

Trabajo Fin de Grado.
Grado en Ingeniería de las Tecnologías Industriales.

Normativa aplicable a enfriadoras y bombas de calor
aire-agua en sistemas de climatización para
condiciones de plena carga

Autor: Luis Ferrer Hernández

Tutor: Luis Pérez-Lombard Martín de Oliva

Departamento de Ingeniería Energética
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2026



Trabajo Fin de Grado
Grado en Ingeniería de las Tecnologías Industriales

Normativa aplicable a enfriadoras y bombas de calor aire-agua en sistemas de climatización para condiciones de plena carga

Autor:

Luis Ferrer Hernández

Tutor:

Luis Pérez-Lombard Martín de Oliva

Profesor titular

Departamento de Ingeniería Energética

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2026

Trabajo Fin de Grado: Normativa aplicable a enfriadoras y bombas de calor aire-agua en sistemas de climatización para condiciones de plena carga

Autor: Luis Ferrer Hernández

Tutor: Luis Pérez-Lombard Martín de Oliva

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2026

El Secretario del Tribunal

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es analizar la normativa aplicable a enfriadoras y bombas de calor aire-agua utilizadas en sistemas de climatización, centrándose en condiciones de funcionamiento a plena carga. Se pretende establecer un marco técnico y regulatorio que permita caracterizar el comportamiento de estos equipos, evaluar su rendimiento y verificar su conformidad con los requisitos exigidos por las principales normas europeas.

El estudio se estructura en torno a tres ejes fundamentales: la descripción de los equipos aire-agua y sus indicadores clave de funcionamiento, la definición de los procedimientos de ensayo conforme a la norma UNE-EN 14511, y el análisis de mercado basado en datos extraídos de las plataformas EPREL y EUROVENT.

Asimismo, se realiza una aplicación práctica de los procedimientos definidos sobre un equipo comercial, validando su comportamiento en refrigeración y calefacción mediante cálculos normalizados. Se incluyen correcciones de potencia eléctrica y térmica, y se contrastan los resultados obtenidos con los valores declarados por el fabricante.

Finalmente, se lleva a cabo un estudio de mercado que permite identificar la distribución de equipos por rangos de potencia, así como la evolución del rendimiento energético (EER) en función de la potencia frigorífica. Este análisis revela tendencias comerciales, segmentación de producto y patrones de eficiencia, aportando una visión actualizada del estado del sector y de la lógica detrás del diseño y comercialización de estos sistemas.

ÍNDICE

Resumen	7
Índice de Tablas	9
Índice de Figuras	10
1 Introducción	11
1.1. <i>Objetivos</i>	11
1.2. <i>Alcance y limitaciones</i>	12
1.3. <i>Marco normativo</i>	12
1.3.1. Norma EN 14511	12
1.3.2. Reglamento (UE) 2019/1781: Ecodiseño de motores eléctricos	13
1.3.3. RITE	13
2 Enfriadoras y BdC aire-agua	14
2.1. <i>Enfriadora aire-agua</i>	14
2.2. <i>Bomba de calor aire-agua</i>	15
2.3. <i>Definiciones</i>	16
2.4. <i>Indicadores</i>	18
2.4.1. Potencias	18
2.4.2. Rendimientos	19
3 Procedimientos de ensayo	20
3.1. <i>Banco de ensayo</i>	20
3.2. <i>Equipo a ensayar</i>	21
3.3. <i>Ensayo a plena carga</i>	21
3.3.1. Corrección de la Potencia Eléctrica absorbida	25
3.3.2. Corrección de las Potencias Térmicas	25
3.3.3. Cálculos en Refrigeración – Ferroli OMNIA S 3.2 16	25
3.3.4. Cálculos en Calefacción – Ferroli OMNIA S 3.2 16	26
3.3.5. Resultados finales	27
4 Requisitos	28
4.1. <i>RITE</i>	28
4.2. <i>Reglamento 2019/1781</i>	28
5 Análisis de mercado	30
5.1. <i>Distribución de los equipos por rango de potencia</i>	30
5.2. <i>Distribución de EER según Potencia Frigorífica</i>	32
6 Conclusiones	34
Referencias	35

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Potencias	16
Tabla 2. Temperaturas	16
Tabla 3. Caudales	17
Tabla 4. Diferencias de presión	17
Tabla 5. Rendimientos	17
Tabla 6. Condiciones de ensayo enfriadoras aire-agua	22
Tabla 7. Condiciones de ensayo BdC aire-agua	22
Tabla 8. Datos de catálogo - Refrigeración	25
Tabla 9. Cálculos Refrigeración	26
Tabla 10. Datos del catálogo - Calefacción	26
Tabla 11. Cálculos Calefacción	27
Tabla 12. Resultados finales	27

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Funcionamiento Enfriadora aire-agua	14
Figura 2. Funcionamiento Bomba de Calor aire-agua	15
Figura 3. Esquema banco de ensayo	20
Figura 4. Ferroli OMNIA S 3.2 16	21
Figura 5. Eficiencia de las Bombas Integradas	23
Figura 6. Eficiencia de las Bombas No Integradas	24
Figura 7. Distribución de BdC por rangos de potencias	31
Figura 8. Distribución de BdC de baja temperatura por rangos de potencias	31
Figura 9. Distribución de enfriadoras por rangos de potencias	32
Figura 10. Distribución del EER según potencia frigorífica	33

1 INTRODUCCIÓN

1.1. OBJETIVOS

El presente documento expone el trabajo realizado, siendo éste estructurado en distintas fases.

La primera de ellas consiste en definir cuáles son los objetivos del trabajo, para poder delimitar con precisión el propósito del estudio, orientar el marco normativo y la metodología empleada y establecer los criterios de evaluación de los resultados. Identificar desde el inicio qué se pretende lograr establece una guía clara que ayuda a no desviarse de los procedimientos y contenidos normativos correctos para este caso.

En primer lugar, se va a tratar de describir y analizar los equipos aire-agua utilizados en aplicaciones de climatización de recintos. Se busca ofrecer una visión técnica para poder establecer un análisis y caracterización de cuál es la situación actual con respecto a los equipos seleccionados para este caso, que se erige como objetivo principal del trabajo.

También se pretende definir las magnitudes e indicadores clave que se hacen necesarias para caracterizar el comportamiento de estos equipos, creando y asentando una base de conocimiento de estos parámetros para su posterior uso.

Otro objetivo fundamental es describir los procedimientos de ensayo aplicables a estos sistemas, siguiendo la normativa correspondiente. Se describirán las condiciones ambientales y del equipo en uso a plena carga, influyendo en parámetros como temperaturas del agua o la temperatura del aire exterior, diferenciando en algunos casos distintos climas atendiendo a la variedad geográfica y meteorológica existente en Europa.

Tras definir los procedimientos de ensayo correctamente, el siguiente objetivo será aplicarlos a un equipo comercial que cumpla la normativa vigente. Se seleccionará un equipo disponible en la base de datos facilitada por el *Registro Europeo de Productos para el Etiquetado Energético (EPREL)*, y con los datos de la ficha técnica suministrada por el fabricante que elabora la asociación *Keymark*, se realizarán los cálculos establecidos y necesarios en condiciones de carga.

Como fase final, se plantea la realización de un análisis de mercado que servirá para contextualizar el estado de comercio de los equipos. Este apartado constará de una evaluación cuantitativa basada en la información técnica recopilada de los registros oficiales de EPREL y la organización Eurovent. El procedimiento se centrará en categorizar el volumen de equipos disponibles, examinando la distribución de las distintas tipologías abordadas en el proyecto según sus rangos de potencia térmica, y analizaremos entre qué valores se encuentra el EER según potencias frigorífica. De este modo, se podrá identificar la oferta predominante para cada segmento de potencia, diferenciando entre enfriadoras y los distintos tipos de bombas de calor.

1.2. ALCANCE Y LIMITACIONES

Actualmente, la normativa europea cubre los requisitos y procedimientos para prácticamente la totalidad de los equipos de climatización. Concretamente, las normativas que sirven como referencia y marcan las pautas de los procedimientos de ensayo es la EN 14511, la cual describe y detalla las condiciones y procedimientos de ensayo a potencia nominal.

Para esta norma, se distinguen cuatro grupos principales de equipos: aire-aire, agua-aire, aire-agua y agua-agua. Esta terminología indica el tipo de fluido del que la máquina extrae o cede calor, tanto en la fuente exterior como en el circuito interior. De este modo, los equipos aire-aire intercambian energía entre el aire exterior y el aire interior de un local; los sistemas agua-aire transfieren calor desde un circuito de agua hacia el aire interior; los equipos aire-agua captan energía del aire exterior y la entregan al agua de un circuito hidráulico; y, finalmente, los sistemas agua-agua realizan ambos intercambios térmicos mediante agua, generalmente asociados a instalaciones geotérmicas o redes hidráulicas. Esta clasificación permite normalizar las condiciones de ensayo y garantizar que los valores de rendimiento obtenidos sean comparables entre distintos fabricantes y tecnologías.

