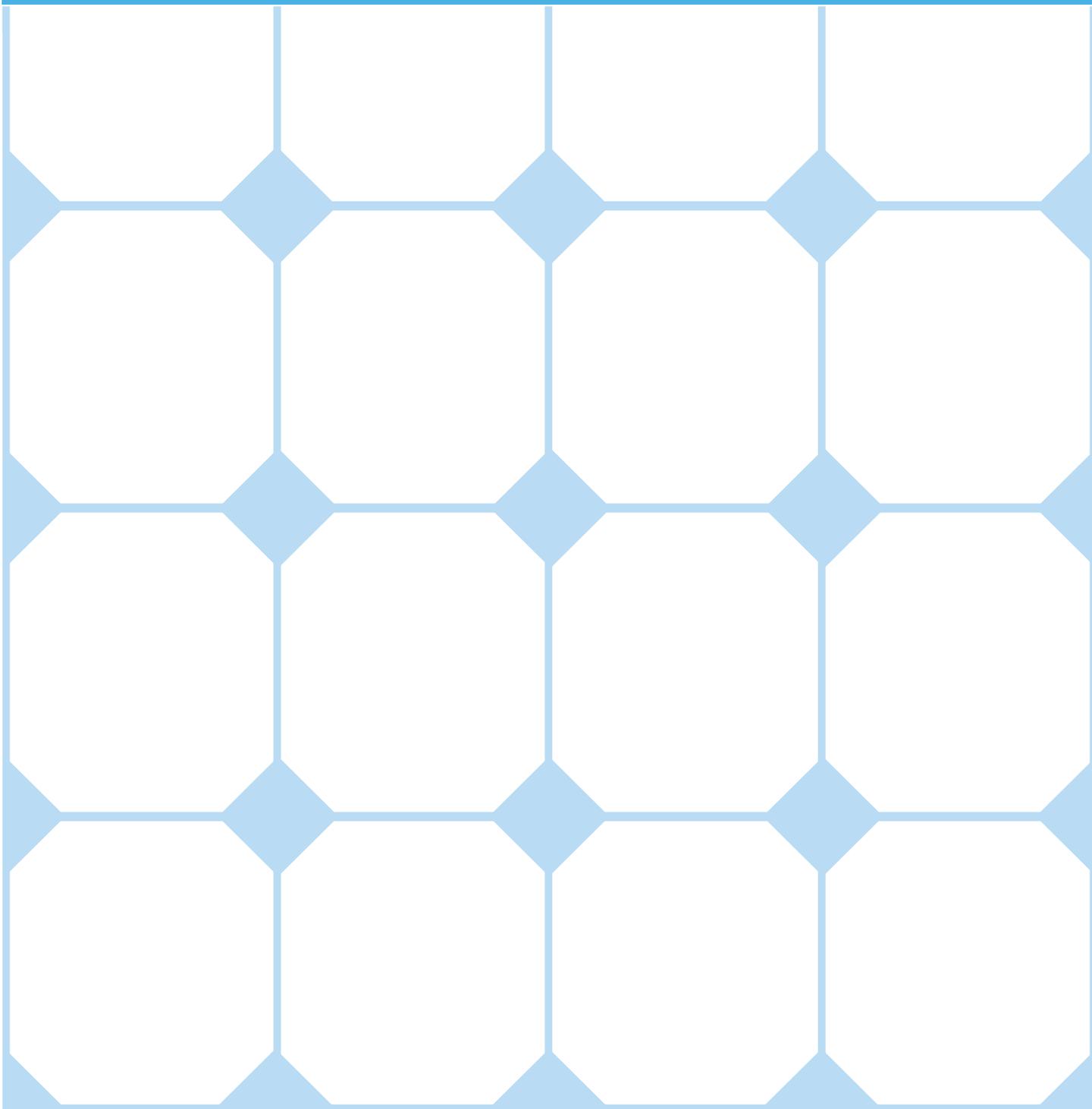


CONSTRUYE
2020



Instalaciones
de climatización.
Volumen I



El presente proyecto ha sido financiado con el apoyo de la Comisión Europea. Esta publicación (comunicación) es responsabilidad exclusiva de su autor. La Comisión no es responsable del uso que pueda hacerse de la información aquí difundida.

