*

Para solucionar este problema se debía configurar correctamente el controlador electrónico SIEMENS RLM162 que se muestra en la Figura 69.



Figura 69: Controlador SIEMENS RLM162.

Tras estudiar el manual de este dispositivo se realizaron las modificaciones adecuadas, la válvula motorizada se abrió y la UTA empezó a funcionar de forma satisfactoria. Para facilitar el manejo a futuros usuarios y posibles nuevas modificaciones, se dejó el manual de funcionamiento junto al dispositivo.

Con el instrumento Testo 480 se comprobó que la temperatura con el que el aire salía de las unidades térmicas de impulsión (UTIs) era la adecuada y se estaba produciendo un intercambio de energía, sin embargo, este intercambio de energía producido en las baterías de la UTA era muy bajo. No había demasiada diferencia de temperatura del agua a la entrada y salida de la UTA.

Utilizando la sonda tipo hélice del Testo 480 se determinó que el caudal de aire que salía de las unidades de impulsión era muy reducido en un gran número de ellos y probablemente, esta era la razón por la que la diferencia de temperatura era tan pequeña.

Para aumentar el flujo de aire se utilizó una escalera y se examinaron las compuertas de regulación de las unidades de impulsión (ver Figura 70). Se averiguó que muchas de las compuertas de regulación estaban cerradas o al mínimo y se procedió a su apertura. Tras esta modificación el aire que atravesaba la batería de la UTA aumentó, produciéndose un mayor intercambio de energía y aumentando la diferencia de temperatura a la entrada y salida de la UTA.



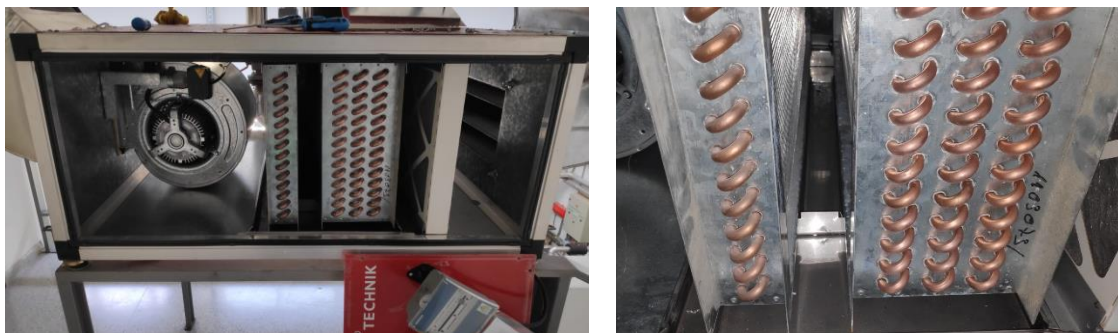
Figura 70: Compuertas de regulación.

### Necesidad de un desagüe

Tras conseguir que en la UTA hubiera intercambio de calor, se vuelve a poner la bomba de calor en funcionamiento. Se configura de forma que disipe con la UTA y el fancoil, consiguiendo que la bomba de calor funcione correctamente y de forma ininterrumpida.

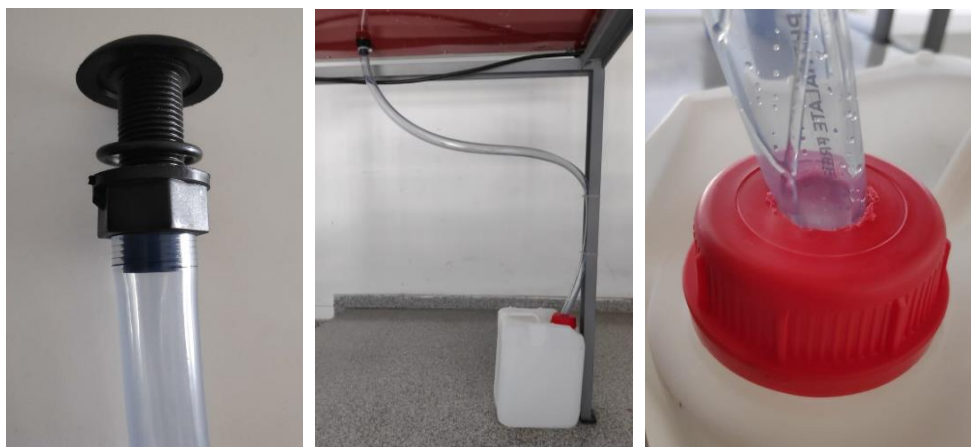
Después de un tiempo en marcha se percibe que la UTA gotea y pierde agua, por lo que se apaga la bomba de calor, la UTA y se cierran las llaves de paso por precaución.

Para encontrar la avería se abrió el equipo y se observó una gran cantidad de agua acumulada en la bandeja de debajo de las baterías (ver Figura 71), por lo que se pensó que podía ser por la condensación de agua.



*Figura 71: Interior de la UTA.*

Tras hacer algunos cálculos con el ábaco psicrométrico se llegó a la conclusión de que el problema es que este climatizador debería tener una salida para desagüe. Para continuar con la elaboración de este proyecto se procedió a la compra de los materiales pertinentes y a la modificación del equipo. En la Figura 72 se muestran los materiales comprados y su colocación. El desagüe debía colocarse con un sifón o de forma que se hiciera vacío en la garrafa que hace de depósito.



*Figura 72: Instalación de un desagüe en la UTA.*

Se observó que la bomba de calor, aunque no generaba la misma cantidad de condensados, también necesitaba un desagüe (ver Figura 73). Por lo tanto, se procedió a una solución temporal mientras se realizó este proyecto.




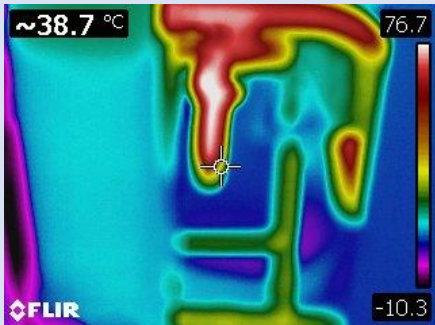


*Figura 73: Instalación de un desagüe en la bomba de calor.*



## Anexo N: Fichas para la práctica docente

A continuación, se presentan las fichas docentes preparadas para la elaboración de un guion de prácticas. Para facilitar la comprensión todas ellas siguen una misma estructura.

| IDENTIFICAR PARTES DEL EQUIPO   |   |
|---|---|
| <b>OBJETIVOS DOCENTES:</b><br>Después de realizar esta actividad el alumno será capaz de: <ul style="list-style-type: none"><li>- Entender el funcionamiento de una bomba de calor y de sus componentes.</li><li>- Saber interpretar termografías.</li></ul>  |   |
| <b>Antes de empezar...</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- Repasar los conceptos básicos de la bomba de calor.</li><li>- Comprender el cuadro resumen coloreado de la bomba de calor.</li></ul>   |   |
| <b>Enunciado</b><br><b>a)</b> En las siguientes imágenes (ver Figura 74) se observa una termografía del compresor en funcionamiento. ¿Sabrías indicar cuál es la entrada y salida del compresor? ¿Por qué?  |   |
|  <p>Termografía del compresor. Se muestra una imagen de termografía con una escala de temperatura que va de -12.5 °C a 81.9 °C. Una zona roja indica una temperatura alta, y una zona azul indica una temperatura baja. Una flecha roja apunta a una zona específica.</p> |  <p>Fotografía del compresor. Se muestra un compresor azul con una zona roja que indica una temperatura alta. Una flecha roja apunta a una zona específica.</p>  |
| <i>Figura 74: Termografía del compresor.</i>  |   |
| <b>b)</b> En las siguientes imágenes (ver Figura 75) se muestra el Intercambiador interior en modo calefacción. ¿Sabrías indicar cuál es la entrada y salida en el circuito del refrigerante? ¿Por qué?   |   |
|  <p>Fotografía del intercambiador interior. Se muestra un intercambiador interior con tuberías y un compresor.</p>   |  <p>Termografía del intercambiador interior. Se muestra una imagen de termografía con una escala de temperatura que va de ~38.7 °C a 76.7 °C. Una zona roja indica una temperatura alta, y una zona azul indica una temperatura baja.</p> |
| <i>Figura 75: Termografía del intercambiador interior.</i>  |   |

c) En las siguientes imágenes (ver Figura 76) se observa la válvula de 4 vías, primero parada y después en funcionamiento. Basándote en la termografía y en las conexiones con las distintas partes del equipo ¿en qué modo está funcionando la instalación, calefacción o refrigeración? ¿Por qué?

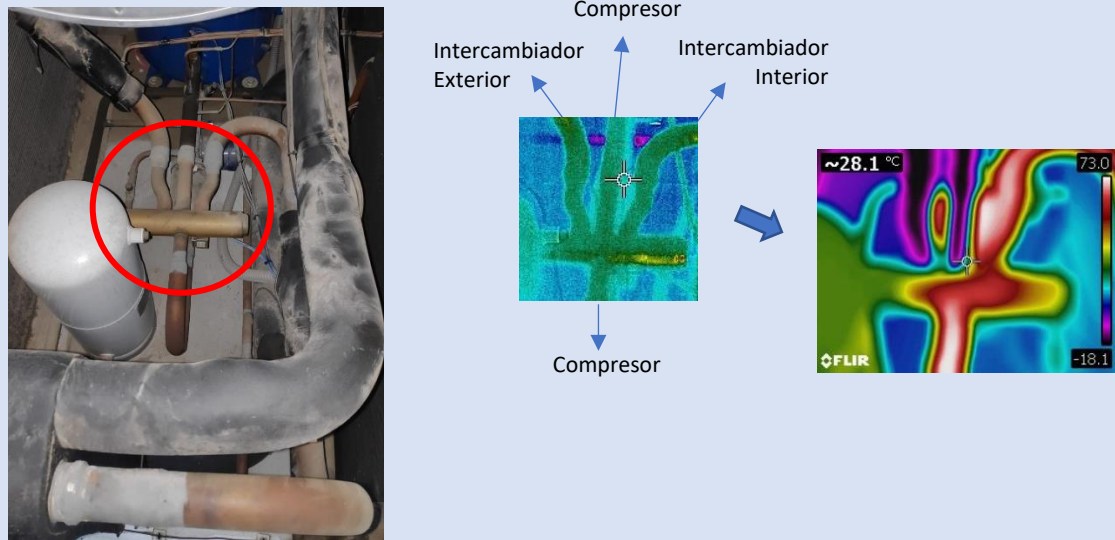


Figura 76: Termografía de la válvula de 4 vías.

d) En la Figura 77 se puede ver que el conducto de evacuación de aire de la bomba de calor está a elevada temperatura ¿En qué modo está operando la bomba de calor? ¿Por qué?

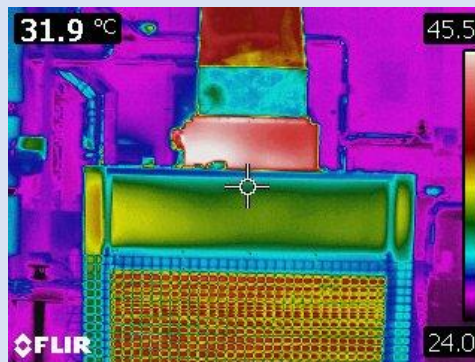


Figura 77: Termografía de la bomba de calor.