Para este trabajo, se limitará el estudio a los equipos aire-agua, existiendo gran variedad dentro de ellos y teniendo varias aplicaciones prácticas. Generalmente para estos equipos, se distinguirá entre enfriadoras y bombas de calor aire-agua. Las enfriadoras cubren únicamente la aplicación de refrigeración, como se deja entrever por su nombre, mientras que las bombas de calor sirven típicamente para calefacción, aunque éstas pueden disponer de un método para revertir su ciclo térmico, mediante la inversión del evaporador y el condensador.

Por tanto, el resto de los equipos que la normativa menciona quedan fuera del alcance de este documento, siendo por tanto los equipos objetivo las enfriadoras y las bombas de calor aire-agua, que se describirán y se detallará su funcionamiento en su correspondiente apartado.

1.3. MARCO NORMATIVO

El marco normativo constituye la base sobre la que se desarrolla este trabajo, ya que establece los criterios técnicos y legales que regulan el diseño, ensayo y comercialización de los equipos aire agua. En este apartado se presentan de forma ordenada las principales normas y reglamentos aplicables, destacando su alcance, objetivos y la manera en que condicionan el análisis realizado.

1.3.1. Norma EN 14511

La norma UNE-EN 14511 constituye el principal referente europeo para la evaluación de las prestaciones de las enfriadoras de confort y bombas de calor eléctricas aire-agua. Su objetivo fundamental es homogeneizar los criterios de ensayo y de declaración de prestaciones, de manera que los fabricantes, organismos de control y usuarios dispongan de un marco común que garantice la comparabilidad y fiabilidad de los valores declarados.

En términos generales, la norma establece las condiciones de ensayo, los métodos de medición y los requisitos mínimos de funcionamiento que deben cumplir estos equipos. De este modo, se asegura que parámetros característicos como el EER (Energy Efficiency Ratio) en modo refrigeración y el COP (Coefficient of Performance) en modo calefacción se determinen bajo condiciones estandarizadas, evitando discrepancias derivadas de procedimientos heterogéneos.

La estructura de la norma se organiza en cuatro partes diferenciadas:

- **Parte 1: Términos y definiciones:** Recoge la terminología oficial y las magnitudes características, garantizando un lenguaje técnico uniforme en el sector.
- **Parte 2: Condiciones de ensayo:** Define los estados de carga, temperaturas de referencia y demás parámetros ambientales que deben reproducirse en laboratorio para evaluar el rendimiento de los equipos.
- **Parte 3: Métodos de ensayo:** Establece los procedimientos de medida de las variables fundamentales (potencia frigorífica, potencia calorífica, consumos eléctricos, caudales, etc.), así como las tolerancias admisibles en la instrumentación.
- **Parte 4: Requisitos de funcionamiento, marcado e instrucciones:** Incluye las exigencias relativas a la seguridad, la información mínima que debe acompañar al producto y las condiciones de marcado.

1.3.2. Reglamento (UE) 2019/1781: Ecodiseño de motores eléctricos

El Reglamento (UE) 2019/1781, desarrollado bajo el marco de la Directiva 2009/125/CE, establece los requisitos de diseño ecológico aplicables tanto a los motores eléctricos de inducción como a los variadores de velocidad. Esta normativa actualiza y amplía el alcance legislativo anterior, fijando unos umbrales de eficiencia energética más estrictos que condicionan la introducción de estos equipos en el mercado de la Unión Europea. Su propósito fundamental es impulsar la transición tecnológica hacia clases de eficiencia superiores (como IE3 e IE4), abarcando un rango de potencias y tensiones más extenso, eliminando así antiguas exenciones que permitían la comercialización de equipos menos eficientes.

Además de los límites de consumo, este reglamento regula aspectos complementarios cruciales para la transparencia técnica. Obliga a los fabricantes a facilitar información detallada no solo sobre el rendimiento a plena carga, sino también sobre el comportamiento del equipo en distintos puntos de funcionamiento.

En este contexto, el Reglamento (UE) 2019/1781 no solo actúa como un filtro de calidad para el mercado europeo, sino que establece el marco de referencia técnico aplicable al presente estudio. Concretamente, las disposiciones relativas a la documentación técnica y a las curvas de rendimiento son de aplicación directa para la determinación y cálculo de la eficiencia del motor, un procedimiento analítico que se desarrollará posteriormente.

1.3.3. RITE

El Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) constituye la normativa nacional de referencia en materia de climatización y eficiencia energética en España. Su objetivo principal es establecer las condiciones técnicas y exigencias mínimas que deben cumplir las instalaciones térmicas en los edificios, garantizando tanto la seguridad como el confort de los usuarios.

El reglamento promueve la eficiencia energética mediante la fijación de criterios de diseño y dimensionamiento de las instalaciones, fomentando además el uso de energías renovables en sistemas de calefacción, refrigeración y producción de agua caliente sanitaria. Asimismo, regula aspectos relacionados con el mantenimiento y las inspecciones periódicas, asegurando que las instalaciones conserven sus prestaciones a lo largo de su vida útil y que se reduzcan las emisiones contaminantes.

2 ENFRIADORAS Y BDC AIRE-AGUA

2.1. ENFRIADORA AIRE-AGUA

Una enfriadora aire-agua es un equipo térmico que utiliza un ciclo frigorífico para extraer calor del agua y cederlo al aire exterior, enfriando así el agua que se distribuye por una instalación. Se emplea principalmente en sistemas de climatización centralizada, tanto en edificios terciarios como industriales, y también en procesos donde se requiere agua fría para refrigeración.

Se denominan aire-agua debido a que el evaporador está en contacto con el agua, que se enfría, y el condensador está en contacto con el aire exterior, que recibe el calor extraído. A continuación se muestra una imagen que representa el ciclo térmico del funcionamiento de una enfriadora de agua.

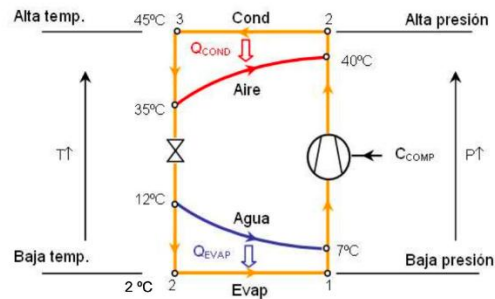


Figura 1. Funcionamiento Enfriadora aire-agua

El funcionamiento se basa en un ciclo termodinámico cerrado, en el que un refrigerante circula por distintos componentes: evaporador, compresor, condensador y válvula de expansión. El proceso comienza en el evaporador, donde el refrigerante absorbe calor del agua que circula por el sistema, provocando una disminución de su temperatura. Este calor se transfiere al refrigerante, que pasa de estado líquido a vapor.

A continuación, el vapor entra en el compresor, donde se incrementan su presión y temperatura. Este compresor suele estar accionado eléctricamente y representa el principal consumo energético del sistema. El refrigerante caliente y presurizado se dirige al condensador, donde cede el calor al aire exterior. Como resultado, el aire se calienta, mientras el refrigerante se condensa y vuelve a estado líquido.

Finalmente, el refrigerante pasa por una válvula de expansión, que reduce su presión y temperatura antes de volver al evaporador, cerrando así el ciclo. Durante este proceso, el agua que circula por el evaporador se enfría, mientras el aire exterior se calienta al absorber el calor cedido en el condensador.

Este tipo de enfriadoras se caracterizan por su versatilidad y simplicidad, ya que no requieren elementos adicionales como torres de refrigeración o circuitos de agua exterior. Además, al utilizar el aire como foco de disipación, resultan especialmente adecuadas en edificios donde el espacio o la disponibilidad de agua es limitada. Su eficiencia depende en gran medida de las condiciones climáticas, pues en ambientes muy calurosos la capacidad de disipar calor se reduce.

2.2. BOMBA DE CALOR AIRE-AGUA

Una bomba de calor aire-agua es un equipo térmico que emplea un ciclo frigorífico para extraer calor del aire exterior y transferirlo al agua de una instalación, elevando su temperatura para su uso en calefacción o producción de agua caliente sanitaria. Se utiliza principalmente en aplicaciones residenciales y terciarias, donde se requiere una solución eficiente y renovable para climatización y ACS.

Al igual que en las enfriadoras aire-agua, el equipo se denomina así por la relación entre los dos fluidos de intercambio: el evaporador está en contacto con el aire exterior, del cual se extrae el calor, y el condensador con el agua del circuito, que se calienta. A diferencia de las enfriadoras, algunas bombas de calor tienen la capacidad de invertir el ciclo frigorífico, pudiendo producir de esta manera frío o calor según convenga. A continuación mostraremos su funcionamiento correspondiente para el ciclo de calefacción, que es el que difiere de las enfriadoras.