1ª edición: febrero 2016

© Alejandro San Vicente Navarro
© Fundación Laboral de la Construcción
ESPAÑA

Imprime:
Tornapunta Ediciones
C/ Rivas, 25
28052 Madrid
Tel.: 900 11 21 21
www.fundacionlaboral.org

Depósito Legal: M-5096-2016



Instalaciones de climatización. Volumen I

Alejandro San Vicente Navarro

Índice

■ 1. La eficiencia energética.....	5
■ 2. Legislación vigente.....	9
■ 3. Instalaciones de climatización por ciclo de Carnot.....	17

UNIDAD 1. LA EFICIENCIA ENERGÉTICA

1. Qué es la eficiencia energética	5
2. Disminución de la demanda de energía	6
3. Aumento del rendimiento de las instalaciones	6
4. Aporte de energías renovables	7
Resumen	8



Objetivos de la unidad didáctica:

- Comprender el objetivo de la eficiencia energética aplicada a la edificación.
- Conocer las principales estrategias que se pueden emplear para incrementar la eficiencia energética aplicada en un edificio.
- Conocer los objetivos prioritarios de la estrategia europea para el año 2020.
- Comprender los conceptos de: consumo de energía, demanda de energía y rendimiento de las instalaciones.

1. QUÉ ES LA EFICIENCIA ENERGÉTICA



Eficiencia energética

La eficiencia energética es la disminución del consumo de energía primaria procedente de fuentes no renovables de un determinado edificio sin perjuicio de las condiciones de habitabilidad y confort para el ser humano.

Las ventajas de la implementación de medidas de eficiencia energética se pueden resumir en tres grandes marcos de actuación:

1. **Reducción de la dependencia energética del exterior.** España (y Europa) son importadores de fuentes de energía fósiles como el gas natural o el petróleo. Al reducir esa dependencia se aumenta, además, la seguridad en el abastecimiento.
2. **Reducción de los costes de producción,** aumentando la competitividad de las empresas así como reduciendo el gasto final de energía de los hogares.
3. **Reducción del deterioro medioambiental y fomento de la sostenibilidad,** debido a la reducción de gases de efecto invernadero (GEI) procedentes de la combustión de energías fósiles que generan mayor contaminación ambiental así como a la disminución del consumo de recursos naturales perecederos como son el carbón, el gas natural o el petróleo.

El objetivo de la eficiencia energética es, por tanto, la reducción del consumo de fuentes de energía no renovables (C). Para lograr este fin existen 3 estrategias diferentes:

- Disminución de la demanda de energía (D).
- Aumento del rendimiento de las instalaciones (R).
- Mayor aportación de las fuentes de energía renovable (EERR).

El objetivo de la eficiencia energética se puede resumir en la siguiente fórmula:



Consumo de energía no renovable

$$C \text{ (Consumo de energía no renovable)} = \frac{D \text{ (Demanda de energía)}}{R \text{ (Rendimiento de las instalaciones)}} - EERR$$

2. DISMINUCIÓN DE LA DEMANDA DE ENERGÍA

La demanda de energía es la cantidad de energía que un edificio necesita para que en su interior un usuario pueda disfrutar de unas determinadas condiciones de confort.

El conjunto de medidas que se pueden adoptar para la reducción de esta cantidad de energía tiene mucho que ver con la forma de minimizar las pérdidas de calor (o frío) que se producen en la envolvente del edificio.

La demanda de energía va a depender fundamentalmente de las características de aislamiento de los cerramientos, las medianeras, las cubiertas, las soleras, las ventanas, las puertas, los puentes térmicos, de la orientación, de las sombras del edificio, del uso del edificio, de la iluminación...en definitiva de muchos factores.

En función de la demanda térmica se diseñará y se calculará la potencia de los equipos de climatización, por lo que una reducción de la demanda conlleva una reducción en el consumo final de energía primaria.

Existen infinidad de medidas de eficiencia y ahorro energético para reducir la demanda térmica de un edificio si bien no son objeto de esta publicación.

3. AUMENTO DEL RENDIMIENTO DE LAS INSTALACIONES

Si se mantiene la demanda de energía, la otra posibilidad para la disminución del consumo pasa por el aumento del rendimiento de las instalaciones que lo proporcionan.

De esta forma se obtiene la misma energía útil final (la que aprovecha y necesita el consumidor) con una menor cantidad de energía primaria (combustible utilizado).



EJEMPLO

El mayor rendimiento de una caldera de combustión permite conseguir la temperatura de climatización deseada por el usuario minimizando el combustible utilizado para su obtención. De esta forma se ha ahorrado energía primaria.

En este manual se pretende explicar las diferentes tecnologías más eficientes que existen, así como alguna medida de ahorro energético para conseguir el máximo rendimiento de una instalación de climatización. Se prestará especial atención a los equipos generadores más habituales como son la bomba de calor (para calefacción/refrigeración) y la caldera de combustión (para calefacción y agua caliente sanitaria).