### Solución

a) El conducto de entrada es el de arriba y el de salida el de abajo. El objetivo del compresor es aumentar la presión del refrigerante y como consecuencia aumenta también la temperatura. En la termografía se observa que el tubo inferior tiene una mayor temperatura que el superior.

**b)** El conducto de entrada es el de arriba y el de salida el de abajo. En el Intercambiador interior se produce el intercambio térmico de interés, es decir, si estamos en modo calefacción el agua absorbe la energía del refrigerante. En cambio, si estamos en modo refrigeración el refrigerante absorberá energía del agua. Por lo tanto, si la bomba está en modo calefacción el refrigerante cederá energía al agua y la temperatura de salida será menor que la de entrada. El Intercambiador interior se encarga de la condensación.

**c)** La máxima temperatura se alcanza a la salida del compresor. En la termografía se observa que el fluido caliente al salir del compresor se dirige al Intercambiador interior, donde cederá energía al agua, por lo que determina que la instalación está operando en modo calefacción.

**d)** La bomba de calor está operando en modo refrigeración. El vapor sobrecalentado proveniente del compresor entra al intercambiador exterior, que hace la función de condensador. En este proceso se intercambia energía con el aire, que sale al exterior por el conducto de evacuación a mayor temperatura.

#### **Opciones**

Se puede hacer que el estudiante haga la medida con la cámara termográfica, darle la imagen y que la analice (dependiendo de los objetivos buscados, tiempo de realización de la práctica y número de estudiantes) o incluso ambas opciones a la vez, darle la imagen y que durante la práctica comprueben.

#### **Dificultades**

No es adecuado que la máquina esté con las chapas exteriores quitadas. Hay que hacer las fotos muy rápido y tapar, o realizar las fotografías en cuanto se apague el equipo. Cuando se quitan las chapas el aire tiende a entrar por donde hay menos pérdida de carga (por donde hemos quitado las chapas) y no entra por el lado de la batería aleteada, eso provoca un pobre intercambio en la batería exterior. Si la batería exterior está trabajando como evaporador puede dar lugar a golpe de líquido en el compresor.

#### **Materiales necesarios**

Cámara termográfica FLIR E60.

#### **Bibliografía**

MORAN, M.J.; SHAPIRO, H.N.; Fundamentos de Termodinámica Técnica.

## ANÁLISIS DEL RENDIMIENTO DE LA BOMBA DE CALOR

### **OBJETIVOS DOCENTES:**

Después de realizar esta actividad el alumno será capaz de:

- Conocer el ciclo de compresión de vapor.
- Utilizar el programa EES y dibujar gráficas.
- Entender el concepto de subenfriamiento y sobrecalentamiento.
- Realizar balances de energía y entropía.
- Calcular el COP y EER del equipo.

### **Antes de empezar...**

- Repasar los conceptos necesarios en los libros de la asignatura.
- Esperar a que el funcionamiento de la máquina y las presiones de los manómetros se estabilicen para tomar las medidas.
- Aislar lo mejor posible las sondas termopares de temperatura.
- Colocar la pinza amperimétrica para medir la potencia.

### **Condiciones más adecuadas para la realización**

- Utilizar la UTA o UTA y fancoil para disipar energía.
- Preferiblemente utilizar el modo de conexión de intercambiador de placas.

### **Enunciado**

**a)** Obtén los diagramas T-s y P-h en los modos de calefacción y/o refrigeración. ¿Cuántas sondas de temperatura se necesitan? ¿Dónde las colocarías?

**b)** Una vez elaborados los diagramas, calcula el subenfriamiento y el sobrecalentamiento que experimenta el ciclo ¿Se observa alguna anomalía en el funcionamiento?

**c)** Realiza el balance de energía sobre el compresor. ¿Se puede considerar adiabático el compresor?

**d)** Calcula a través del método directo e indirecto el COP y EER de la bomba de calor.

**e)** Calcula la entropía generada en el compresor.

### **Solución**

**a)** Se necesitan al menos 3 sondas de temperatura para poder dibujar los diagramas del ciclo. Dos sondas se colocarán a la entrada y salida del compresor, y la tercera se colocará justo antes de la válvula de expansión. En la Figura 78 se muestra como deben colocarse las sondas de temperatura en modo calefacción.

### MODO CALEFACCIÓN

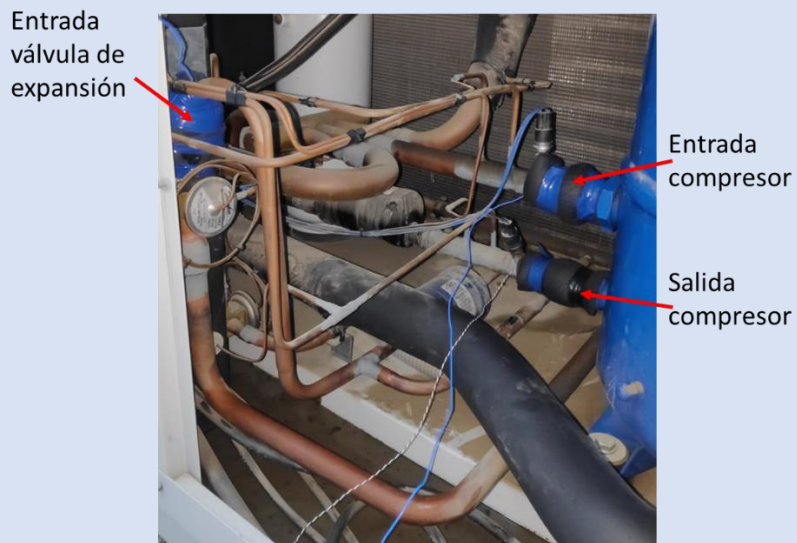


Figura 78: Colocación de las sondas de temperatura en modo calefacción.

En la Figura 79 se muestra la colocación de las sondas de temperatura en modo refrigeración.

### MODO REFRIGERACIÓN



Figura 79: Colocación de las sondas de temperatura en modo refrigeración.

**a) y b)** Definiendo las funciones para los distintos puntos e introduciendo los datos de presión y temperatura de los lugares medidos, por medio del programa EES, se obtienen fácilmente las propiedades y se elaboran los diagramas.

### MODO CALEFACCIÓN

Condiciones interiores:

HR: 46,8 %

T: 24,9 °C

Pabs: 994,1 hPa

**Sobrecalentamiento =**

$12,8 - (-4,9) = 17,7 \text{ °C}$

**Subenfriamiento =**

$43,42 - 40,6 = 2,82 \text{ °C}$

A continuación, en la Figura 80, se muestran las ecuaciones planteadas en el programa EES para la resolución del ejercicio.

```

"Datos"
Pbaja=3,85
Tbajapresion=2
Palta=19
Taltapresion=50
Tentradacompresor=12,8
Tentradavalvuladeexpansion=40,6
Tsalidacompresor=88,8

"estado1"
p[1]=Pbaja
t[1]=Tentradacompresor
h[1]=Enthalpy(R407C;T=t[1];P=p[1])
s[1]=Entropy(R407C;T=t[1];P=p[1])

"estado2"
p[2]=Palta
t[2]=Tsalidacompresor
h[2]=Enthalpy(R407C;T=t[2];P=p[2])
s[2]=Entropy(R407C;T=t[2];P=p[2])

"estado2s"
p[5]=Palta
s[5]=s[1]
h[5]=Enthalpy(R407C;P=p[5];s=s[5])
t[5]=Temperature(R407C;P=p[5];s=s[5])

"estado3"
p[3]=Palta
t[3]=Tentradavalvuladeexpansion
h[3]=Enthalpy(R407C;T=t[3];P=p[3])
s[3]=Entropy(R407C;T=t[3];P=p[3])

"estado4"
p[4]=Pbaja
h[4]=h[3]
t[4]=Temperature(R407C;h=h[4];P=p[4])
s[4]=Entropy(R407C;T=t[4];P=p[4])

```

Figura 80: Ecuaciones del problema modo calefacción.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 81 se observan los datos obtenidos con el programa EES.

| Sort | 1<br>$h_i$<br>[kJ/kg] | 2<br>$p_i$<br>[bar] | 3<br>$s_i$<br>[kJ/kg K] | 4<br>$t_i$<br>[°C] |
|------|-----------------------|---------------------|-------------------------|--------------------|
| [1]  | 423,1                 | 3,85                | 1,841                   | 12,8               |
| [2]  | 475,2                 | 19                  | 1,866                   | 88,8               |
| [3]  | 261,3                 | 19                  | 1,205                   | 40,6               |
| [4]  | 261,3                 | 3,85                | 1,255                   | -9,189             |
| [2s] | 466,2                 | 19                  | 1,841                   | 80,76              |

Figura 81: Datos del problema modo calefacción.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 82 se expone el diagrama T-s obtenido en modo calefacción.

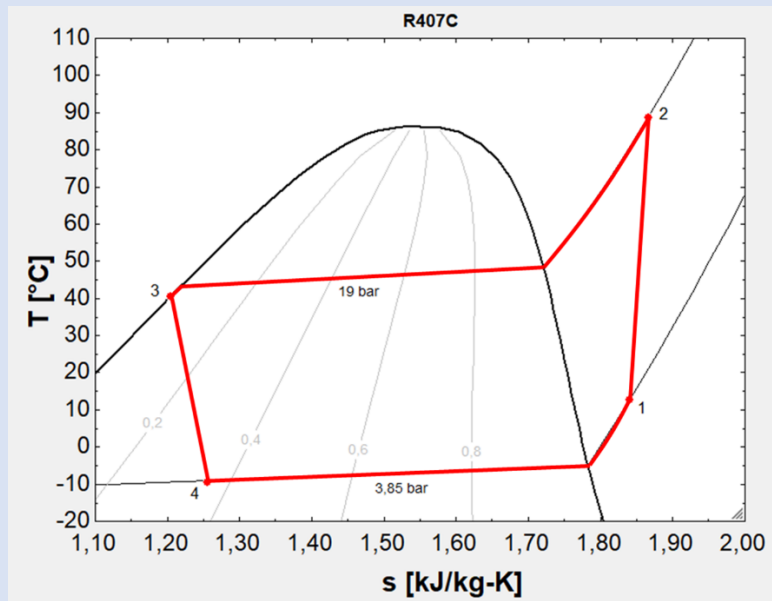


Figura 82: Diagrama T-s en modo calefacción.

En la Figura 83 se presenta el diagrama P-h obtenido en modo calefacción.