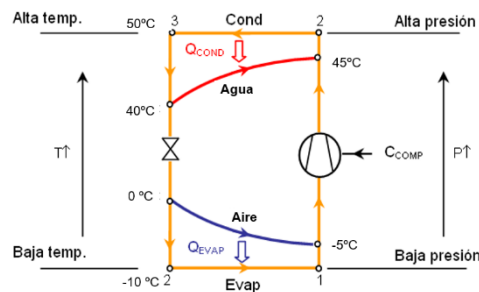


Figura 2. Funcionamiento Bomba de Calor aire-agua

El funcionamiento se basa en el mismo ciclo termodinámico cerrado que en las enfriadoras, con circulación de refrigerante a través de los cuatro componentes principales: evaporador, compresor, condensador y válvula de expansión. En este caso, el proceso comienza en el evaporador, donde el refrigerante absorbe calor del aire exterior, incluso cuando este se encuentra a baja temperatura. Este calor permite que el refrigerante se evapore, pasando de estado líquido a vapor.

El vapor entra en el compresor, donde se incrementan su presión y temperatura. El refrigerante caliente y presurizado se dirige al condensador, donde cede el calor al agua del circuito hidráulico. Como resultado, el agua se calienta, mientras el refrigerante se condensa y vuelve a estado líquido.

Finalmente, el refrigerante pasa por una válvula de expansión, que reduce su presión y temperatura antes de volver al evaporador, cerrando así el ciclo. Durante este proceso, el aire exterior se enfría al ceder calor, mientras el agua que circula por el condensador se calienta, quedando disponible para calefacción o ACS.

Este tipo de bombas de calor se caracteriza por su capacidad para aprovechar la energía térmica del aire ambiente, incluso en condiciones exteriores desfavorables. Su eficiencia se mide mediante coeficientes estacionales como el SCOP, y depende tanto del diseño del sistema como de las condiciones climáticas. Al tratarse de una tecnología renovable, su uso contribuye al cumplimiento de los objetivos de eficiencia energética establecidos por la normativa europea.

2.3. DEFINICIONES

▪ Potencias

Normativa	Símbolo		Unidad	Definición
	Norma	TFG		
Potencia calorífica	P_H	Q_{cal}	kW	Potencia de calefacción de la BdC
Potencia calorífica medida	Φ_{thi}	$Q_{cal,m}$	kW	Potencia de calefacción medida en el ensayo
Potencia frigorífica	P_C	Q_{ref}	kW	Potencia frigorífica de la enfriadora
Potencia frigorífica medida	Φ_{tci}	$Q_{ref,m}$	kW	Potencia de refrigeración medida en el ensayo
Potencia térmica de la bomba	Φ_b	Q_{bom}	kW	Potencia térmica transferida por la bomba
Potencia hidráulica	P_{hyd}	P_{hid}	kW	Potencia de circulación de la bomba
Potencia eléctrica de la bomba	$\Phi_{elec m}$	$P_{ele,b}$	kW	Potencia absorbida por la bomba
Potencia eléctrica del equipo	P_E	P_{ele}	kW	Potencia eléctrica consumida por la unidad

Tabla 1. Potencias

▪ Temperaturas

Normativa	Símbolo		Unidad	Definición
	Norma	TFG		
Temperatura de entrada	t_{in}	T_{ew}	°C	Temperatura de entrada al intercambiador de agua
Temperatura de salida	t_{out}	T_{sw}	°C	Temperatura de salida al intercambiador de agua
Temperatura del bulbo seco a la entrada	T_{ent}	T_{AE}	°C	Temperatura seca de entrada al intercambiador de aire
Temperatura del bulbo húmedo a la entrada	$T_{ent,h}$	$T_{AE,h}$	°C	Temperatura húmeda exterior

Tabla 2. Temperaturas

- Caudales

Normativa	Símbolo		Unidad	Definición
	Norma	TFG		
Caudal volumétrico	q_v	\dot{V}_w	m ³ /s	Caudal de agua que circula por el intercambiador

Tabla 3. Caudales

- Diferencias de presión

Normativa	Símbolo		Unidad	Definición
	Norma	TFG		
Diferencia de presión estática externa medida	Δp_e	ΔP_{ext}	kPa	Diferencia de presión del agua
Diferencia de presión estática interna medida	Δp_i	ΔP_{int}	kPa	Diferencia de presión del agua

Tabla 4. Diferencias de presión

- Rendimientos

Normativa	Símbolo		Unidad	Definición
	Norma	TFG		
Factor de eficiencia energética	EER	EER	-	Potencia frigorífica entre potencia eléctrica (condiciones nominales)
Coficiente de rendimiento	COP	COP	-	Potencia calorífica entre potencia eléctrica (condiciones nominales)
Eficiencia global de la bomba	η_b	η_{bom}	-	Relación entre la potencia hidráulica de la bomba y su potencia eléctrica absorbida
Nivel de eficiencia del motor	IE	η_{mot}	-	Eficiencia del motor eléctrico (Reglamento 2019/1781)

Tabla 5. Rendimientos

2.4. INDICADORES

2.4.1. Potencias

▪ Potencias de Refrigeración

- Bomba Integrada

$$Q_{\text{ref}} = Q_{\text{ref,m}} + Q_{\text{bom}} \text{ [kW]} \quad (1)$$

- Bomba No Integrada

$$Q_{\text{ref}} = Q_{\text{ref,m}} - Q_{\text{bom}} \text{ [kW]} \quad (2)$$

▪ Potencias de Calefacción

- Bomba Integrada

$$Q_{\text{ref}} = Q_{\text{ref,m}} - Q_{\text{bom}} \text{ [kW]} \quad (3)$$

- Bomba No Integrada

$$Q_{\text{ref}} = Q_{\text{ref,m}} + Q_{\text{bom}} \text{ [kW]} \quad (4)$$

▪ Corrección de Potencias medidas – Bomba Integrada

- Rotor Húmedo

$$P_{\text{ele,b}} \cdot (1 - \eta_{\text{bom}}) \text{ [kW]} \quad (5)$$

- Rotor seco

$$P_{\text{ele,b}} \cdot (\eta_{\text{mot}} - \eta_{\text{bom}}) \text{ [kW]} \quad (6)$$

▪ Corrección de Potencias medidas – Bomba No Integrada

- $P_{\text{hid}} \leq 300 \text{ W}$

$$P_{\text{ele,b}} \cdot (1 - \eta_{\text{bom}}) \text{ [kW]} \quad (7)$$

- $P_{\text{hid}} > 300 \text{ W}$

$$P_{\text{ele,b}} \cdot (\eta_{\text{mot}} - \eta_{\text{bom}}) \text{ [kW]} \quad (8)$$

▪ Potencia Eléctrica absorbida

$$P_{\text{ele}} = P_{\text{ele,m}} + P_{\text{ele,b}} \text{ [kW]} \quad (9)$$

- **Corrección de la Potencia Eléctrica absorbida por la bomba**

- Bomba Integrada

$$P_{\text{ele,b}} = \frac{\dot{V}_w \cdot \Delta P_{\text{ext}}}{\eta_{\text{bom}}} [\text{kW}] \quad (10)$$

- Bomba No Integrada

$$P_{\text{ele,b}} = \frac{\dot{V}_w \cdot \Delta P_{\text{int}}}{\eta_{\text{bom}}} [\text{kW}] \quad (11)$$

2.4.2. Rendimientos

- **Factor de eficiencia energética**

$$\text{EER} = \frac{Q_{\text{ref}}}{P_{\text{ele}}} \quad (12)$$

- **Coficiente de rendimiento**

$$\text{COP} = \frac{Q_{\text{cal}}}{P_{\text{ele}}} \quad (13)$$

3 PROCEDIMIENTOS DE ENSAYO

3.1. BANCO DE ENSAYO

A diferencia de otras normativas de ensayo que estandarizan el diseño de cámaras calorimétricas o túneles de viento, la norma UNE-EN 14511 no establece requisitos específicos ni una configuración detallada del recinto de ensayo para equipos aire-agua. Su alcance se limita a definir las condiciones de operación, las magnitudes que deben medirse y los criterios de cálculo y tolerancia asociados a la verificación de prestaciones. En este sentido, la UNE-EN 14511 adopta un enfoque de “caja negra” respecto al recinto de ensayo: la norma indica qué debe lograrse (el estado del aire y del agua a la entrada y salida de la unidad), pero no prescribe cómo debe construirse la instalación para garantizar dichos estados. No se incluyen esquemas de principio, directrices sobre el dimensionamiento de intercambiadores auxiliares ni especificaciones sobre la geometría del recinto que eviten recirculaciones de aire. Esta ausencia de pautas constructivas obliga a definir un esquema propio que traduzca los requisitos abstractos de la norma en una instalación física concreta y operativa.

La propuesta del diseño del banco de ensayo responde a esta necesidad y se fundamenta en un circuito hidráulico cerrado que permite el intercambio térmico con el equipo bajo prueba, ya sea una enfriadora aire-agua o una bomba de calor aire-agua. El sistema se ha instrumentado de manera que se registren todas las magnitudes necesarias para la caracterización termohidráulica y eléctrica del equipo, asegurando que los resultados obtenidos sean reproducibles y comparables con los criterios normativos. De este modo, se dispone de una base sólida para el cálculo de las capacidades térmicas mediante el método de las entalpías.