4. APORTE DE ENERGÍAS RENOVABLES

A estas dos medidas principales de disminución del consumo final de energía se les puede añadir una tercera opción a través del aporte de una fracción en energías renovables.

La utilización de tecnologías limpias o renovables como fuente de energía no disminuye el consumo total de energía primaria del sistema. En este caso no se reduce el consumo final del edificio, pero sí el porcentaje procedente de energías no renovables basados en fuentes fósiles y perecederas (como son el carbón, petróleo o gas natural) cuya utilización es penalizada por la cada vez más exigente normativa medioambiental en un intento de preservar el futuro y hacer sostenible el aumento de la demanda energética mundial.

Por tanto, simplemente se cambia el origen de la fuente para la obtención de la energía, pero aportando una serie de ventajas que van en la línea marcada por los 3 objetivos prioritarios marcados por la política europea en materia de ahorro y eficiencia energética (también denominada estrategia 20-20-20 para el año 2020) que son:



Objetivos prioritarios de la estrategia 20-20-20

- Reducción en un 20% en la emisión de gases de efecto invernadero por debajo de los niveles de 1990. Las fuentes renovables no emiten GEI.
- Aportación de un 20% al consumo energético final de energías renovables.
- Reducción de un 20% en el consumo de energía primaria (medidas de ahorro y eficiencia energética). Las renovables, como se ha dicho, no reducen el consumo total pero sí el consumo de energía primaria no renovable que es un parámetro utilizado, por ejemplo, para la calificación energética de los edificios.

El uso por tanto de las energías limpias y renovables es un punto estratégico de la Unión Europea, ya que fortalece las líneas maestras de la política energética como son:

- Reducción de la dependencia exterior en la importación de fuentes de energía fósiles (como el gas natural o el petróleo).
- Aumento de la competitividad de los mercados energéticos europeos.
- Cumplimiento de la normativa medioambiental (primero Kyoto y después sucesivas reuniones COP en Bali, Copenhague, Cancún).



RESUMEN

- La eficiencia energética es la disminución del consumo de energía primaria procedente de fuentes no renovables de un determinado edificio sin perjuicio de las condiciones de habitabilidad y confort para el ser humano.
- Para lograr este fin se dispone de 3 estrategias diferentes:
 - Disminución de la demanda de energía (D).
 - Aumento del rendimiento de las instalaciones (R).
 - Mayor aportación de las fuentes de energía renovable. (EERR).
- Los objetivos prioritarios de la estrategia europea 20-20-20 son:
 - Reducción en un 20% en la emisión de gases de efecto invernadero por debajo de los niveles de 1990. Las fuentes renovables no emiten GEI.
 - Aportación de un 20% al consumo energético final de energías renovables.
 - Reducción de un 20% en el consumo de energía primaria (medidas de ahorro y eficiencia energética). Las renovables, como se ha dicho, no reducen el consumo total pero sí el consumo de energía primaria no renovable que es un parámetro utilizado, por ejemplo, para la calificación energética de los edificios.

UNIDAD 2. LEGISLACIÓN VIGENTE

Contenidos

1. Introducción	9
2. Normativa europea	10
3. Normativa española	11
4. Reglamento de instalaciones térmicas en los edificios	12
Resumen	16



Objetivos de la unidad didáctica:

- Conocer la evolución de la normativa europea en materia de eficiencia energética.
- Conocer la evolución de la normativa española en materia de eficiencia energética.
- Comprender los objetivos del Código Técnico de la Edificación (CTE) y del Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE).

1. INTRODUCCIÓN

Desde finales del siglo XX hasta la actualidad han sido muchas las reuniones y los tratados que se han realizado a nivel mundial y europeo a favor de la eficiencia energética y la sostenibilidad medioambiental.

Obviamente España, como miembro de pleno derecho de la Unión Europea, también se ha tenido que adaptar a las directrices procedentes de la Unión y ha generado mucha normativa legal en materia de eficiencia y ahorro energético que a continuación se detalla.

2. NORMATIVA EUROPEA

Europa ha marcado la pauta de actuación mediante la publicación de múltiples directivas y reglamentos desarrollados en el ámbito de la eficiencia energética, siendo los más importantes y en vigor los que se detallan a continuación:

- Consejo Europeo de marzo de 2007 (también conocida por la resolución 20/20/20 para el año 2020) donde se adopta el compromiso de transformar Europa en una economía eficiente energéticamente y baja en carbono marcándose los siguientes objetivos de cara al año 2020:
 - Reducción en un 20% en la emisión de gases de efecto invernadero por debajo de los niveles de 1990.
 - Aportación de un 20% al consumo energético final de energías renovables. Los Estados Miembros deciden la forma de distribución de su cuota excepto para biocombustibles para transporte que debe ser mínimo de un 10%.
 - Reducción de un 20% en el consumo de energía primaria (medidas de ahorro y eficiencia energética) comparado con los niveles de tendencia.
- Consejo Europeo de diciembre de 2008 (paquete de energía y clima). Lanzó las pautas para la Directiva 2009/29/CE para la reducción del 20% de emisión de gases de efecto invernadero y para la Directiva 2009/28/CE para la reducción del consumo energético final de las energías renovables.
- 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.
- Directiva 2009/29/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de abril de 2009, por la que se modifica la Directiva 2003/87/CE para perfeccionar y ampliar el régimen comunitario de comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero.
- Directiva 2009/125/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 21 de octubre de 2009, por la que se instaura un marco para el establecimiento de requisitos de diseño ecológico aplicables a los productos relacionados con la energía.
- Directiva 2010/30/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de mayo de 2010, relativa a la indicación del consumo de energía y otros recursos por parte de los productos relacionados con la energía, mediante el etiquetado y una información normalizada.
- Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de mayo de 2010, relativa a la eficiencia energética de los edificios.
- Consejo Europeo de febrero de 2011, que reconocía la dificultad de alcanzar los objetivos previstos y adoptó su Comunicación relativa a un Plan de Eficiencia Energética 2011. Nace de la necesidad de actualizar el marco legal de la Unión en materia de eficiencia energética mediante una Directiva que persiga el objetivo general en llegar a 2020 con un ahorro del 20% en el consumo de energía primaria de la Unión.
- 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.
- 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.

- Decisión de la Comisión, de 1 de marzo de 2013, por la que se establecen las directrices para el cálculo por los Estados miembros de la energía renovable procedente de las bombas de calor de diferentes tecnologías, conforme a lo dispuesto en el artículo 5 de la Directiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo y del Consejo.
- Reglamento (UE) nº 813/2013 de la Comisión, de 2 de agosto de 2013, por el que se desarrolla la Directiva 2009/125/CE del Parlamento Europeo y del Consejo respecto de los requisitos de diseño ecológico aplicables a los aparatos de calefacción y a los calefactores combinados.
- Reglamento (UE) nº 814/2013 de la comisión, de 2 de agosto de 2013, por el que se aplica la Directiva 2009/125/CE del Parlamento Europeo y del Consejo en lo relativo a los requisitos de diseño ecológico para calentadores de agua y depósitos de agua caliente.
- Reglamento Delegado (UE) 2015/1186 de la Comisión, de 24 de abril de 2015, por el que se complementa la Directiva 2010/30/UE del Parlamento Europeo y del Consejo en lo relativo al etiquetado energético de los aparatos de calefacción local.
- Reglamento Delegado (UE) 2015/1187 de la Comisión, de 27 de abril de 2015, por el que se complementa la Directiva 2010/30/UE del Parlamento Europeo y del Consejo en lo relativo al etiquetado energético de calderas de combustible sólido y equipos combinados compuestos por una caldera de combustible sólido, calefactores complementarios, controles de temperatura y dispositivos solares.

3. NORMATIVA ESPAÑOLA

Esta es la secuencia normativa en orden cronológico (alguna de ellas ya ha sido derogada):

- Real Decreto 275/1995, de 24 de febrero, por el que se dictan las disposiciones de aplicación de la Directiva 92/42/CEE, relativa a los requisitos de rendimiento para las calderas nuevas de agua caliente alimentadas con combustibles líquidos o gaseosos, modificada por la Directiva 93/68/CEE.
- Versión consolidada y actualizada a 20 de Julio de 2013 del Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE), teniendo en cuenta todas las correcciones de errores y modificaciones realizadas sobre el mismo a partir de su publicación.
- Plan de Acción de Ahorro y Eficiencia Energética 2011-2020 del IDAE. Plan desarrollado por el gobierno dando respuesta a los requerimientos emanados del artículo 14 de la Directiva 2006/32/CE por el cual los Estados miembros están obligados a elaborar planes de acción de ahorro y eficiencia energética. Este plan sustituye y evoluciona el anterior que cubría el periodo 2008-2012.
- Real Decreto 187/2011, de 18 de febrero, relativo al establecimiento de requisitos de diseño ecológico aplicables a los productos relacionados con la energía.
- Real Decreto 1390/2011, de 14 de octubre, por el que se regula la indicación del consumo de energía y otros recursos por parte de los productos relacionados con la energía, mediante el etiquetado y una información normalizada.
- Real Decreto 235/2013, de 5 de abril, por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios. Refundición del Real Decreto 47/2007 incorporando las nuevas exigencias de la nueva Directiva 2010/31/UE relativa a la eficiencia energética de los edificios, ampliando su ámbito a todos los edificios incluidos los existentes.