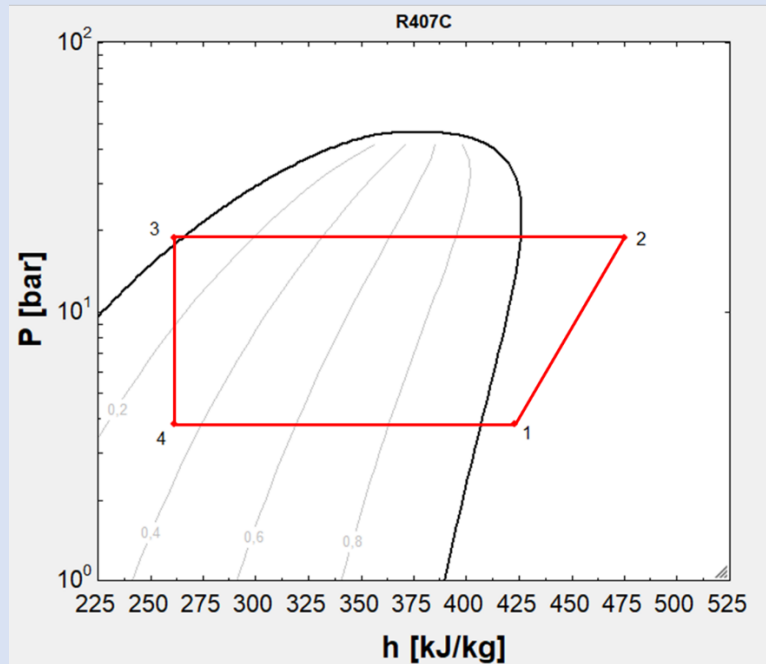


Figura 83: Diagrama P-h en modo calefacción.

### MODO REFRIGERACIÓN

Condiciones interiores:

HR: 45,5 %

T: 24,4 °C

Pabs: 993,9 hPa

**Sobrecalentamiento =**

13,2 – (–7,5) = 20,7 °C

**Subenfriamiento =**

44,8 – 43,2 = 1,6 °C

A continuación, en la Figura 84, se muestran las ecuaciones planteadas en el programa EES para la resolución del ejercicio.

```

"Datos"
Pbaja=3,5
Tbajapresion=0
Palta=19,65
Taltapresion=52
Tentradacompresor=13,2
Tentradavalvuladeexpansion=43,2
Tsalidacompresor=94,8

"estado1"
p[1]=Pbaja
t[1]=Tentradacompresor
h[1]=Enthalpy(R407C;T=t[1];P=p[1])
s[1]=Entropy(R407C;T=t[1];P=p[1])

"estado2"
p[2]=Palta
t[2]=Tsalidacompresor
h[2]=Enthalpy(R407C;T=t[2];P=p[2])
s[2]=Entropy(R407C;T=t[2];P=p[2])

"estado2s"
p[5]=Palta
s[5]=s[1]
h[5]=Enthalpy(R407C;P=p[5];s=s[5])
t[5]=Temperature(R407C;P=p[5];s=s[5])

"estado3"
p[3]=Palta
t[3]=Tentradavalvuladeexpansion
h[3]=Enthalpy(R407C;T=t[3];P=p[3])
s[3]=Entropy(R407C;T=t[3];P=p[3])

"estado4"
p[4]=Pbaja
h[4]=h[3]
t[4]=Temperature(R407C;h=h[4];P=p[4])
s[4]=Entropy(R407C;T=t[4];P=p[4])

```

Figura 84: Ecuaciones del problema modo refrigeración.  
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 85 se observan los datos obtenidos con el programa EES.

| Sort | 1<br>$h_i$<br>[kJ/kg] | 2<br>$p_i$<br>[bar] | 3<br>$s_i$<br>[kJ/kg K] | 4<br>$t_i$<br>[°C] |
|------|-----------------------|---------------------|-------------------------|--------------------|
| [1]  | 424,2                 | 3,5                 | 1,853                   | 13,2               |
| [2]  | 481,1                 | 19,65               | 1,88                    | 94,8               |
| [3]  | 265,6                 | 19,65               | 1,218                   | 43,2               |
| [4]  | 265,6                 | 3,5                 | 1,276                   | -11,6              |
| [2s] | 471,6                 | 19,65               | 1,853                   | 86,31              |

Figura 85: Datos del problema modo refrigeración.  
Fuente: Elaboración propia.



En la Figura 86 se expone el diagrama T-s obtenido en modo refrigeración.

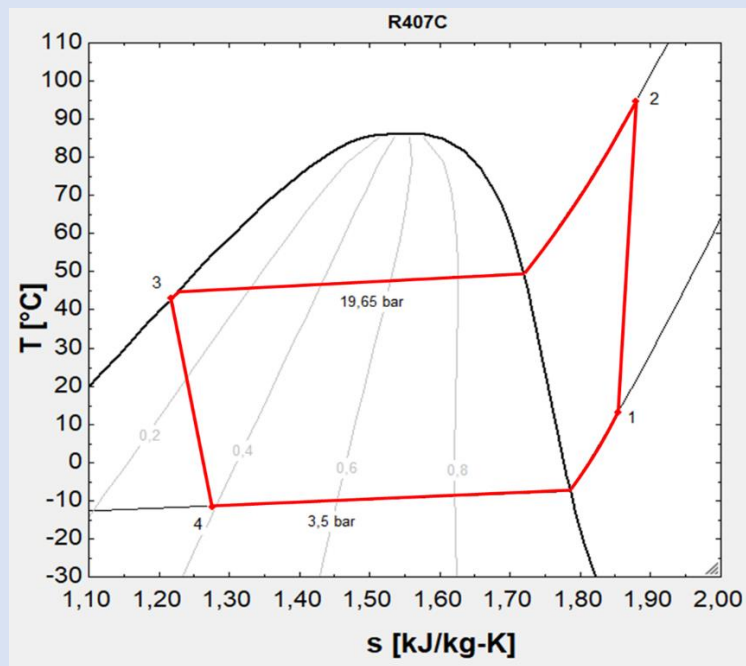


Figura 86: Diagrama T-s en modo refrigeración.

En la Figura 87 se presenta el diagrama P-h obtenido en modo refrigeración.

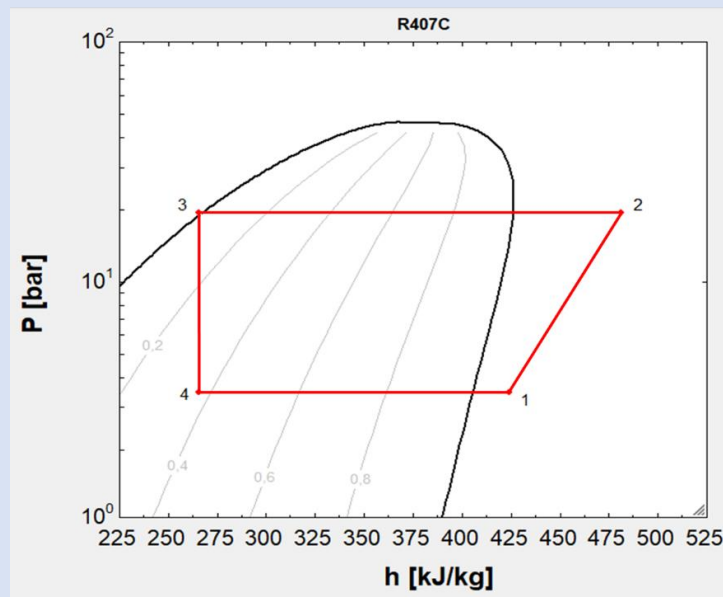


Figura 87: Diagrama P-h en modo refrigeración.

Observando los diagramas se verifica que el sobrecalentamiento es excesivo, lo que supone una alta temperatura de entrada al compresor y por consecuencia, una mayor temperatura de descarga. Esto conlleva una disminución del rendimiento frigorífico del equipo y que el compresor acorte su vida útil por trabajar en condiciones inadecuadas.

### c) Balance de energía en el compresor

$$\frac{dE_{vc}}{dt} = \sum \dot{Q}_{vc} - \sum \dot{W}_{vc} + \sum \dot{m}_e \left( h_e + \frac{c_e^2}{2} + g * z_e \right) - \sum \dot{m}_s \left( h_s + \frac{c_s^2}{2} + g * z_s \right)$$

MODO CALEFACCIÓN

$$\eta_s = \frac{\dot{W}_{Iso}}{\dot{W}_{Real}} = \frac{W_{Iso}}{W_{Real}} = \frac{h_{2s} - h_1}{h_2 - h_1} = \frac{(466,2 - 423,1) \left[ \frac{kJ}{kg} \right]}{(475,2 - 423,1) \left[ \frac{kJ}{kg} \right]} = 0,83 < 1$$

MODO REFRIGERACIÓN

$$\eta_s = \frac{\dot{W}_{Iso}}{\dot{W}_{Real}} = \frac{W_{Iso}}{W_{Real}} = \frac{h_{2s} - h_1}{h_2 - h_1} = \frac{(471,6 - 424,2) \left[ \frac{kJ}{kg} \right]}{(481,1 - 424,2) \left[ \frac{kJ}{kg} \right]} = 0,83 < 1$$

El compresor se puede considerar adiabático

Consideraciones e hipótesis:

1. Cada componente se analiza como un volumen de control que funciona en estado estacionario.
2. El compresor opera adiabáticamente.
3. Los estados inicial y final son estados de equilibrio. No existe modificación de energía cinética o potencial

$$0 = - \sum \dot{W}_{vc} + \sum \dot{m}_e h_e - \sum \dot{m}_s h_s \quad \rightarrow \quad \dot{W}_{Compresor} = \dot{m}_e h_e - \dot{m}_s h_s$$

### d) Calculo de COP y EER

MODO CALEFACCIÓN

MÉTODO DIRECTO

El cálculo se realiza a través de las sondas termopáres móviles, que se colocan en el circuito del refrigerante aislandolas lo mejor posible. También se utilizan los manómetros fijos del equipo y un medidor de consumo eléctrico Efergy.

$$P_e = 5,15 \left[ \frac{kJ}{s} \right] * 3 [fases] * 0,8 [factor de potencia] = 12,36 \left[ \frac{kJ}{s} \right]$$

$$P_e = \dot{W}_{Comp} = \dot{m}_R W_{Real} \quad \rightarrow \quad \dot{m}_R = \frac{P_e}{W_{Real}} = \frac{12,36 \left[ \frac{kJ}{s} \right]}{52,1 \left[ \frac{kJ}{kg} \right]} = 0,237 \left[ \frac{kg}{s} \right]$$

$$COP = \frac{|\dot{Q}_c|}{|\dot{W}_{Comp}|} = \frac{|\dot{m}_R (h_3 - h_2)|}{|P_e|} = \frac{0,237 \left[ \frac{kg}{s} \right] * (261,3 - 475,2) \left[ \frac{kJ}{kg} \right]}{12,36 \left[ \frac{kJ}{s} \right]} = 4,1$$

### MÉTODO INDIRECTO

El cálculo se realiza a través de los termómetros bimetálicos colocados en el circuito de agua, midiendo el caudal en la válvula de equilibrado con el instrumento TA - CBI (aunque también se puede dar como dato) y con un medidor de consumo eléctrico Efergy.

$$COP = \frac{|\dot{Q}_c|}{|\dot{W}_{Comp}|} = \frac{|\dot{m}_w c_p (T_e - T_s)|}{|P_e|} = \frac{|6,2 \left[ \frac{m^3}{h} \right] * \frac{1}{3600} \left[ \frac{h}{s} \right] * 1000 \left[ \frac{kg}{m^3} \right] * 4,184 \left[ \frac{kJ}{kg \cdot K} \right] * (31,5[^\circ C] - 38,5[^\circ C])|}{12,36 \left[ \frac{kJ}{s} \right]} = 4,08$$