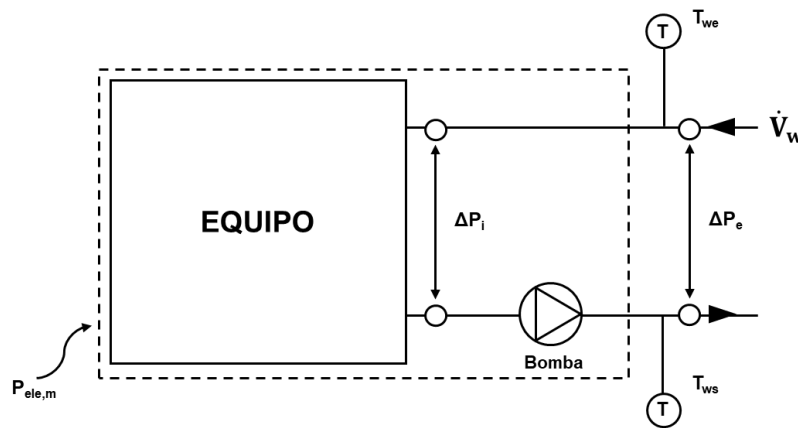


Figura 3. Esquema banco de ensayo

Durante el ensayo se registran la potencia eléctrica absorbida por el equipo, el caudal de agua que circula por el circuito, las temperaturas de entrada y salida del agua y la diferencia de presión entre la entrada y la salida del equipo. Estas magnitudes constituyen la información mínima indispensable para evaluar el comportamiento del sistema. A partir de ellas, y aplicando el método de las entalpías, se determinan las potencias frigorífica y calorífica medidas, en función del modo de funcionamiento del equipo. De esta manera, el banco de ensayo materializa en la práctica los requisitos de la norma, proporcionando un procedimiento claro y verificable para la obtención de resultados.

3.2. EQUIPO A ENSAYAR

El equipo seleccionado para los ensayos es una bomba de calor aire-agua del fabricante Ferroli, modelo OMNIA S 3.2 16. Se trata de una unidad reversible, sin bomba de circulación integrada, destinada a climatización mediante producción de agua, adecuada para validar el comportamiento en calefacción y en refrigeración bajo condiciones normalizadas.



Figura 4. Ferroli OMNIA S 3.2 16

Este equipo está disponible en la base de datos de *EPREL* (número de registro: 1150459), por lo que cumple los requisitos mínimos indicados por los reglamentos aplicables.

En términos de prestaciones nominales, el fabricante declara una potencia frigorífica de 14 kW con un EER de 2,5, y una potencia calorífica de 16 kW con un COP de 3,5 para este equipo, según se puede comprobar en su ficha técnica. Estos valores servirán como referencia para el ensayo a plena carga y para contrastar el rendimiento medido frente a las especificaciones del fabricante.

Asimismo, en la ficha técnica que el fabricante proporciona se indica que la unidad está incluida en el proyecto de la marca de certificación europea *Keymark*. De esta manera, es posible comprobar públicamente el resultado de los ensayos, disponibles en la página web de esta asociación. Con estos datos proporcionados, que posteriormente se comentarán con mayor detalle, es factible realizar los procedimientos referentes a la norma EN 14511 respecto al cálculo de las eficiencias en refrigeración y calefacción a plena carga.

3.3. ENSAYO A PLENA CARGA

El ensayo a plena carga tiene como objetivo determinar EER y COP, los cuales se determinan con las ecuaciones (12) y (13). Para obtenerlos nos hacen falta las prestaciones nominales del equipo en condiciones nominales, que se consiguen mediante el Método de ensayo de Entalpía del Líquido, tal y como establecen las condiciones y métodos de ensayo de la norma EN 14511. Este procedimiento permite obtener la potencia de calefacción y refrigeración medidas, garantizando que los resultados sean reproducibles y comparables entre distintos equipos y fabricantes.

Para ello, se definen unas condiciones ambientales y de funcionamiento específicas, que aseguran que el ensayo se realiza en un marco homogéneo. Dichas condiciones se recogen en las tablas siguientes, diferenciando el modo de calefacción y el modo de refrigeración.

Aire exterior		Agua		
T _{AE}	T _{AE,h}	T _{ew}	T _{sw}	
35	-	12	7	Condiciones estándar
		23	18	Tª suave

Tabla 6. Condiciones de ensayo enfriadoras aire-agua

Aire exterior		Agua		
T _{AE}	T _{AE,h}	T _{ew}	T _{sw}	
7	6	30	35	Tª Baja
		40	45	Tª Intermedia
		47	55	Tª Media
		55	65	Tª Alta

Tabla 7. Condiciones de ensayo Bdc aire-agua

Una vez fijadas las condiciones de ensayo, se procede al cálculo de las potencias medidas. En primer lugar, la potencia eléctrica absorbida medida deberá obtenerse mediante medición directa en el ensayo, registrando la potencia activa consumida por la unidad bajo las condiciones de ensayo especificadas. En segundo lugar, respecto a las potencias térmicas medidas, se obtienen a partir de las variaciones de temperatura y caudal del fluido caloportador en el intercambiador de calor, aplicando el método de la entalpía del líquido. De esta forma se determina la potencia térmica transferida en calefacción o refrigeración.

$$Q_{\text{ref,m}} = \dot{V}_w \cdot \rho \cdot (C_{pe} \cdot T_{ew} - C_{ps} \cdot T_{sw}) [\text{kW}]$$

$$Q_{\text{cal,m}} = \dot{V}_w \cdot \rho \cdot (C_{ps} \cdot T_{sw} - C_{pe} \cdot T_{ew}) [\text{kW}]$$

Los valores de potencia medida obtenidos en el ensayo deben ser objeto de una corrección energética que tenga en cuenta la influencia de la bomba de circulación, tanto en el balance energético como en el térmico del sistema, sin embargo, para ello necesitamos primero conocer la eficiencia de dicha bomba de circulación.

La norma EN 14511 establece unos valores de eficiencia de las bombas de circulación. Para las bombas integradas en la unidad, esta eficiencia depende del tipo de rotor y de la potencia hidráulica de la bomba. Como sabemos, la potencia hidráulica de una bomba se obtiene mediante el producto de su caudal volumétrico (l/s) y la diferencia de presión (kPa) que ha de superar ese caudal, obteniéndose la potencia hidráulica en W.

- **Rotor húmedo:**

$$\eta_{\text{bom}} = \frac{0,35844 \cdot P_{\text{hid}}}{1,7 \cdot P_{\text{hid}} + 17 \cdot [1 - e^{-0,3 \cdot P_{\text{hid}}}] } \cdot \frac{0,49}{0,23}$$

- **Rotor seco con $P_{\text{hid}} \leq 500$ W:**

$$\eta_{\text{bom}} = 0,0721 \cdot P_{\text{hid}}^{0,3183}$$

- **Rotor seco con $P_{\text{hid}} > 500$ W:**

$$\eta_{\text{bom}} = 0,092 \cdot \ln(P_{\text{hid}}) - 0,0403$$

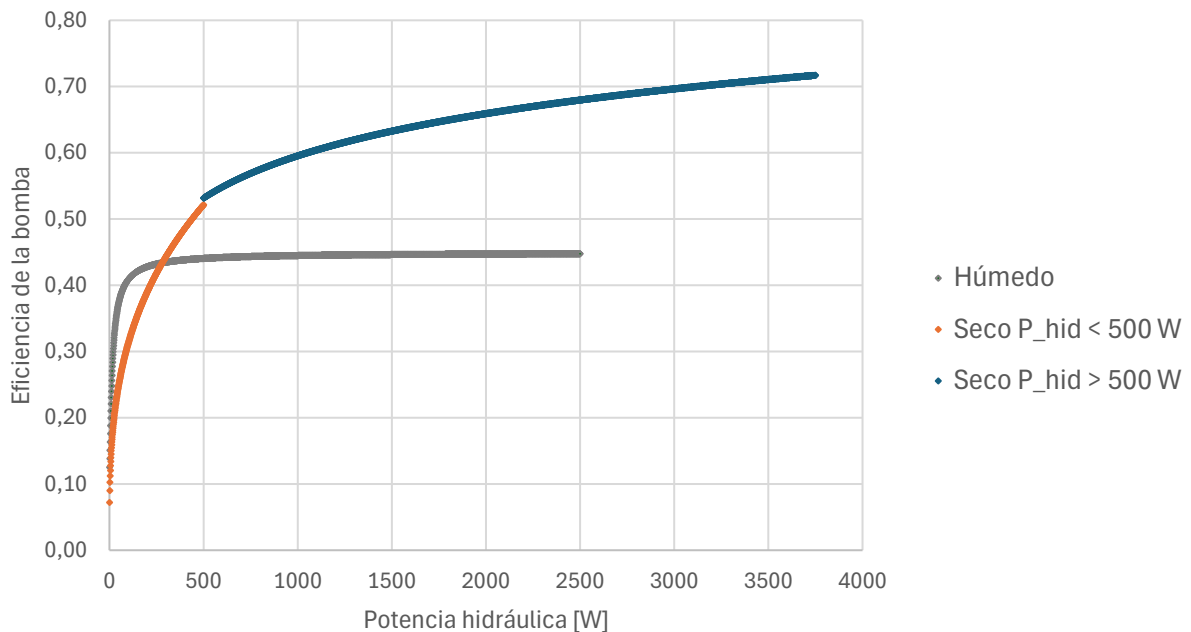


Figura 5. Eficiencia de las Bombas Integradas

Por otra parte, en las bombas no integradas la norma establece valores límite escalonados en función de la potencia hidráulica desarrollada. En lugar de una expresión continua, se definen tres escalones según su potencia hidráulica.