- Orden FOM/1635/2013, de 10 de septiembre, por la que se actualiza el Documento Básico DB-HE "Ahorro de Energía", del Código Técnico de la Edificación, aprobado por Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo.
- Real Decreto-ley 8/2014, de 4 de julio, de aprobación de medidas urgentes para el crecimiento, la competitividad y la eficiencia.
- 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.

Asimismo, el Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (IDAE www.idae.es) dispone de varias publicaciones que sirven de guía para el cálculo e interpretación de la normativa establecida; algunas de las cuales se han utilizado para la confección de esta publicación.

4. REGLAMENTO DE INSTALACIONES TÉRMICAS EN LOS EDIFICIOS



Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios

El Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) en su versión consolidada del año 2013 (aprobado por el Real Decreto 1027/2007 y modificado por el Real Decreto 1826/2009, el Real Decreto 249/2010, el Real Decreto 238/2013 y el Real Decreto 56/2016) se constituye actualmente como la herramienta fundamental para el diseño de las instalaciones de calefacción, climatización y agua caliente sanitaria ya que impulsa un uso racional de la energía manteniendo las condiciones de bienestar térmico e higiene exigibles por las personas.

El reglamento se estructura en 4 grandes bloques (instrucciones técnicas) que regulan los aspectos claves de las instalaciones térmicas (calefacción, refrigeración y ACS). Son:

- IT 1. Exigencias de diseño y dimensionado: bienestar e higiene, eficiencia energética y seguridad.
- IT 2. Condiciones de montaje.
- IT 3. Exigencias de mantenimiento y uso.
- IT 4. Exigencias de inspección.

En general las cuatro instrucciones técnicas generan posibilidades de disminución del consumo, si bien son la primera (condiciones de diseño y dimensionado) y la tercera (exigencias de mantenimiento y uso) las que abren el espectro de medidas a implementar en las instalaciones con el fin de optimizar el rendimiento de las mismas y reducir el consumo de energía primaria procedente de fuentes no renovables.

4.1 Exigencias de diseño y dimensionado en eficiencia energética

Las mayores exigencias en eficiencia energética que establece el Reglamento de Instalaciones Térmicas para los nuevos diseños y dimensionados de instalaciones se plasman en:



Principales exigencias en eficiencia energética (RITE)

- Mayor rendimiento energético en los equipos de generación de calor y frío, así como los destinados al movimiento y transporte de fluidos.
- Mejor aislamiento en los equipos y conducciones de los fluidos térmicos.
- Mejor regulación y control para mantener las condiciones de diseño previstas en los locales climatizados.
- Utilización de energías renovables disponibles, en especial la energía solar y la biomasa.
- Incorporación de subsistemas de recuperación de energía y el aprovechamiento de energías residuales.
- Sistemas obligatorios de contabilización de consumos en el caso de instalaciones colectivas. Desaparición gradual de combustibles sólidos más contaminantes.
- Desaparición gradual de equipos generadores menos eficientes.

4.2 Exigencias de mantenimiento, uso e inspección en eficiencia energética

A través de las instrucciones IT3 e IT4 del Reglamento de Instalaciones Térmicas se regulan una serie de requisitos mínimos de mantenimiento, uso e inspección de las instalaciones de las cuales es responsable el titular de la misma.

Tanto el correcto mantenimiento preventivo como la puesta a punto y la optimización del ajuste en el funcionamiento de los generadores de calor/frío y del resto de los elementos de la instalación hacen posible un mejor comportamiento térmico de la misma y por tanto un aumento del rendimiento global del sistema.

Se trata de este modo de potenciar un aspecto muchas veces olvidado en las instalaciones térmicas como es el mantenimiento.

En este reglamento aparecen varias exigencias para el titular de la instalación entre las que destacan:



Principales exigencias para el titular de la instalación (RITE)

- Las instalaciones térmicas se utilizarán adecuadamente, de conformidad con las instrucciones de uso contenidas en un «Manual de uso y mantenimiento» que, en el caso de instalaciones colectivas, será incluido en el Libro del Edificio.
- El «Manual de uso y mantenimiento» de la instalación térmica debe contener las instrucciones de seguridad y de manejo y maniobra de la instalación, así como los programas de funcionamiento, mantenimiento preventivo y gestión energética.