### MODOS REFRIGERACIÓN

#### MÉTODO DIRECTO

$$P_e = 5,3 \left[ \frac{kJ}{s} \right] * 3 [fases] * 0,8 [factor\ de\ potencia] = 12,72 \left[ \frac{kJ}{s} \right]$$

$$P_e = \dot{W}_{Comp} = \dot{m}_R W_{Real} \quad \rightarrow \quad \dot{m}_R = \frac{P_e}{W_{Real}} = \frac{12,72 \left[ \frac{kJ}{s} \right]}{56,9 \left[ \frac{kJ}{kg} \right]} = 0,224 \left[ \frac{kg}{s} \right]$$

$$EER = \frac{|\dot{Q}_e|}{|\dot{W}_{Comp}|} = \frac{|\dot{m}_R (h_1 - h_4)|}{|P_e|} = \frac{|0,224 \left[ \frac{kg}{s} \right] * (424,2 - 265,6) \left[ \frac{kJ}{kg} \right]|}{12,72 \left[ \frac{kJ}{s} \right]} = 2,8$$

#### MÉTODO INDIRECTO

$$EER = \frac{|\dot{Q}_c|}{|\dot{W}_{Comp}|} = \frac{|\dot{m}_w c_p (T_e - T_s)|}{|P_e|} = \frac{|6,2 \left[ \frac{m^3}{h} \right] * \frac{1}{3600} \left[ \frac{h}{s} \right] * 1000 \left[ \frac{kg}{m^3} \right] * 4,184 \left[ \frac{kJ}{kg \cdot K} \right] * (11[^\circ C] - 6,5[^\circ C])|}{12,72 \left[ \frac{kJ}{s} \right]} = 2,55$$

El sobrecalentamiento es demasiado elevado. Como consecuencia la temperatura de entrada y descarga del compresor son demasiado altas, perjudicando así al rendimiento en modo refrigeración.

### e) Balance de entropía en el compresor

$$\frac{dS_{vc}}{dt} = \sum_j \left( \frac{\delta \dot{Q}_j}{T_j} \right) + \sum_e \dot{m}_e s_e - \sum_s \dot{m}_s s_s + \dot{S}_g$$

Consideraciones e hipótesis:

1. Cada componente se analiza como un volumen de control que funciona en estado estacionario.
2. El compresor opera adiabáticamente.
3. Los estados inicial y final son estados de equilibrio. No existe modificación de energía cinética o potencial

### MODOS CALEFACCIÓN

$$\dot{S}_g = \dot{m}_R (s_2 - s_1) = 0,237 \left[ \frac{kg}{s} \right] * (1,866 - 1,841) \left[ \frac{kJ}{kg \cdot K} \right] = 5,925 * 10^{-3} \left[ \frac{kW}{K} \right]$$

#### MODO REFRIGERACIÓN

$$\dot{S}_g = \dot{m}_R (s_2 - s_1) = 0,224 \left[ \frac{kg}{s} \right] * (1,88 - 1,853) \left[ \frac{kJ}{kg * K} \right] = 6,048 * 10^{-3} \left[ \frac{kW}{K} \right]$$

Como se puede comprobar en la Figura 88, el compresor solo es adiabático en la teoría. Para facilitar los cálculos, el compresor se considera adiabático. Es interesante hacer reflexionar a los estudiantes que no lo es, ni interesa que lo sea (la compresión refrigerada consume menos energía que la compresión adiabática). Entra y sale entropía acompañando a los flujos de calor, hay flujos entrantes (por tanto implicaría un aumento de entropía) y flujos de calor que salen (por tanto la entropía disminuiría).



Figura 88: Termografía del compresor completo.

#### **Materiales necesarios**

Instrumento Testo 480 con sondas termopares de temperatura.

Medidor de consumo eléctrico Efergy E2 o Analizador de redes PCE – 360.

Instrumento de equilibrado TA - CBI (aunque también se puede dar como dato).

#### **Bibliografía**

MORAN, M.J.; SHAPIRO, H.N. Fundamentos de Termodinámica Técnica.

AFEC. La Bomba de Calor. Fundamentos, Tecnología y Casos Prácticos.

## PREGUNTAS CORTAS

### OBJETIVOS DOCENTES:

Después de realizar esta actividad el alumno será capaz de:

- Entender el funcionamiento de una bomba de calor.
- Conocer la función de algunos componentes que conforman el equipo.
- Saber interpretar el ciclo de compresión de vapor.

### Antes de empezar...

- Repasar los conceptos básicos de la bomba de calor.
- Comprender el cuadro resumen coloreado de la bomba de calor.

### Enunciado

a) Como se puede observar, en el diagrama T-s la temperatura no permanece constante ¿por qué? Además, en el diagrama P-h la presión tampoco debería serlo ¿por qué? ¿cómo debería comportarse?

b) ¿Cuál es la función del depósito de líquido? ¿y la del filtro deshidratador?

c) ¿Por qué se utilizan válvulas de expansión termostática con igualación externa?

d) ¿Para qué sirve la resistencia de cárter?

e) ¿Cuál es la función de los presostatos? ¿Cómo funcionan?

f) En modo calefacción ¿qué intercambiador hará la función de condensador, el interior o el exterior? ¿Por qué? ¿En qué fase entra el gas refrigerante al entrar y salir del intercambiador?

### Solución

a) La **temperatura** no permanece constante debido a que el gas refrigerante utilizado es R407C, el cual tiene un deslizamiento de temperatura de 7,2 °C. Los componentes de este refrigerante tienen diferente volatilidad, produciéndose primero el cambio de estado en los compuestos más volátiles. La temperatura va aumentando o disminuyendo hasta que ocurre la evaporación/condensación en su totalidad.

La **presión** en el evaporador y en el condensador no debería permanecer estrictamente constante, deberá descender en el sentido de avance, debido a la pérdida de carga por rozamiento. En la Figura 14 se muestran los diagramas utilizados en el cuadro resumen, en ellos se manifiestan estos comportamientos.

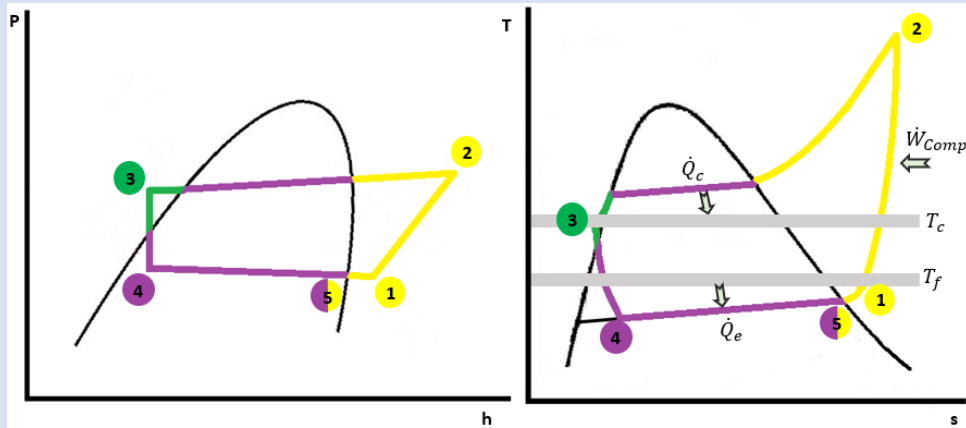


Figura 14: Diagramas orientativos T-s y P-h de la bomba de calor.

Fuente: Elaboración propia.

b) El **depósito de líquido** está situado entre el condensador y la válvula de expansión. Su función es la de garantizar la llegada de líquido a la válvula de expansión y regular su adecuada cantidad. La salida del depósito está ubicada en el fondo del depósito para asegurar que el fluido se encuentra en fase líquida.

La función del **filtro deshidratador** es la de la filtración y deshidratación de los gases refrigerantes a su paso por él. También neutraliza los ácidos originados por la conducción del líquido en las instalaciones de refrigeración y de acondicionamiento de aire.

c) Las válvulas de expansión generan la caída de presión necesaria entre el condensador y el evaporador. Su función es la de controlar el caudal de refrigerante en estado líquido que entra en el evaporador y la de sostener un sobrecalentamiento constante. Para controlar la válvula se dispone de un bulbo sensor de temperatura que se sitúa adosado en la tubería de salida del evaporador y se encarga de cerrarla o abrirla para así disminuir o aumentar la entrada de refrigerante y su evaporación dentro del evaporador. La **válvula de expansión termostática con igualación externa** se utiliza como solución ante la pérdida de carga que experimenta el refrigerante en el interior del evaporador, problema habitual en instalaciones frigoríficas como la bomba de calor de la práctica.

d) La tarea de la **resistencia de cárter** es conservar el aceite del compresor a una mayor temperatura que la que corresponde a la parte más fría de la instalación. De esta manera, si una pequeña cantidad de refrigerante llega y condensa en el cárter vaporizaría rápidamente volviendo de nuevo al circuito por la línea de aspiración. Reduce la migración de refrigerante y asegura una lubricación correcta del compresor.

e) La función del **presostato** es abrir o cerrar el circuito eléctrico dependiendo de la lectura de presión del refrigerante. La presión del fluido actúa sobre un pistón interno haciendo que se mueva hasta que se unen dos contactos. El presostato en la línea de baja presión regula el funcionamiento del compresor. El de la línea de alta presión sirve como un elemento de seguridad, cuando la presión es demasiado alta para el equipo.

f) En modo calefacción el **intercambiador** interior hará la función de condensador. El circuito principal de refrigerante intercambia energía con el circuito de agua. Al pasar por el intercambiador el agua aumenta la temperatura y es distribuido hacia el circuito secundario para la disipación en los distintos equipos de la nave. El refrigerante entra al condensador como vapor sobrecalentado y sale como líquido subenfriado.

**Bibliografía**

AFEC. La Bomba de Calor. Fundamentos, Tecnología y Casos Prácticos.

MORAN, M.J.; SHAPIRO, H.N. Fundamentos de Termodinámica Técnica.

DOSSAT, R. Principios de refrigeración.

GASSERVEI. R407C. (Página web).

TEMARIOS FORMATIVOS PROFESIONALES. Componentes auxiliares-de climatización. (Página web).

## CUESTIONES DE AUDITORÍAS EN LA BOMBA DE CALOR

### **OBJETIVOS DOCENTES:**

Después de realizar esta actividad el alumno será capaz de:

- Conocer la normativa española relacionada con las auditorías energéticas y la bomba de calor.
- Conocer los distintos equipos de medida necesarios para medir en instalaciones y entender su principio de funcionamiento.

### **Enunciado**

**a)** ¿Cuál es la normativa española que obliga a las grandes empresas a realizar auditorías energéticas? ¿Cuáles son los requerimientos para estar en este grupo de grandes empresas obligadas a realizar la auditoría? ¿Cada cuánto se deben realizar las auditorías? ¿Quién debe realizar estas auditorías?

**b)** ¿Cuál es la norma UNE que especifica los requisitos, la metodología común y los informes de las auditorías energéticas? ¿Qué son las Empresas de Servicios Energéticos?

**c)** Indica al menos 4 tipos de sensores de temperatura indicando su principio de funcionamiento.

Indica 2 tipos de instrumentos para la medición de presión indicando su principio de funcionamiento.

Indica 5 de los principales tipos de instrumentos para la medición de caudal indicando su principio de funcionamiento.