- $P_{hid} \leq 300 \text{ W}$:

$$\eta_{bom} = \frac{0,35844 \cdot P_{hid}}{1,7 \cdot P_{hid} + 17 \cdot [1 - e^{-0,3 \cdot P_{hid}}]} \cdot \frac{0,49}{0,23}$$

- $300 \text{ W} < P_{hid} \leq 500 \text{ W}$:

$$\eta_{bom} = 0,0721 \cdot P_{hid}^{0,3183}$$

- $P_{hid} > 500 \text{ W}$:

$$\eta_{bom} = 0,092 \cdot \ln(P_{hid}) - 0,0403$$

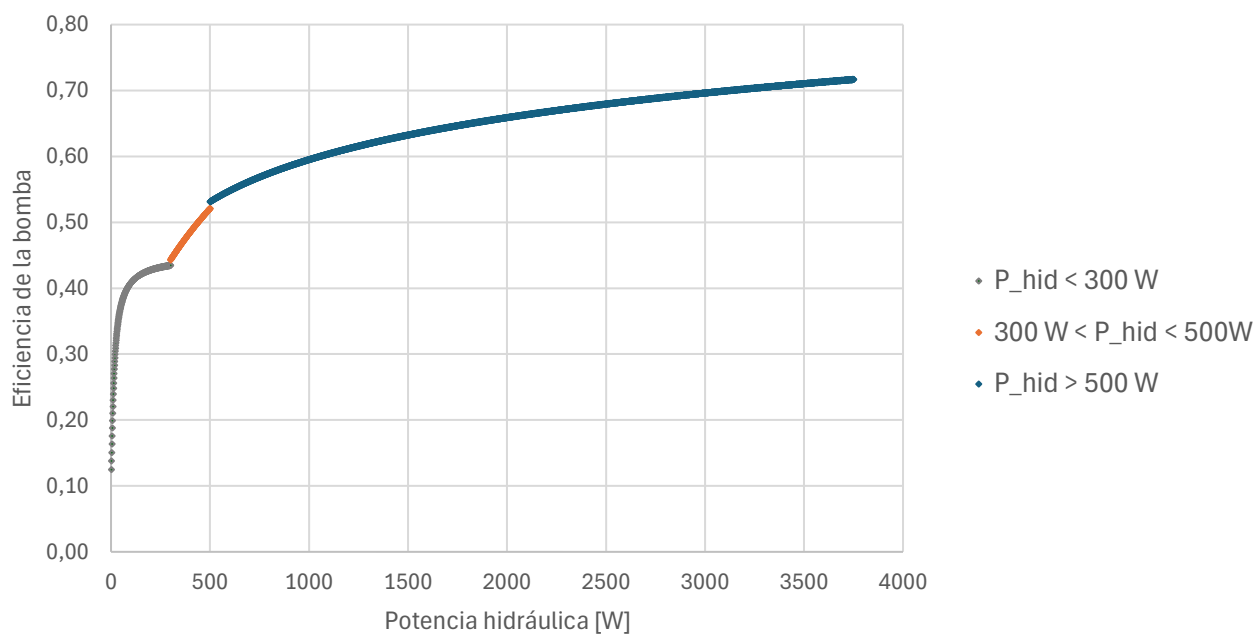


Figura 6. Eficiencia de las Bombas No Integradas

Con esta eficiencia obtenida podemos proceder al cálculo de las correcciones de las distintas potencias, debidas a la bomba de circulación.

3.3.1. Corrección de la Potencia Eléctrica absorbida

La potencia eléctrica absorbida medida durante el ensayo incluye no solo el consumo del compresor, sino también el de la bomba de circulación. Dado que parte de la energía absorbida por la bomba se transfiere al fluido caloportador en forma de potencia hidráulica, es necesario aplicar una corrección que permita separar el consumo eléctrico estrictamente asociado al ciclo de compresión de vapor del efecto adicional introducido por la bomba.

La corrección se realiza, diferenciando entre bombas integradas y no integradas, mediante las ecuaciones (10) y (11) respectivamente. Estas dos ecuaciones se obtienen sabiendo que la eficiencia de la bomba es el cociente entre la potencia hidráulica de la bomba y la potencia eléctrica que consume. En el caso de integradas, la potencia eléctrica absorbida por la bomba se resta de la potencia eléctrica medida, ya que parte de esa energía se transfiere directamente al fluido y no debe contabilizarse como consumo neto del ciclo. En bombas no integradas, el ajuste se efectúa de manera inversa, añadiendo la potencia absorbida al balance eléctrico para reflejar el consumo real del sistema completo.

3.3.2. Corrección de la Potencias Térmicas

La bomba, al garantizar el movimiento del fluido caloportador a través del intercambiador de calor, introduce también una aportación térmica adicional. Para calcular esta corrección también hay que distinguir entre bomba integrada y bomba no integrada. En el primer caso, parte de la energía absorbida por la bomba se transfiere directamente al fluido, lo que implica restar dicha contribución de la potencia calorífica medida y sumarla a la potencia frigorífica. Para calcular dichas correcciones hacemos uso de las ecuaciones (5) y (6) para bombas de circulación integradas con rotor húmedo y seco, respectivamente.

En el segundo caso, cuando la bomba no forma parte de la unidad, la energía térmica asociada debe añadirse a la potencia calorífica y restarse de la potencia frigorífica. En este caso, las correcciones se calculan mediante las ecuaciones (7) y (8), diferenciando, por su potencia hidráulica, entre las de 300 W o menos, y las de más de 300 W, respectivamente.

3.3.3. Cálculos en Refrigeración – Ferroli OMNIA S 3.2 16

En el caso del modo refrigeración, la aplicación de la norma UNE-EN 14511 al equipo Ferroli OMNIA S 3.2 16 comienza con la recopilación de los datos de catálogo proporcionados por el fabricante. Estos datos incluyen la potencia frigorífica nominal, la potencia eléctrica absorbida, el factor de eficiencia energética, el caudal de agua y la pérdida de presión estática en el intercambiador. Los datos obtenidos son los siguientes:

Temperaturas	$Q_{ref,m}$	$P_{ele,m}$	EER _m	\dot{V}_w		ΔP_{int}
°C	kW	kW		l/h	l/s	kPa
A35/W18	13,6	3,767	3,61	2339	0,650	48
A35/W7	14	5,6	2,5	2408	0,669	46

Tabla 8. Datos del catálogo – Refrigeración

A partir de los valores de caudal y pérdida de presión se calcula la potencia hidráulica de la bomba de circulación. En todos los casos analizados, esta potencia hidráulica resulta inferior a 300 W, lo que permite aplicar la misma expresión de eficiencia de la bomba en cada condición de ensayo. Una vez determinada la eficiencia, se procede a calcular las correcciones térmicas y eléctricas necesarias. En equipos sin bomba integrada, como es el caso del Ferroli OMNIA S 3.2 16, la potencia hidráulica se resta de la potencia frigorífica medida, mientras que la potencia eléctrica absorbida por la bomba se suma al consumo eléctrico total. Se muestran a continuación los resultados obtenidos:

Temperaturas	P_{hid}		η_{bom}	Q_{bom}	Q_{ref}	$P_{ele,b}$	P_{ele}	EER
°C	W			kW	kW	kW	kW	
A35/W18	31,19	$P_{hid} < 300 \text{ W}$	0,3401	0,0605	13,539	0,0917	3,859	3,509
A35/W7	30,77	$P_{hid} < 300 \text{ W}$	0,339	0,06	13,940	0,0908	5,691	2,45

Tabla 9. Cálculos Refrigeración

3.3.4. Cálculos en Calefacción – Ferroli OMNIA S 3.2 16

En el modo calefacción, el procedimiento de cálculo sigue una lógica análoga a la aplicada en refrigeración, aunque con las particularidades propias de este régimen de funcionamiento. Del catálogo se obtienen los siguientes datos: potencia calorífica medida, potencia eléctrica absorbida, coeficiente de rendimiento, caudal de agua y pérdida de presión estática.