- Se pondrá en conocimiento del responsable de mantenimiento cualquier anomalía que se observe en el funcionamiento normal de las instalaciones térmicas.
- Se encargará a una empresa mantenedora autorizada la realización del mantenimiento preventivo periódico de la instalación térmica. Se efectuará correctamente de acuerdo con las instrucciones del «Manual de uso y mantenimiento» y con las exigencias del RITE.
- Se llevarán a cabo las inspecciones obligatorias de eficiencia energética a las instalaciones (en particular a sus equipos de generación de calor y frío) y se conservará su correspondiente documentación, incluida la de reparación y reforma.

El objetivo de este manual es dar cuenta de algunas de las posibilidades existentes para la reducción del consumo final de energía primaria (no renovable) de un edificio, actuando sobre las distintas instalaciones de climatización que lo componen.

$$C \text{ (Consumo de energía no renovable)} = \frac{D \text{ (Demanda de energía)}}{R \text{ (Rendimiento de las instalaciones)}} - EERR$$

Teniendo en cuenta que en este caso la demanda (D) no se verá alterada (las instalaciones no definen el comportamiento térmico del edificio) se pretende actuar sobre las otras dos variables. Es decir, se plantean medidas que mejoren el rendimiento de las instalaciones (R) así como de la aportación de energías renovables (EERR).

En los siguientes capítulos se pasa a detallar una serie de medidas de eficiencia energética para los distintos tipos de instalaciones existentes. En particular se van a tratar tres grupos de instalaciones de climatización:

- Instalaciones de climatización por ciclo de Carnot, donde se tratará de explicar el funcionamiento y las posibilidades de optimización de los sistemas basados en bomba de calor.
- Instalaciones de calefacción y agua caliente sanitaria por combustión en calderas. Se explicarán los distintos tipos de calderas existentes, así como algunas medidas de ahorro energético.
- Instalaciones de climatización-ventilación por conductos de aire, donde se hará especial hincapié en los equipos de eficiencia energética como el de enfriamiento gratuito y el recuperador de calor.

Es importante destacar en este momento que no se pretende estudiar todas las posibilidades de mejora en el rendimiento de las instalaciones (solo se tratan algunas) y que se hace énfasis en las distintas tecnologías eficientes de los equipos más utilizados para la climatización en el sector residencial y pequeño terciario como son la bomba de calor y la caldera de combustión.

Asimismo, recordar también que hay medidas descritas en alguno de los bloques citados que perfectamente podrían ser válidas para los otros grupos, ya que en muchos casos son oportunidades de mejora que se pueden implementar en distintas tecnologías.



EJEMPLO

Por ejemplo, las medidas de mantenimiento preventivo descritas para las instalaciones de calefacción por combustión (calderas) son válidas para otro tipo de generadores de calor como las bombas de calor que funcionan mediante el ciclo de frío (compresión, expansión, condensación), salvando las diferencias que existen en cuanto a componentes.



RESUMEN

- El Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) se constituye actualmente como la herramienta fundamental para el diseño de las instalaciones de calefacción, climatización y agua caliente sanitaria, ya que impulsa un uso racional de la energía manteniendo las condiciones de bienestar térmico e higiene exigibles por las personas.
- Las principales exigencias de diseño y dimensionado en eficiencia energética especificadas en el RITE son:
 - Mayor rendimiento energético en los equipos de generación de calor y frío, así como los destinados al movimiento y transporte de fluidos.
 - Mejor aislamiento en los equipos y conducciones de los fluidos térmicos.
 - Mejor regulación y control para mantener las condiciones de diseño previstas en los locales climatizados.
 - Utilización de energías renovables disponibles, en especial la energía solar y la biomasa.
 - Incorporación de subsistemas de recuperación de energía y el aprovechamiento de energías residuales.
 - Sistemas obligatorios de contabilización de consumos en el caso de instalaciones colectivas. Desaparición gradual de combustibles sólidos más contaminantes.
 - Desaparición gradual de equipos generadores menos eficientes.
- Las principales exigencias de mantenimiento, uso e inspección para el titular de la instalación especificadas en el RITE son:
 - Las instalaciones térmicas se utilizarán adecuadamente, de conformidad con las instrucciones de uso contenidas en un «Manual de uso y mantenimiento» que, en el caso de instalaciones colectivas, será incluido en el Libro del Edificio.
 - El «Manual de uso y mantenimiento» de la instalación térmica debe contener las instrucciones de seguridad y de manejo y maniobra de la instalación, así como los programas de funcionamiento, mantenimiento preventivo y gestión energética.
 - Se pondrá en conocimiento del responsable de mantenimiento cualquier anomalía que se observe en el funcionamiento normal de las instalaciones térmicas.
 - Se encargará a una empresa mantenedora autorizada, la realización del mantenimiento preventivo periódico de la instalación térmica, que será realizado correctamente de acuerdo con las instrucciones del «Manual de uso y mantenimiento» y con las exigencias del RITE.
 - Se realizarán las inspecciones obligatorias de eficiencia energética a las instalaciones (en particular a sus equipos de generación de calor y frío) y se conservará su correspondiente documentación, incluida la de reparación y reforma.