**d)** ¿Qué directiva reconoce como energía renovable la energía capturada por las bombas de calor bajo determinadas condiciones? ¿Cuál es el valor límite de SPF (Factor de rendimiento medio estacional estimativo) para la bomba de calor de la práctica?

**e)** ¿Qué reglamento establece el cálculo de la eficiencia energética para sistemas de climatización? ¿En qué norma técnica se expone la metodología? Suponiendo que el rendimiento instantáneo medido en la bomba de calor de la práctica docente coincidiese con el estacional ¿qué clasificación energética tendría este equipo? ¿Cómo se determina el SEER?

### **Solución**

**a)** El Real Decreto 56/2016 obliga a las grandes empresas a realizar auditorías energéticas. Son consideradas como grandes empresas las que tengan al menos a 250 trabajadores, o un volumen de negocio que exceda de 50 millones de euros y un balance general que exceda de 43 millones de euros. También se aplicará a los grupos de sociedades que cumplan las condiciones de gran empresa.

Las auditorías se realizarán cada cuatro años desde la fecha de la anterior auditoría.

Las auditorías serán realizadas por auditores preparados y acreditados correctamente. Deben de haber recibido y superado un curso de formación específico para auditorías energéticas elaborado por un órgano competente de la comunidad autónoma. El auditor debe conocer la normativa de ejecución de auditorías energéticas (UNE-EN 16247) y la realización de medidas de variables energéticas como intensidad, tensión eléctrica, reactiva, armónicos y consumo de energía.



**b)** La norma UNE-EN 16247 especifica los requisitos, la metodología común y los informes de las auditorías energéticas. Se aplica a todo tipo de instalaciones y organizaciones, y a todas las formas y usos de la energía, excluyendo las viviendas de particulares.

Según la Directiva 2006/32/CE una empresa de servicios energéticos (ESE), es una persona física o jurídica que proporciona servicios energéticos o de mejora de la eficiencia energética en las instalaciones o locales de un usuario y afronta cierto riesgo económico. Actualmente en España hay 1.512 empresas de servicios energéticos, 29 de ellas situadas en Aragón.

**c)** En la Tabla 1 se indican los equipos de medida para la temperatura, además de su principio de funcionamiento y características.

En la Tabla 3 se indica la distinta instrumentación para la medición de la presión, su principio de funcionamiento y características.

Para medir el caudal se pueden utilizar diferentes tipos de instrumentos. En la Tabla 4 se muestran algunos de los más comunes.

**d)** La Directiva Europea 2009/28/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables, reconoce como energía renovable la energía capturada por las bombas de calor bajo determinadas condiciones. Para calcular la energía renovable aprovechada a efectos de esta Directiva se emplea una metodología definida en el Anexo XVII de la misma.

A la hora de calcular la cantidad de energía renovable aprovechada se establece un límite mínimo de rendimiento energético estacional, relacionando con la eficiencia media del sistema eléctrico europeo ( $\eta$ ),  $SPF > 1,15 \cdot 1/\eta$ . Por debajo de este valor se considera que la bomba de calor no aporta energía renovable y no se tendrá en cuenta. El valor límite de SPF para una bomba de calor aire-agua reversible (como la que se utiliza en la práctica) en una zona climática media, como es Aragón, es de 2,6.

**e)** El cálculo de la eficiencia energética para sistemas de climatización cambió el 1 de enero de 2013 con el Reglamento CE 626/2011. Los estándares europeos EER y COP han sido sustituidos por los nuevos SEER y SCOP, basados en eficiencias estacionales, cambiando los métodos de clasificación en función de su eficiencia energética.

La nueva metodología sobre rendimiento se expone en la norma técnica EN 14825.

Suponiendo que el rendimiento instantáneo medido coincidiese con el estacional la clasificación de eficiencia energética en modo refrigeración sería de F y en modo calefacción A+.

El SEER es igual a la demanda anual de refrigeración de referencia  $Q_c$  dividida por el consumo eléctrico anual  $Q_{ce}$ .

$$SEER = \frac{Q_c}{Q_{ce}}$$

$$Q_c = P_{designc} \times H_{ce}$$

$P_{designc}$  es la carga frigorífica de diseño del edificio para la cual la unidad es la adecuada según declaración del fabricante.

$H_{ce}$  número de horas en modo en activo equivalentes para la refrigeración.

El consumo eléctrico anual  $Q_{ce}$  incluye el consumo de potencia durante el modo activo, modo desactivado por termostato, modo de espera, modo desactivado y modo de calentamiento de cárter.

$$Q_{ce} = \frac{Q_c}{SEER_{on}} = H_{TO} \times P_{TO} + H_{SB} \times P_{SB} + H_{CK} \times P_{CK} + H_{OFF} \times P_{OFF}$$

Donde:

$Q_c$  es la demanda de refrigeración anual de referencia, expresada en kWh;

$H_{TO}$ ,  $H_{SB}$ ,  $H_{CK}$ ,  $H_{OFF}$  son el número de horas en las que se considera que la unidad trabaja en modo desactivado de termostato, modo de espera, modo de dispositivo de calentamiento de cárter y modo desactivado, respectivamente expresado en horas;

$P_{TO}$ ,  $P_{SB}$ ,  $P_{CK}$ ,  $P_{OFF}$  son los consumos eléctricos durante el modo desactivado por termostato, modo de espera, modo de dispositivo de calentamiento del cárter, y modo desactivado, respectivamente expresado en kW.

### **Bibliografía**

Gobierno de España. Real Decreto 56/2016.

AENOR. Auditorías energéticas. Parte 1: Requisitos generales. UNE EN 16247-1:2012.

Unión Europea. Directiva 2006/32/CE.

CREUS, A. INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL.

Unión Europea. Directiva 2009/28/CE.

AFEC. La Bomba de Calor. Fundamentos, Tecnología y Casos Prácticos.

Unión Europea. Reglamento Delegado (UE) No 626/2011.

AENOR. Acondicionadores de aire, enfriadoras de líquido y bombas de calor con compresor accionado eléctricamente para la calefacción y la refrigeración de locales. Ensayos y clasificación en condiciones de carga parcial y cálculo del rendimiento estacional. UNE EN 14825:2016.

## REFRIGERANTES

### **OBJETIVOS DOCENTES:**

Después de realizar esta actividad el alumno será capaz de:

- Comprender las características que pueden presentar los refrigerantes.
- Conocer la situación actual y posible futura de los refrigerantes.

### **Enunciado**

**a)** El refrigerante utilizado en la bomba de calor de la práctica es R407C. ¿Cuál es su composición? Determina cuáles son sus propiedades, su grado de deslizamiento, su compatibilidad con aceites y sus características en cuanto a toxicidad e inflamabilidad.

**b)** Un aspecto a considerar a la hora de escoger el refrigerante es el impacto ambiental y las emisiones de efecto invernadero que pueden generar. ¿Cuáles son los indicadores más importantes en los que te debes de fijar? ¿En qué consisten?

**c)** Se está promoviendo una reducción de las emisiones por medio del control de los gases fluorados de efecto invernadero utilizados en los equipos, sustituyéndolos por otros gases con menor PCA. ¿Cuál es la normativa que se debe tener en cuenta y en qué consiste?

**d)** En el caso de que exista una avería y se haya perdido parte del refrigerante ¿qué se debe hacer? Nombra algunos refrigerantes alternativos con un impacto ambiental bajo.

### **Solución**

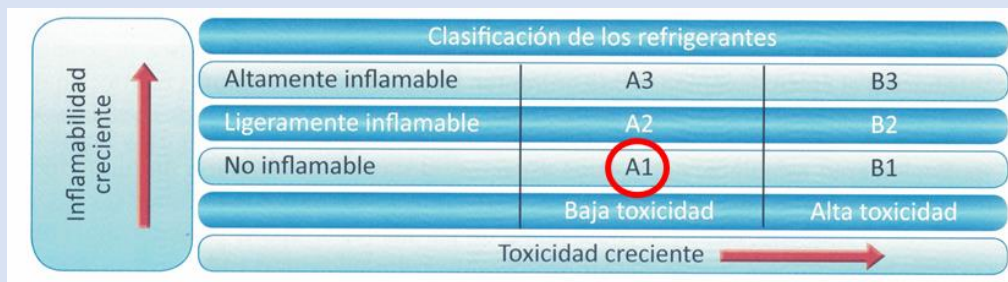
**a)** El R407C es una mezcla ternaria no azeotrópica de HFCs cuya composición se observa en la siguiente Figura 89. Tiene buenas propiedades termodinámicas, es estable químicamente, un bajo impacto ambiental y muy baja toxicidad. Presenta un deslizamiento de temperatura de 7,2°C. Debe de utilizarse con aceites poliolésteres (POE), ya que no es miscible con aceites minerales.

| Nombre químico                     | % en peso | Nº CAS   | Nº . CE   |
|------------------------------------|-----------|----------|-----------|
| 1,1,1,2- Tetrafluoroetano (R-134a) | 52        | 811-97-2 | 212-377-0 |
| Pentafluoroetano (R-125)           | 25        | 354-33-6 | 206-557-8 |
| Difluorometano (R-32)              | 23        | 75-10-5  | 200-839-4 |

*Figura 89: Componentes del gas refrigerante R407C.*

*Fuente: GASSERVEI. R407C.*

El refrigerante R407C está clasificado según sus propiedades como A1 grupo L1 de los refrigerantes de Alta Seguridad. En la Figura 90 se muestra esta clasificación.



*Figura 90: Clasificación de los refrigerantes.*

*Fuente: AFEC. La Bomba de Calor.*

**b)** Para evaluar los efectos directos de la emisión de gases de efecto invernadero, se compara el Potencial de Calentamiento Atmosférico (PCA o GWP en inglés) de cada refrigerante, con el correspondiente del CO<sub>2</sub>. Se define como **PCA** al potencial de calentamiento atmosférico de un gas fluorado de efecto invernadero en relación con el dióxido de carbono sobre un periodo de 100 años. El PCA del R407C es 1774.