Temperaturas	$Q_{cal,m}$	$P_{ele,m}$	COP_m	\dot{V}_w		ΔP_{int}
°C	kW	kW		l/h	l/s	kPa
A7/W35	15,9	3,533	4,5	2735	0,760	34
A7/W45	16	4,571	3,5	2752	0,764	33
A7/W55	16	5,614	2,85	1720	0,478	71

Tabla 10. Datos del catálogo – Calefacción

A partir de los datos de catálogo del fabricante, primero se calculan las potencias hidráulicas. Como en el caso anterior, los valores obtenidos se mantienen por debajo de 300 W, lo que permite aplicar la misma expresión de eficiencia de la bomba en todas las condiciones de ensayo. Con la eficiencia determinada, se procede a realizar las correcciones necesarias. En equipos sin bomba integrada, la potencia hidráulica se suma a la potencia calorífica medida, ya que la energía aportada por la bomba incrementa la potencia útil entregada al fluido. Por otro lado, la potencia eléctrica absorbida por la bomba se añade al consumo eléctrico total.

Temperaturas	P_{hid}		η_{bom}	Q_{bom}	Q_{cal}	$P_{ele,b}$	P_{ele}	COP
°C	W			kW	kW	kW	kW	
A7/W35	25,83	$P_{hid} < 300$ W	0,3239	0,0539	15,954	0,0798	3,613	4,416
A7/W45	25,23	$P_{hid} < 300$ W	0,3217	0,0532	16,053	0,0784	4,650	3,452
A7/W55	33,92	$P_{hid} < 300$ W	0,3469	0,0639	16,064	0,0978	5,712	2,812

Tabla 11. Cálculos Calefacción

3.3.5. Resultados finales

REFRIGERACIÓN	T^a	EER_m	EER	ΔEER	%
	A35/W18	3,61	3,509	0,1014	2,81
	A35/W7	2,5	2,45	0,0504	2,02
CALEFACCIÓN	T^a	COP_m	COP	ΔCOP	%
	A7/W35	4,5	4,416	0,0844	1,88
	A7/W45	3,5	3,452	0,0476	1,36
	A7/W55	2,85	2,812	0,0376	1,32

Tabla 12. Resultados finales

Al realizar una tabla comparativa con los resultados vemos cómo los valores del EER y COP corregidos resultan en ambos ligeramente inferiores a los declarados por el fabricante en el catálogo. Los resultados obtenidos muestran diferencias reducidas, con desviaciones que en ningún caso superan el 3 %. No obstante, esta proximidad no es casual: se aprecia cómo los fabricantes tienden a ajustar sus valores declarados aprovechando al máximo las tolerancias permitidas por la norma. En este sentido, los datos oficiales suelen situarse en el límite superior de lo admisible, lo que permite presentar el equipo con mejores prestaciones sin incumplir los márgenes establecidos. Esta práctica, aunque legítima desde el punto de vista normativo, refleja una estrategia comercial orientada a optimizar la imagen técnica del producto dentro de los márgenes de verificación.

4 REQUISITOS

El objetivo de este apartado es reunir todos los requisitos de diseño que se han identificado a lo largo de la búsqueda realizada dentro de todos los reglamentos que componen el marco normativo del trabajo. Estos requisitos europeos limitan el mercado aprobando solo a los equipos que se sitúan por encima o debajo de estos, según sea conveniente en cada caso particular. De esta manera, se establecen unos valores límite con los que se busca fomentar la eficiencia energética y dirigir a las tecnologías en busca de un desarrollo cada vez más sostenible, incluyendo en muchos casos aumentos de estos requisitos conforme los años avanzan, como se verá en algunos casos de los reglamentos a estudiar.

4.1. RITE

El Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios ofrece varias exigencias e instrucciones técnicas en cuanto a varios aspectos referentes a la climatización de los recintos: instalación y montaje, mantenimiento, higiene o inspecciones.

Este reglamento es indispensable a nivel nacional ya que fija una línea de comportamiento en la ejecución de todos estos aspectos comentados anteriormente y que se remiten a los edificios en los que tienen lugar instalaciones de climatización.

Sin embargo, el RITE no entra en materia de ecodiseño de los equipos, en concreto de las bombas de calor aire agua y las enfriadoras de confort. De hecho, en su apartado “IT 1.2.4.1.1 Criterios generales” se atiene a la normativa vigente, adjuntando el texto explícito:

“Los equipos de generación térmica cumplirán los requisitos establecidos en los reglamentos europeos de diseño ecológico vigentes que les sean de aplicación.”

4.2. REGLAMENTO 2019/1781

El Reglamento (UE) 2019/1781 es una normativa que establece los requisitos de diseño ecológico exigibles a los motores eléctricos y variadores de velocidad para su comercialización en la Unión Europea. Este documento define no solo los umbrales mínimos de aceptación, sino también las condiciones de ensayo y las tolerancias permitidas para la validación de datos técnicos.

No obstante, el alcance de este apartado se circunscribe específicamente a la metodología técnica estipulada en dicho reglamento. Por tanto, se dejarán de lado los aspectos administrativos o de vigilancia de mercado para centrar el desarrollo en el procedimiento de determinación del nivel de eficiencia. A continuación, se detallarán los pasos y criterios necesarios para obtener tanto el nivel de eficiencia como el rendimiento mínimo del motor, el cual nosotros hemos definido como η_{mot} , según los parámetros de funcionamiento.

El Reglamento establece una implantación escalonada de los requisitos de eficiencia según la naturaleza del motor. A partir del 1 de julio de 2023, es decir, actualmente, se establece un nivel mínimo IE2 para los motores monofásicos de entre 0,12-1000 kW, y se eleva la exigencia a IE4 para los motores trifásicos de entre 75 kW y 200 kW.

Con estos niveles de eficiencia dados, y según potencia mecánica del eje y el número de polos, el reglamento proporciona unas tablas con los distintos rendimientos mínimos. Por otra parte, si queremos buscar una potencia nominal que no se encuentre exactamente en las tablas, sino que hubiera que interpolar, este reglamento proporciona también un método de interpolación mediante la siguiente ecuación:

$$\eta_{\text{mot}} = A \cdot \log(P_{\text{mec}})^3 + B \cdot \log(P_{\text{mec}})^2 + C \cdot \log(P_{\text{mec}}) + D$$

Donde η_{bom} es la eficiencia del motor [%], P_{mec} es la potencia mecánica del eje [kW], y A, B, C y D son coeficientes de interpolación constantes, que se obtienen también de unas tablas proporcionadas por este reglamento. Estos coeficientes dependen también del nivel de eficiencia, del rango de potencia mecánica del eje y del número de polos.

5 ANÁLISIS DE MERCADO

El objetivo principal del presente análisis de mercado es obtener una visión amplia, realista y representativa de la oferta comercial actual de enfriadoras y bombas de calor aire-agua. El estudio se centra específicamente en caracterizar la disponibilidad de estas tecnologías y analizar su distribución en el mercado en función de sus rangos de potencia térmica.

Para alcanzar estos objetivos, se ha recurrido a bases de datos masivas que agrupan gran parte de los equipos comercializables hoy en día. Estas fuentes de información provienen de los organismos EPREL y Eurovent.

EPREL es un registro de la UE vinculado al etiquetado energético, cuyo objetivo es asegurar el cumplimiento legal y la transparencia hacia el consumidor. Por tanto, la base de datos facilitada por este organismo incluye todos los productos del alcance del trabajo a los que se les requiere cumplir con una normativa de etiquetado, abarcando fundamentalmente a las bombas de calor aire-agua y los equipos de baja temperatura.

Eurovent, por su parte, gestiona una certificación voluntaria de rendimiento independiente, altamente valorada en el sector de la climatización europea. Su base de datos es de acceso público y contiene registros técnicos tanto de enfriadoras como de bombas de calor. Los fabricantes que participan en ella buscan demostrar credibilidad técnica y verificar las prestaciones de sus equipos mediante los ensayos y auditorías que realiza este organismo sujeto a estándares europeos.

Tras realizar un tratamiento exhaustivo y filtrado de los datos disponibles en ambas plataformas, se ha procedido a la elaboración de diversos estudios gráficos. Estos resultados visuales permiten identificar cuántos equipos certificados existen para cada tecnología (enfriadoras, bombas de calor estándar y de baja temperatura) desglosados según sus intervalos de potencia.

Este análisis nos permite comprender cómo se estructura la oferta real de los fabricantes más allá de la teoría. Al observar la distribución de modelos por rangos de potencia térmica, se puede apreciar qué segmentos del mercado (baja, media o alta potencia) cuentan con mayor densidad de productos disponibles y cómo responden los fabricantes a las necesidades de climatización actuales. De este modo, se obtiene una visión práctica de la realidad industrial, permitiendo detectar tendencias en el dimensionamiento de los equipos y la disponibilidad tecnológica para cada franja de potencia.

5.1. DISTRIBUCIÓN DE LOS EQUIPOS POR RANGO DE POTENCIA

A continuación, se presenta la distribución cuantitativa de las enfriadoras y bombas de calor aire-agua identificadas en el estudio. La gráfica incluida refleja la clasificación de estos equipos en función de sus rangos de potencia térmica, lo que permite observar de manera clara la densidad de modelos disponibles en cada intervalo. Este análisis facilita la identificación de los segmentos de potencia en los que se concentra la mayor oferta comercial dentro de las bases de datos consultadas, proporcionando una visión estructurada del mercado.