UNIDAD 3. INSTALACIONES DE CLIMATIZACIÓN POR CICLO DE CARNOT

Contenidos

1. Climatización por ciclo de Carnot: bomba de calor	17
2. Medidas eficientes en la elección de la bomba de calor	20
3. Medidas eficientes en el diseño de la instalación	23
4. Mantenimiento preventivo: optimización del rendimiento de la instalación	28
5. Medidas eficientes con aportación de energías renovables	33
Resumen	40



Objetivos de la unidad didáctica:

- Comprender el funcionamiento de la bomba de calor (ciclo de Carnot).
- Conocer algunas de las medidas para la mejora del rendimiento en las instalaciones por bomba de calor.
- Conocer los distintos sistemas de aportación de energías renovables en sistemas basados en bomba de calor (aerotermia, geotermia...).

1. CLIMATIZACIÓN POR CICLO DE CARNOT: BOMBA DE CALOR

1.1 Bomba de calor



Bomba de calor

La bomba de calor es un equipo para climatización (puede generar frío o calor) que funciona mediante el ciclo de frío de Carnot (también llamado de compresión), aprovechando la energía latente del cambio de fase (líquido a vapor) de un refrigerante que se caracteriza por tener un punto de ebullición muy bajo (pasa de líquido a vapor a bajas temperaturas).

Las bombas de calor basadas en el ciclo de compresión de Carnot trabajan en 4 fases:

- **Compresor:** el refrigerante llega a este módulo en forma de gas a baja presión. Mediante la ayuda de la energía eléctrica el trabajo del compresor hace que el gas aumente de presión y de temperatura.
- **Condensador:** el gas a alta temperatura llega a un intercambiador de calor donde el refrigerante se enfría, cediendo calor al exterior. Se licúa pasando de nuevo a estado líquido, igualando su temperatura con el exterior y manteniendo la alta presión.
- **Expansión:** el refrigerante llega a la válvula de expansión. Se pulveriza, pasando a ser mezcla de gas y líquido. A su salida se encuentra líquido y a baja presión.
- **Evaporador:** se trata de otro intercambiador de calor. El refrigerante en este caso, absorbe calor del recinto, pasando otra vez a estado de gas. Esta vez a alta temperatura y baja presión. El aire o el agua que pasa por el evaporador es el que cede el calor enfriando la temperatura del exterior. Finalmente el fluido a la salida del evaporador se vuelve a introducir en el compresor donde se inicia el ciclo de nuevo.

Además, como parte de la evolución tecnológica, se ha conseguido mediante la implementación de válvulas de 4 vías revertir el ciclo térmico de forma que la parte de frío (evaporador) se transforma en la de calor (condensador) y viceversa. Se dispone, por tanto, de una máquina reversible capaz de generar tanto frío como calor.

UD3. Instalaciones de climatización por ciclo de Carnot

La bomba de calor sigue siendo el mismo sistema utilizado por las primeras máquinas de aire acondicionado (que se usaban exclusivamente para frío), si bien ahora la tecnología actual ha conseguido que sea un equipo de alta eficiencia energética con unos rendimientos mucho mayores.

De hecho, la mayoría de los sistemas de climatización más utilizados en la actualidad en el sector residencial y pequeño terciario, como pueden ser los equipos autónomos de aire acondicionado, los sistemas split-multisplit, la climatización por conductos, los sistemas VRV, *fancoils*...se basan en este tipo de equipo.

Existen varios tipos de bombas de calor en función del medio de donde se extrae el calor y el fluido utilizado para transmitirlo,

- **Bomba de calor aire-aire:** es la más usada, extrae la energía del aire exterior y lo transmite al interior también en forma de aire.
- **Bomba de calor aire-agua:** intercambia calor/frío con el exterior y lo transmite al interior a través de un circuito de tuberías por agua. Si tiene un alto rendimiento se le considera energía renovable (aeroterminia).
- **Bomba de calor agua-agua:** intercambia calor/frío con un río, lago o pozo y lo transmite mediante un circuito de tuberías de agua. Si tiene un alto rendimiento se le considera energía renovable (hidrotermia). La parte del condensador también puede ser una torre de recuperación por agua.
- **Bomba de calor tierra-agua:** intercambia calor/frío con la tierra a cierta profundidad. Si tiene un alto rendimiento se le considera energía renovable (geotermia).