Para calcular el impacto total del refrigerante en la atmósfera se utiliza el término **TEWI** (Total Equivalent Warming Impact). Se define como la masa total equivalente de CO<sub>2</sub> correspondiente a la suma del impacto de emisiones directas e indirectas de un gas refrigerante a lo largo de su vida.

$$TEWI = (PCA * L * n) + (PCA * m * (1 - \alpha_{rec})) + (n * E_{anual} * \beta)$$

Siendo:

PCA – Potencial de Calentamiento Atmosférico

L – Fugas [kg/año]

n – Vida útil de equipo [años]

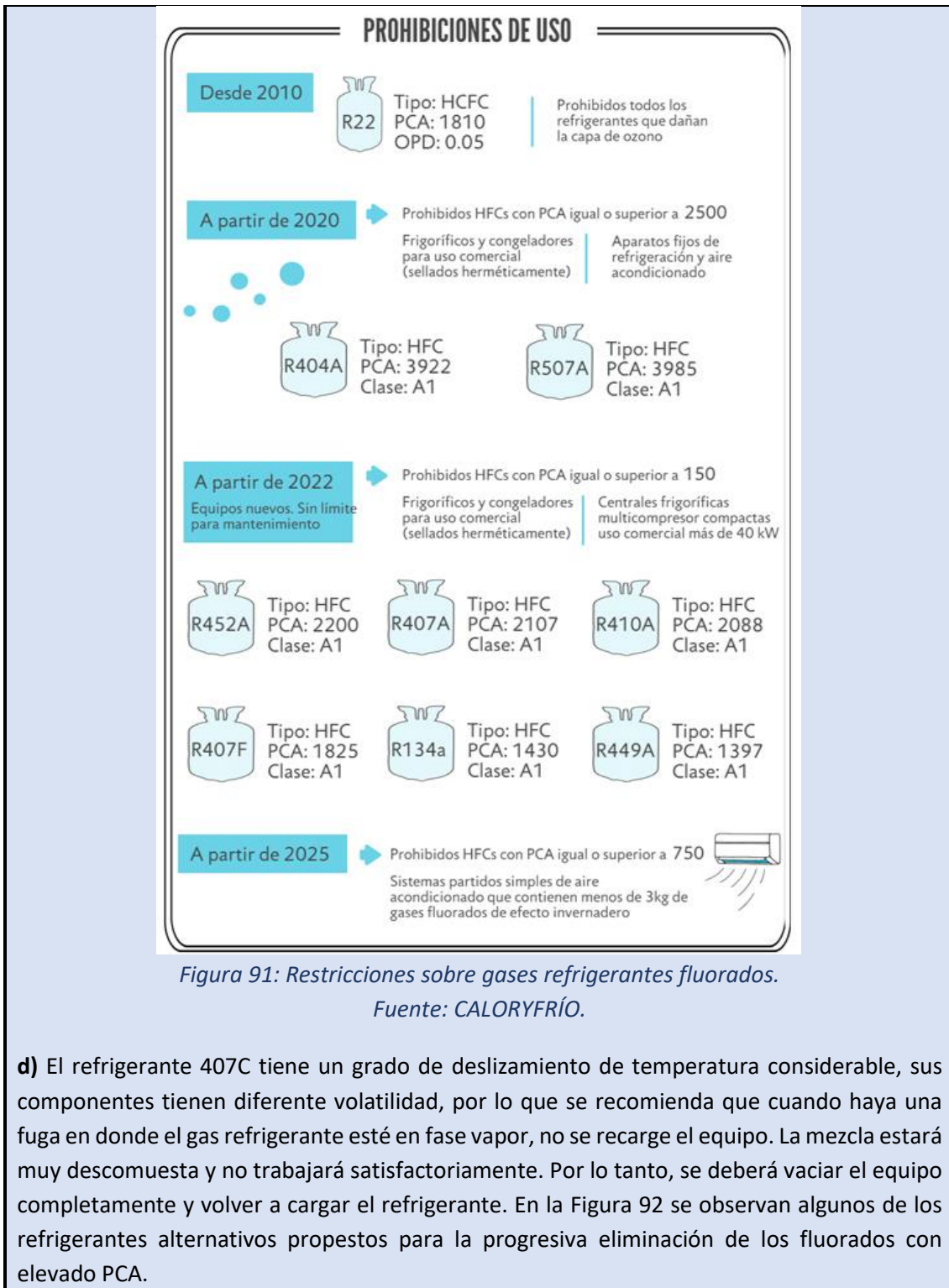
m – Carga de refrigerante [kg]

$\alpha_{rec}$  – Factor de recuperación de gas [entre 0 y 1]

$E_{anual}$  – Consumo energético [kWh/año]

$\beta$  – coeficiente de paso [emisiones de CO<sub>2</sub>, kg/ kWh]

**c)** Las restricciones sobre gases fluorados de efecto invernadero se recogen en el Reglamento (UE) 517/2014. Este reglamento establece un calendario de reducción progresiva. En la Figura 91 se puede observar algunas limitaciones marcadas por el reglamento.



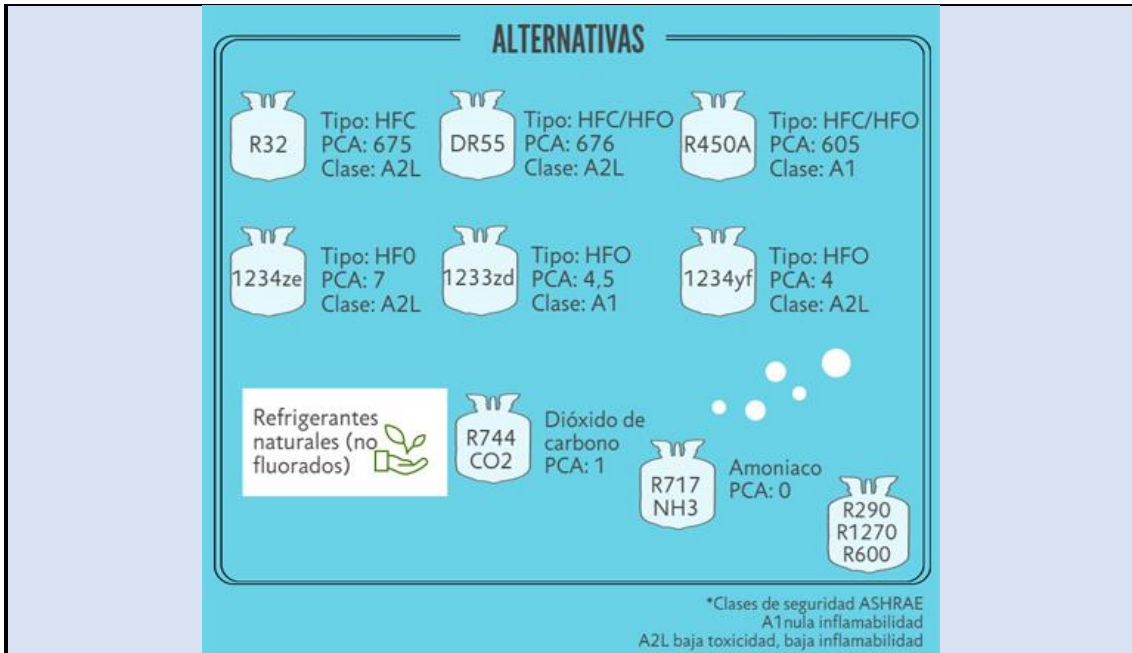


Figura 92: Gases refrigerantes alternativos.

Fuente: CALORYFRÍO.

**Bibliografía**

AFEC. La Bomba de Calor. Fundamentos, Tecnología y Casos Prácticos.

GASSERVEI. R407C. (Página web).

CALORYFRÍO. Los gases refrigerantes sustitutos - Infografía: evolución y futuro. (Página web).

## ENFRIAMIENTO Y DESHUMIDIFICACIÓN EN LA UTA

### OBJETIVOS DOCENTES:

Después de realizar esta actividad el alumno será capaz de:

- Entender un proceso de enfriamiento y deshumidificación
- Utilizar el programa EES y/o el diagrama psicrométrico.
- Comprender cuestiones fundamentales de la psicrometría.

### Antes de empezar...

- Repasar los conceptos básicos necesarios.
- Realizar esta práctica con las puertas y ventanas abiertas.

### Condiciones más adecuadas para la realización

- Poner en marcha la instalación con la bomba de calor en modo refrigeración.
- Una vez que el condensado empiece a descender por el desagüe cronometrar durante 10 minutos y apagar la UTA. Medir la temperatura y humedad relativa del aire en la entrada (compuerta de entrada de aire de la UTA) y salida (en uno de los difusores). Tomar también la temperatura del circuito de agua a la entrada y salida de las baterías.

### Enunciado

Durante un enfriamiento sensible la humedad específica del aire permanece constante, pero su humedad relativa aumenta. El proceso que realiza la UTA con la bomba de calor en modo refrigeración es un proceso de enfriamiento y deshumidificación en el que disminuyen simultáneamente la humedad específica y la temperatura seca del aire. Se está retirando calor sensible y calor latente de la corriente de aire. En la Figura 93 se muestran estos procesos.

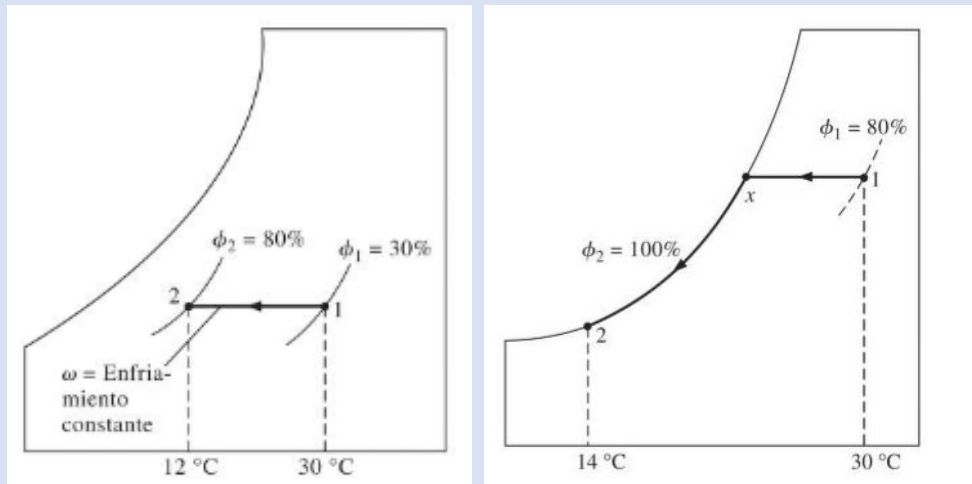


Figura 93: Proceso de enfriamiento simple y proceso de enfriamiento y deshumidificación.

Fuente: CENGEL, Y; BOLES, M. Termodinámica.

El vapor de agua, que condensa, sale de UTA por el desagüe situado en su parte inferior hasta una garrafa donde se acumula.

- ¿Cómo se conseguiría enfriar el aire sin que se produjera condensación en la UTA?
- Plantea los balances de masa y energía para el circuito de aire.
- Calcular el punto de rocío.

- d)** A la hora de realizar esta práctica y que se produzca la condensación es muy importante que las dos puertas de la habitación y las ventanas estén abiertas. ¿Por qué?
- e)** Como se puede observar, la humedad relativa del aire a la salida no es del 100%, sin embargo, se produce condensación. ¿Por qué?
- f)** Comprobar que la temperatura superficial de las baterías se encuentra entre la temperatura de entrada y salida del circuito de agua. Calcular el Factor de Bypass.
- g)** Calcular la cantidad teórica (kg o L) de condensado con los datos de entrada y salida del aire y compararlo con el obtenido realmente en la garrafa.
- h)** Obtén el flujo de calor intercambiado en el aire.
- i)** Calcula el flujo de calor intercambiado en el circuito de agua y compáralo con el anterior.
- j)** Hallar la recta de maniobra y el factor de calor sensible.