La representación gráfica no solo muestra la cantidad de unidades en cada rango, sino que también permite detectar tendencias relevantes, como la predominancia de ciertos intervalos de potencia frente a otros menos desarrollados. De este modo, se obtiene una referencia objetiva acerca de la distribución de productos, lo que resulta útil para comprender la orientación de los fabricantes y la disponibilidad real de equipos en el mercado. Además, esta clasificación constituye un punto de partida para posteriores análisis comparativos, ya que permite relacionar la oferta con aspectos como la eficiencia energética, la adecuación normativa o la segmentación de aplicaciones en función de las necesidades de potencia térmica.

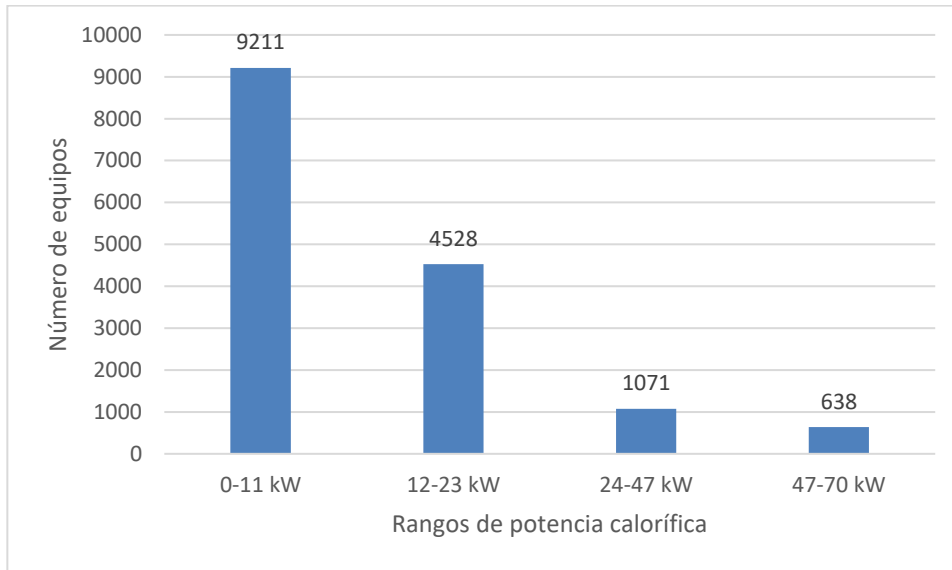


Figura 7. Distribución de BDC por rangos de potencias

La distribución presentada evidencia una clara concentración de modelos en el rango de menor potencia, específicamente en el intervalo de hasta 11 kW, que aglutina aproximadamente dos tercios del total de equipos identificados. Este predominio sugiere que el mercado está fuertemente orientado hacia aplicaciones residenciales o de pequeña escala, donde las demandas térmicas son más moderadas.

A continuación, se aplica el mismo criterio de clasificación para el conjunto de bombas de calor de baja temperatura, con el objetivo de comparar su distribución y detectar posibles diferencias en la orientación del mercado o en la especialización de producto.

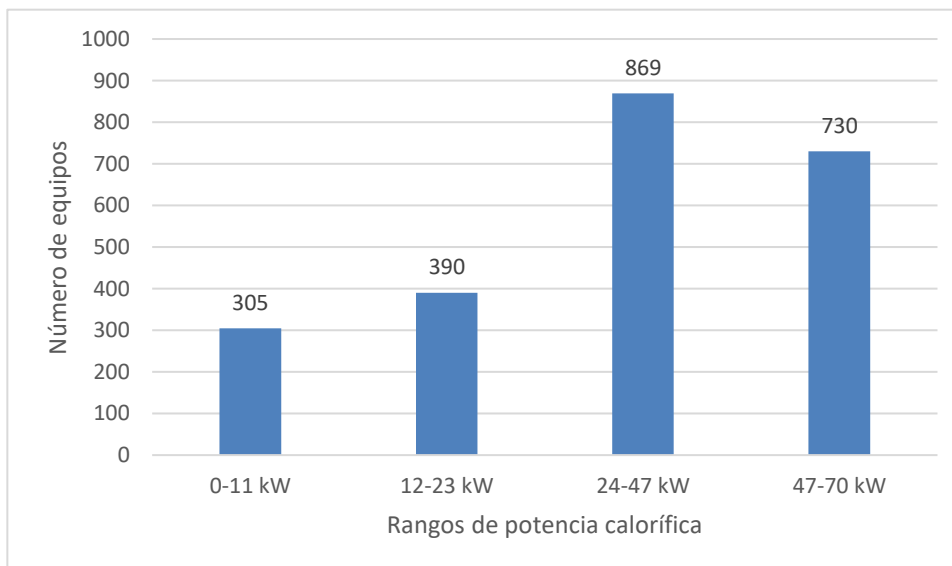


Figura 8. Distribución de BDC de baja temperatura por rangos de potencias

Aquí se observa un cambio claro en la tendencia del mercado: los datos revelan un desplazamiento significativo del foco comercial hacia soluciones de media y alta potencia. A diferencia del caso anterior, donde predominaban los equipos de baja capacidad, en este conjunto de bombas de calor de baja temperatura el rango de potencias más reducidas representa una cuota minoritaria. En concreto, el grueso de la oferta (cerca del 70 % del total de modelos identificados) se concentra en el intervalo comprendido entre 24 y 70 kW, lo que sugiere una orientación hacia aplicaciones de mayor demanda térmica, como instalaciones terciarias, industriales o

residenciales de gran tamaño.

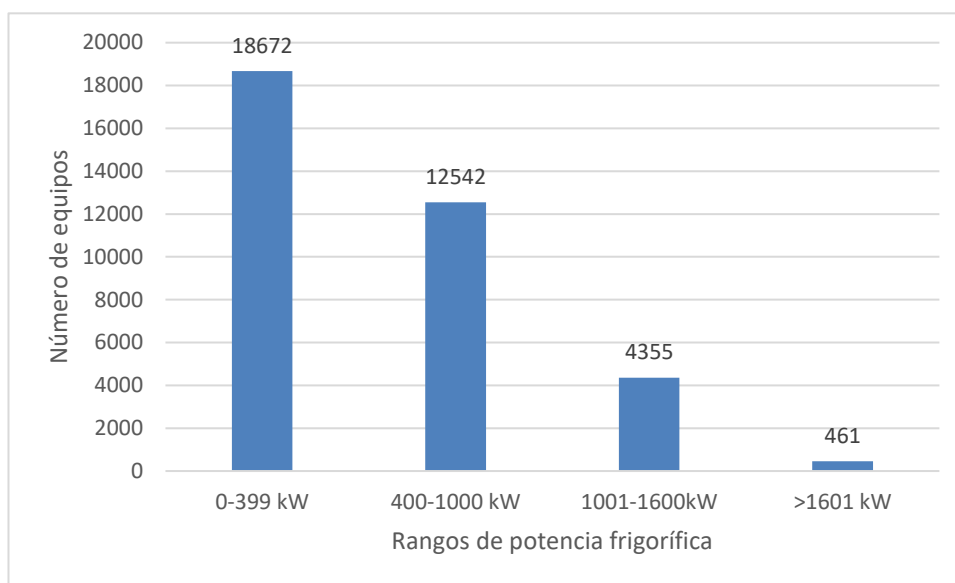


Figura 9. Distribución de enfriadoras por rangos de potencias

Por último, al analizar la distribución de las enfriadoras aire-agua, se observa una tendencia claramente inversa respecto a las bombas de calor de baja temperatura. Prácticamente la mitad de los modelos identificados se concentran en el rango de potencias más reducido, lo que evidencia una fuerte orientación del mercado hacia soluciones de pequeña escala, especialmente en aplicaciones residenciales o terciarias de baja demanda térmica. A medida que se incrementa la potencia nominal, el número de equipos disponibles disminuye de forma progresiva.

Esta reducción en la densidad de modelos para potencias elevadas puede estar condicionada por diversos factores, como el mayor coste de fabricación, la complejidad técnica de instalación, la necesidad de infraestructuras auxiliares o la especialización de los fabricantes en nichos concretos.

5.2. DISTRIBUCIÓN DE EER SEGÚN POTENCIA FRIGORÍFICA

Complementando el análisis de segmentación por rangos de potencia, resulta pertinente examinar la dependencia de la eficiencia operativa respecto a la carga térmica nominal. Para ello, se ha representado gráficamente la variación del coeficiente de eficiencia energética (EER) en función de la potencia frigorífica de los equipos, lo que permite obtener una visión integral del comportamiento del mercado en términos de rendimiento energético.

Este enfoque facilita la detección de patrones relevantes, como la concentración de equipos con mayores prestaciones en determinados intervalos de potencia, así como la evolución del indicador de eficiencia conforme aumenta la capacidad frigorífica de la instalación. De este modo, se puede identificar si existe una correlación entre el tamaño del equipo y su rendimiento, y si los fabricantes priorizan el desarrollo de soluciones más eficientes en ciertos segmentos de potencia.

Cabe destacar que la información utilizada para este estudio ha sido extraída de la base de datos de EUROVENT, que proporciona datos técnicos detallados y contrastados sobre miles de modelos disponibles en el mercado europeo. Esta fuente ha resultado especialmente útil para el análisis de eficiencia, ya que incluye valores de EER y COP para cada equipo. En cambio, la base de datos EPREL, aunque también utilizada en el estudio, no ofrece información sobre el COP de los equipos, lo que limita su aplicabilidad en este tipo de análisis comparativo. Por tanto, EUROVENT ha sido la referencia principal para evaluar el comportamiento energético de los equipos en función de su potencia nominal.

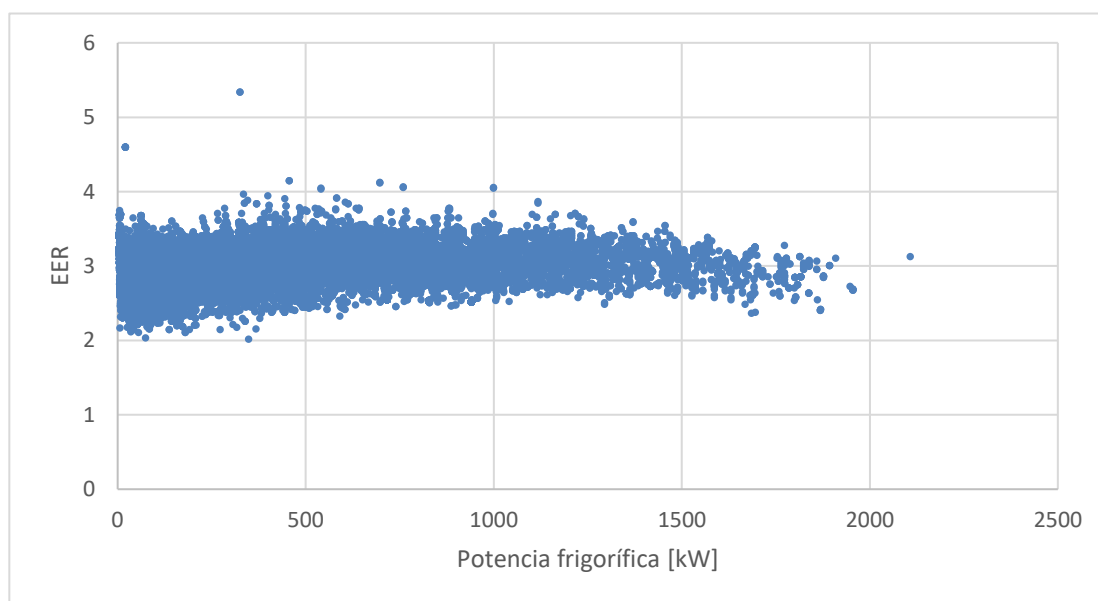


Figura 10. Distribución del EER según potencia frigorífica

Este gráfico muestra cómo varían los valores de EER en función de la potencia frigorífica nominal de los equipos analizados. La dispersión de los datos pone de manifiesto que no existe una correlación proporcional directa entre el incremento de la capacidad frigorífica y una mejora sistemática en la eficiencia energética. Es decir, los equipos de mayor potencia no presentan necesariamente mejores valores de EER, ni los de menor potencia peores, lo que indica que el rendimiento energético se mantiene transversal a lo largo de los distintos rangos de potencia.

La gran mayoría de los modelos se agrupan en una franja de EER comprendida entre 2,5 y 3,5, independientemente de su potencia frigorífica. Esta concentración sugiere que los fabricantes tienden a diseñar sus equipos para alcanzar niveles de eficiencia similares, probablemente condicionados por límites termodinámicos del ciclo de refrigeración, características de los componentes disponibles en el mercado y requisitos normativos mínimos. En consecuencia, la eficiencia energética parece estar más influida por las restricciones técnicas inherentes al diseño del equipo que por posibles ventajas derivadas de la economía de escala. Esta observación resulta relevante para entender la lógica de desarrollo de producto y para contextualizar los valores de EER dentro de los márgenes realistas del mercado actual.

6 CONCLUSIONES

Un primer obstáculo que salta a la vista al trabajar con estos reglamentos son los títulos de las normas y sus apartados, los cuales representan una gran barrera a la hora de crear una idea general acerca de su contenido. Lejos de ser concisos y descriptivos, los enunciados se caracterizan por una extensión desmesurada y una redacción a menudo farragosa. Esta complejidad sintáctica en los títulos oscurece el objeto real del documento, impidiendo que el técnico pueda identificar de un vistazo el campo de aplicación. Como resultado, se dificulta enormemente la orientación preliminar, obligando a realizar una lectura exhaustiva del contenido solo para confirmar o descartar si la norma es aplicable al caso de estudio.

Adicionalmente, se identifica una problemática estructural derivada de la heterogeneidad de los equipos englobados bajo un mismo marco reglamentario. Las normas estudiadas tienden a aglutinar una vasta diversidad de tipologías y tecnologías que, si bien comparten una función general, poseen naturalezas operativas y constructivas divergentes. Esta mezcla técnica dificulta la delimitación precisa del alcance de la norma, obligando al ingeniero a realizar un escrutinio minucioso para discernir si un equipo específico queda sujeto a la totalidad del reglamento o solo a requisitos parciales, lo cual introduce una capa adicional de ambigüedad en la fase de definición del proyecto.

El siguiente gran obstáculo es la enorme complejidad de su vocabulario y simbología. En la norma 14511, el texto abusa de una notación muy densa, cargada de siglas, variables y subíndices que a menudo son poco intuitivos. Esto hace que la lectura sea innecesariamente caótica, obligando a quien consulta la norma a detenerse continuamente para descifrar qué significa cada término antes de poder entender el concepto técnico real, lo que levanta un muro de entrada considerable incluso antes de empezar con los cálculos.

A esta barrera terminológica se suma una notable carencia de claridad expositiva. Las explicaciones sobre los procedimientos de cálculo y verificación resultan frecuentemente fragmentadas, obligando al lector a un constante y exhaustivo cruce de referencias entre distintos anexos, apartados y normas de ensayo externas. Esta falta de didáctica en la estructura legal genera zonas de incertidumbre que no solo ralentizan la labor de ingeniería, sino que aumentan el riesgo de interpretaciones erróneas por parte de los agentes del sector que no estén altamente especializados en el marco legislativo.

Como consecuencia directa de esta dispersión tipológica, los textos legales adolecen de una notable falta de cohesión interna. Al intentar abarcar situaciones tan diferentes, la normativa acaba dividiéndose en una multitud de procedimientos de cálculo y verificación que funcionan de forma casi independiente. Esta fragmentación provoca que el reglamento pierda su hilo conductor, convirtiéndose en una simple colección de reglas aisladas en lugar de funcionar como un sistema técnico lógico e integrado.

Asimismo, el análisis de la norma UNE-EN 14511 revela un vacío significativo en cuanto a la infraestructura física requerida. Si bien el documento es exhaustivo al definir las condiciones termodinámicas de operación y los procedimientos metodológicos del ensayo, carece de especificaciones técnicas relativas al diseño y configuración del banco de ensayo. El texto normativo establece con rigor los parámetros que deben obtenerse, pero no muestra las características constructivas de la instalación necesaria para lograrlos.

Al no incluir esquemas de principio, requisitos de dimensionamiento o pautas sobre la disposición de los elementos de medida en el banco, la norma obliga a recurrir a fuentes externas o al propio criterio de diseño para materializar el entorno de prueba. Esto no solo dificulta la labor de implementación, sino que sugiere que la norma regula el ensayo como un concepto abstracto, desatendiendo la realidad física de los equipos e instalaciones necesarios para llevarlo a cabo.

REFERENCIAS

1. **Norma UNE-EN 14511.** Acondicionadores de aire, enfriadoras de líquido y bombas de calor con compresor accionado eléctricamente para la calefacción y la refrigeración de locales.
2. **Reglamento (UE) 2019/1781 de la Comisión, de 1 de octubre de 2019.** Ejecución de la Directiva 2009/125/CE en lo relativo a los requisitos de diseño ecológico aplicables a los motores eléctricos y los variadores de velocidad.
3. Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2019/1781/oj>
4. **Comisión Europea. EPREL (European Product Registry for Energy Labelling).** Base de datos oficial de la Unión Europea para el registro de productos con etiquetado energético.
Disponible en: <https://eprel.ec.europa.eu/screen/home>
5. **Eurovent Certita Certification.** Organismo certificador internacional de referencia para el rendimiento de equipos de climatización y refrigeración.
Disponible en: <https://www.eurovent-certification.com/>
6. **CEN/CENELEC. The Keymark.** Esquema de certificación voluntaria europea que garantiza el cumplimiento de las normas europeas de productos.
Disponible en: <https://keymark.eu/>