### **Solución**

**a)** Manteniendo la temperatura superficial de las baterías de la UTA mayores que la temperatura de rocío del aire.

**b)** Balance de la masa del aire seco:  $\dot{m}_{a_1} = \dot{m}_{a_2} = \dot{m}_a$

Balance de la masa del agua:  $\dot{m}_{a_1} w_1 = \dot{m}_{a_2} w_2 + \dot{m}_w \rightarrow \dot{m}_w = \dot{m}_a \Delta w$

Balance de la energía:

$$\frac{dE_{vc}}{dt} = \sum \dot{Q}_{vc} - \sum \dot{W}_{vc} + \sum \dot{m}_e \left( h_e + \frac{c_e^2}{2} + g * z_e \right) - \sum \dot{m}_s \left( h_s + \frac{c_s^2}{2} + g * z_s \right)$$

$$\sum \dot{m}_e h = \dot{Q}_{sal} + \sum \dot{m}_s h_s \rightarrow \dot{Q}_{sal} = \dot{m} (h_1 - h_2) - \dot{m}_w h_w$$

Consideraciones e hipótesis:

1. Se analiza como un volumen de control que funciona en estado estacionario.
2. Los estados inicial y final son estados de equilibrio. No existe modificación de energía cinética o potencial.

Datos tomados: Entrada aire: 44,1 % HR; 26,2 °C

Salida aire: 62,6 % HR; 17,7 °C

**c)** La temperatura de punto de rocío es 13°C. Usando el marcador de la gráfica, en el programa EES, se obtiene directamente el dato. En la Figura 94 se señala el punto de rocío.



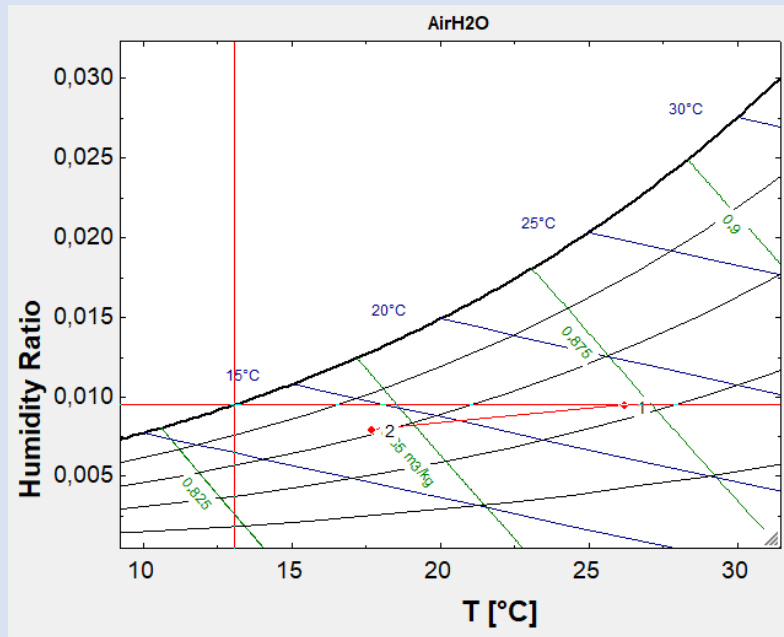


Figura 94: Punto de rocío en el diagrama psicrométrico.  
Fuente: Elaboración propia.

d) La toma de aire está en el interior de la habitación, debido a sus dimensiones no puede albergar una gran cantidad de agua en su interior y a medida que la estancia es climatizada la humedad específica del aire de la habitación disminuye, cada vez será más complicado extraer agua del aire de la habitación. Para fomentar la condensación en la UTA se abren puertas y ventanas favoreciendo la renovación de aire.

e) No todo el aire es tratado, hay parte que atraviesa las baterías de frío y alcanza el 100% de humedad relativa y condensa. Pero hay aire que evita pasar por las baterías y no es tratado (ver Figura 95).



Figura 95: Huecos por los que pasa el aire no tratado.

El  $F_b$  (Factor de Bypass), es la relación entre el caudal de aire no tratado al pasar por la batería y el caudal total. Esta característica depende de la configuración de la batería utilizada.

f) La temperatura de entrada del agua a la UTA es de 7°C y la de salida 10,5°C. La temperatura superficial del tubo de la batería hallada con el EES es 7°C (ver Figura 96), entra dentro de los márgenes.

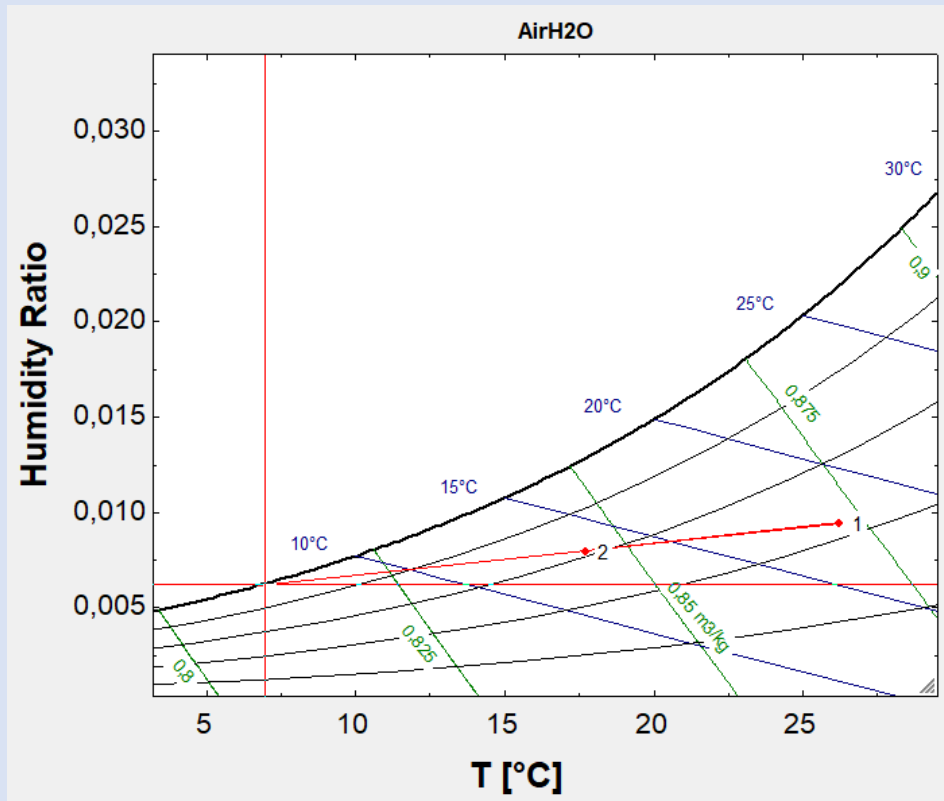


Figura 96: Temperatura superficial de la batería en el diagrama psicrométrico.  
Fuente: Elaboración propia.

A continuación, en la Figura 97, se muestran los datos registrados por el programa EES utilizados para la realización de los ejercicios.

| Sort | 1                      | 2                          | 3              | 4             | 5             | 6                                   |
|------|------------------------|----------------------------|----------------|---------------|---------------|-------------------------------------|
|      | $h_i$<br>[kJ/ kg a.s.] | $\omega_i$<br>[kg/kg a.s.] | $P_i$<br>[bar] | $rh_i$<br>[%] | $T_i$<br>[°C] | $v_i$<br>[m <sup>3</sup> / kg a.s.] |
| [1]  | 50,47                  | 0,009477                   | 1              | 0,441         | 26,2          | 0,8724                              |
| [2]  | 38,01                  | 0,007988                   | 1              | 0,626         | 17,7          | 0,8456                              |

Figura 97: Datos del problema.  
Fuente: Elaboración propia.

Se calcula el Factor de bypass:

$$w_2 = w_{sup} + F_b * (w_1 - w_{sup})$$

$$0,007988 = 0,0062 + F_b * (0,009477 - 0,0062)$$

$$F_b = 0,547$$

**g)** Se calcula la cantidad de agua producida:

- Se supone que el caudal volumétrico de aire en la UTA es  $1500 \frac{m^3}{h}$

$$\dot{m}_a = \frac{\dot{V}_1}{v_1} = \frac{1500 \left[ \frac{m^3}{h} \right]}{0,8724 \left[ \frac{m^3}{kg \text{ a. s.}} \right]} = 28,65 \left[ \frac{kg \text{ a. s.}}{min} \right] = 0,477 \left[ \frac{kg \text{ a. s.}}{s} \right]$$

$$\dot{m}_w = \dot{m}_a \Delta w = 28,65 \left[ \frac{kg \text{ a. s.}}{min} \right] * (0,009477 - 0,007988) \left[ \frac{kg}{kg \text{ a. s.}} \right] = 0,0426 \left[ \frac{kg}{min} \right]$$

$$m_w = 0,0426 \left[ \frac{kg}{min} \right] * 10 \text{ min} = 0,426 \text{ kg} = 0,426 \text{ mL}$$

La cantidad de agua condensada se mide con un vaso de precipitados y se compara con el resultado teórico (ver Figura 98).



Figura 98: Vaso de precipitados.

**h)** Flujo de calor intercambiado en el aire:

- Se supone que la temperatura del agua condensada es aproximadamente igual que la temperatura del aire expulsado.

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{sal} &= \dot{m} (h_1 - h_2) - \dot{m}_w h_w = \\ &= 28,65 \left[ \frac{kg}{min} \right] * (50,47 - 38,01) \left[ \frac{kJ}{kg} \right] - 0,0426 \left[ \frac{kg}{min} \right] * 4,18 \left[ \frac{kJ}{kg^\circ C} \right] * 17,7 [^\circ C] = \\ &= 353,83 \left[ \frac{kJ}{min} \right] = 5,89 [kW] \end{aligned}$$

**i)** Flujo de calor intercambiado en el circuito de agua:

$$\dot{Q}_{agua} = \dot{m} c_p \Delta T = 5,6 \left[ \frac{m^3}{h} \right] * 4,18 \left[ \frac{kJ}{kg^\circ C} \right] * (10,5 - 6) [^\circ C] = 29,26 [kW]$$

La potencia intercambiada en el circuito de agua es mayor. Un motivo de esta diferencia puede ser que la válvula de equilibrado desde donde se mide el caudal esta cerca de un codo, esto puede perturbar la medición.

j) Se calcula la recta de maniobra y el factor de calor sensible:

$$\text{Recta de maniobra (RM)} = \frac{\Delta h}{\Delta W} = \frac{h_2 - h_1}{w_2 - w_1} = \frac{(38,01 - 50,47) \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{kg a. s.}} \right]}{(7,988 - 9,477) \left[ \frac{\text{g}}{\text{kg a. s.}} \right]} = 8,368 \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{g}} \right]$$

$$\text{Factor de Calor Sensible (FCS)} = \frac{\dot{Q}_{sen}}{\dot{Q}_{tot}}$$

$$\dot{Q}_{tot} = \dot{m}_a (h_2 - h_1) = 0,477 \left[ \frac{\text{kg a. s.}}{\text{s}} \right] * (38,01 - 50,47) \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{kg a. s.}} \right] = -5,95 \text{ [kW]}$$

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{sen} &= \dot{m}_a (T_2 - T_1) * (c_{p_a} + w_2 c_{p_v}) = \\ &= 0,477 \left[ \frac{\text{kg a. s.}}{\text{s}} \right] * (17,7 - 26,2) [^\circ\text{C}] * \left( 1 \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{kg a. s. } ^\circ\text{C}} \right] + 0,007988 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{kg a. s.}} \right] * 1,8 \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{kg } ^\circ\text{C}} \right] \right) = \\ &= -4,12 \text{ [kW]} \end{aligned}$$

$$FCS = \frac{-4,12}{-5,95} = 0,692$$

#### **Materiales necesarios**

Instrumento Testo 480 con sonda de humedad y temperatura.

Vaso de precipitados.

Instrumento de equilibrado TA - CBI (aunque también se puede dar como dato).

#### **Bibliografía**

CENGEL, Y.; BOLES, M. Termodinámica.

ATECYR. Fundamentos de Climatización.

## TRANSMISIÓN DE CALOR EN LA TUBERÍA DEL FANCOIL

### **OBJETIVOS DOCENTES:**

Después de realizar esta actividad el alumno será capaz de:

- Entender conceptos de transmisión de calor unidireccional y estacionario.
- Manejar el instrumento TA – CBI para medir temperatura en una válvula de equilibrado.
- Manipular el instrumento Testo 480 para medir temperaturas.
- Utilizar el programa EES.

### **Antes de empezar...**

- Para registrar la temperatura superficial medir lo más cerca posible de la válvula de equilibrado y cubrir la sonda con aislante gris.
- Se empezarán a registrar las medidas una vez que la bomba de calor lleve 5 – 10 minutos en funcionamiento.

### **Enunciado**

Se necesita conocer coeficiente de convección interno en el interior de la tubería del fancoil. Para poder llegar a conocer este parámetro es necesario medir las temperaturas interior y superficial del tubo, además de conocer la temperatura ambiente. Para medir la temperatura superficial del tubo y la temperatura ambiente se dispone del instrumento Testo 480. Para registrar la temperatura interior se utilizará el TA – CBI en la válvula de equilibrado. Se tomarán medidas cada 30 segundos durante 5 minutos.

Datos:

$$d_{int} = 19,8 \text{ mm}$$

$$d_{ext} = 22 \text{ mm}$$

$$espesor_{aislante} = \frac{2}{10^{11}} \text{ mm}$$

$$\lambda_{metal} = 50 \text{ W/mK}$$

$$\lambda_{aislante} = 0,06 \text{ W/mK}$$

$$h_e = 25 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$h_i = ? \text{ W/m}^2\text{K}$$

### **Solución**

En la Figura 19 se observa una imagen tomada durante la realización de esta actividad en la que se ve como se han colocado los instrumentos.



Figura 19: Ensayo de comparación de temperaturas.

A continuación, en la Figura 99, se definen las variables en el EES y se plantean las ecuaciones necesarias para la resolución del problema.

|   |   |
|---|---|
| $r_{mi} = 0,0099 \text{ m}$ $r_{me} = 0,011 \text{ m}$ $r_{ai} = r_{me} \text{ m}$ $r_{ae} = r_{me} + e \text{ m}$ $Landa_m = 50 \text{ W/mK}$ $Landa_a = 0,06 \text{ W/mK}$ $h_e = 25 \text{ W/m}^2\text{K}$ $h_i = ? \text{ W/m}^2\text{K}$ $Tf_i = 38,02 \text{ }^\circ\text{C}$ $Ts_t = 36,76 \text{ }^\circ\text{C}$ $Tf_e = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ $e = \frac{2}{1, \times 10^{14}} \text{ m espesor del aislante}$ | $Rcond_{metal} = \frac{\ln \left[ \frac{r_{me}}{r_{mi}} \right]}{Landa_m \cdot 2 \cdot \pi} \text{ mK/W}$ $Rcond_{aisl} = \frac{\ln \left[ \frac{r_{ae}}{r_{ai}} \right]}{Landa_a \cdot 2 \cdot \pi} \text{ mK/W}$ $Rconv_e = \frac{1}{h_e \cdot 2 \cdot \pi \cdot r_{ae}} \text{ mK/W}$ $Rconv_i = \frac{1}{h_i \cdot 2 \cdot \pi \cdot r_{mi}} \text{ mK/W}$ $Rtotal = Rconv_i + Rcond_{metal} + Rcond_{aisl} + Rconv_e \text{ mK/W}$ $q = \frac{ Tf_e - Tf_i }{Rtotal} \text{ W/m}$ $\frac{Tf_e - Tf_i}{Rtotal} = \frac{Tf_e - Ts_a}{Rconv_e}$ $\frac{Tf_e - Tf_i}{Rtotal} = \frac{Tf_e - Ts_t}{Rconv_e + Rcond_{aisl}}$ |
|---|---|

Figura 99: Definición de variables y ecuaciones.  
Fuente: Elaboración propia.

Al ejecutar y resolver, el programa proporciona el valor de las variables (ver Figura 100). Se puede ver que el coeficiente de convección interno es  $h_i = 260,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

|   |   |                                       |
|---|---|---------------------------------------|
| <b>Unit Settings: SI C kPa kJ mass deg</b>        |   |                                       |
| $e = 2,000\text{E-}14 \text{ [m]}$                | $h_e = 25 \text{ [W/m}^2\text{K]}$          | $h_i = 260,7 \text{ [W/m}^2\text{K]}$ |
| $Rcond_{aisl} = 4,823\text{E-}12 \text{ [m-K/W]}$ | $Rcond_{metal} = 0,0003354 \text{ [m-K/W]}$ | $Rconv_e = 0,5787 \text{ [m-K/W]}$    |
| $r_{ai} = 0,011 \text{ [m]}$                      | $r_{me} = 0,011 \text{ [m]}$                | $r_{mi} = 0,0099 \text{ [m]}$         |
| $Ts_t = 36,76 \text{ [C]}$                        |   |                                       |
| $Landa_a = 0,06 \text{ [W/m-K]}$                  | $Landa_m = 50 \text{ [W/m-K]}$              | $q = 20,32 \text{ [W/m]}$             |
| $Rconv_i = 0,06167 \text{ [m-K/W]}$               | $Rtotal = 0,6408 \text{ [m-K/W]}$           | $r_{ae} = 0,011 \text{ [m]}$          |
| $Tf_e = 25 \text{ [C]}$                           | $Tf_i = 38,02 \text{ [C]}$                  | $Ts_a = 36,76 \text{ [C]}$            |

Figura 100: Solución de las variables.  
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 101 se muestra el circuito equivalente, se coloca los valores de las resistencias con el porcentaje sobre el total de cada una de ellas.

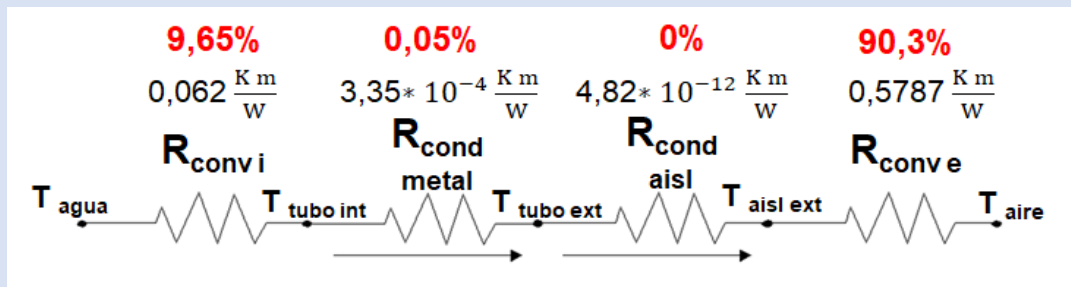


Figura 101: Circuito equivalente.

Fuente: Elaboración propia.

**Materiales necesarios**

Instrumento Testo 480 con sondas termopares de temperatura.

Instrumento de equilibrado TA – CBI.

**Bibliografía**

MARÍN, J.M.; MONNÉ, C. Transferencia de calor.

**CALCULAR EL CALOR INTERCAMBIADO EN EL FANCOIL**  
**POSIBLE EJERCICIO ADJUNTO AL ANTERIOR**

**OBJETIVOS DOCENTES:**

Después de realizar esta actividad el alumno será capaz de:

- Manejar el instrumento TA – CBI para medir caudal en una válvula de equilibrado.
- Manipular el instrumento Testo 480 para medir temperaturas en superficies de tuberías.

**Antes de empezar...**

- Aislar lo mejor posible las sondas de temperatura.
- Leer y comprender las instrucciones de uso del instrumento TA – CBI para medir caudal.

**Condiciones más adecuadas para la realización**

- Medir la temperatura lo más cerca posible de la entrada y salida y cubrir la sonda con aislante.

**Enunciado**

Además de lo calculado anteriormente, calcula el flujo de calor intercambiado en las baterías del fancoil. Para ello será necesario conocer el caudal volumétrico de agua que circula por el fancoil y las temperaturas de entrada y salida.

En la instalación de la nave se observan numerosas válvulas de equilibrado ¿Qué es una válvula de equilibrado? ¿Cuál es su función? ¿Cómo funciona?

**Solución**

$$T_e = 36,7^\circ\text{C} \quad \dot{m} = 0,77 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$T_s = 31,3^\circ\text{C}$$

$$\frac{dE_{vc}}{dt} = \sum \dot{Q}_{vc} - \sum \dot{W}_{vc} + \sum \dot{m}_e \left( h_e + \frac{c_e^2}{2} + g * z_e \right) - \sum \dot{m}_s \left( h_s + \frac{c_s^2}{2} + g * z_s \right)$$

$$0 = \sum \dot{Q}_{vc} + \sum \dot{m}_e h_e - \sum \dot{m}_s h_s \quad \rightarrow \quad \dot{Q} = \dot{m} (h_s - h_e)$$

$$\dot{Q} = \dot{m} * c_p * (T_s - T_e) = 0,77 \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right] * 4,18 \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \right] * (31,3 - 36,7) [^\circ\text{C}] = -4,83 \text{ [kW]}$$

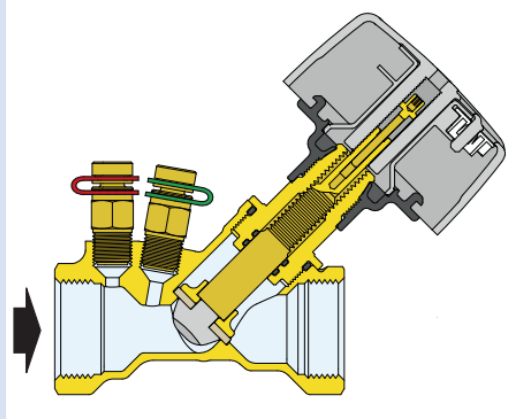
Se cede al ambiente 4,83 [kW]

Consideraciones e hipótesis:

1. Se analiza como un volumen de control que funciona en estado estacionario.
2. Los estados inicial y final son estados de equilibrio. No existe modificación de energía cinética o potencial.



La válvula de equilibrado es un dispositivo hidráulico que regula el caudal del líquido que la atraviesa. El paso del fluido que circula por el interior se regula con el cabezal giratorio, que actúa sobre el obturador. En función de la presión diferencial obtenida se ajusta el caudal. En la Figura 102 se puede observar las dos tomas de presión y el obturador.



*Figura 102: Interior de una válvula de equilibrado.*

*Fuente: CALEFFI.*

**Materiales necesarios**

Instrumento Testo 480 con sondas termopares de temperatura.

Instrumento de equilibrado TA – CBI.

**Bibliografía**

ATECYR. Fundamentos de Climatización.

Manual de instrucciones TA – CBI.

CALEFFI. Válvula de equilibrado. (Página web).