COP y EER

El rendimiento nominal de una bomba de calor en modo calefacción se denomina COP (*Coefficient of Performance*) y en modo refrigeración EER (*Energy Efficiency Ratio*). Son siempre superiores al 100%.

Esto es debido (aunque pueda parecer imposible por las propias leyes de la termodinámica) a que la bomba de calor no rentabiliza la electricidad suministrada para su funcionamiento, sino que simplemente moviliza energía interna latente contenida en el refrigerante aprovechando su cambios de fase de líquido a vapor (y viceversa).

Por tanto, el rendimiento de este tipo de equipos se calcula como la cantidad de energía útil obtenida a partir del trabajo del compresor que funciona con electricidad. De ahí que puedan ser muy altos.

En los últimos años las bombas de calor (en todas sus modalidades) han experimentado un fuerte desarrollo tecnológico que ha permitido multiplicar su rendimiento. Actualmente son consideradas un equipo de alta eficiencia energética por toda la normativa europea y española.

Además, en algunos casos se puede justificar como energía renovable (Geotermia, Hidrotermia, Aeroterminia) como posteriormente se detallará.

Son equipos muy cómodos en su instalación puesto que tan solo requieren su conexión a la instalación eléctrica convencional.

Por el contrario, tienen el inconveniente (que también ocurre en cualquier otra máquina térmica) de que su rendimiento se ve alterado por las condiciones de temperatura del foco frío y del foco caliente. En este sentido, funcionan peor (tienen menos rendimiento) cuanto más extremas sean las condiciones exteriores. Es decir, si se utiliza para calefacción tendrá peor rendimiento cuanto

más frío haga en el exterior (baja mucho si las condiciones exteriores son inferiores a $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$). Y viceversa en refrigeración (en este caso a más de $40\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Esto sucede porque la diferencia de temperaturas en el intercambiador de calor (ya sea el condensador, ya sea el evaporador) se hace más pequeña con temperaturas extremas y, por tanto, el dispositivo tiene menos capacidad para disipar o absorber calor.



RECUERDA

La bomba de calor es por tanto muy eficiente y con grandes rendimientos en climas templados (por ejemplo, mediterráneo o cerca de la costa), pero no es tan óptima para climas extremos (clima continental, países nórdicos...). En estos casos se puede optar por incorporar alguna tecnología renovable (Geotermia, Aerotermia, Hidrotermia) que salven esos problemas de rendimiento.

1.2 Tipos de instalaciones

Las instalaciones de climatización por bomba de calor tienen innumerables posibilidades de diseño. A diferencia de los sistemas de combustión para calefacción y agua caliente sanitaria (ACS) donde el sistema tipo es a través de conducciones de agua caliente que finalmente se reparte al usuario mediante unidades terminales (radiadores, acumuladores de ACS, suelo radiante, *fancoils*...); en los sistemas de climatización por el ciclo de compresión que pueden generar calor y frío se permiten muchas más variantes.

En esta tabla se describen múltiples variantes de los sistemas existentes de bomba de calor.

BOMBA DE CALOR EN MODO FRÍO			En modo calor se cambian la posición de evaporador y condensador		
Condensador	Fluido	Evaporador	Transporte primario	Tratamiento intermedio	Unidad terminal
Aire	Refrigerante	Aire	-	-	Unidades compacta, split (pared, cassette) o multisplit
Aire	Refrigerante	Aire	Conductos de aire	Unidades de tratamiento de aire (climatizadores)	Rejillas, difusores
A E R O T E R M I A	Aire	Refrigerante	Tuberías de agua	Unidades de tratamiento de aire (climatizadores)	Rejillas, difusores
	Aire	Refrigerante	Tuberías de agua	-	Ventiloconvectores, fancoils
	Aire	Refrigerante	Tuberías de agua	-	Suelo radiante, radiadores
H I D R O T E R M I A	Agua	Refrigerante	Tuberías de agua	Unidades de tratamiento de aire (climatizadores)	Rejillas, difusores
	Agua	Refrigerante	Tuberías de agua	-	Ventiloconvectores, fancoils
	Agua	Refrigerante	Tuberías de agua	-	Suelo radiante, radiadores
G E O T E R M I A	Tierra	Refrigerante	Tuberías de agua	Unidades de tratamiento de aire (climatizadores)	Rejillas, difusores
	Tierra	Refrigerante	Tuberías de agua	-	Ventiloconvectores, fancoils
	Tierra	Refrigerante	Tuberías de agua	-	Suelo radiante, radiadores

Figura 1. Distintas combinaciones de uso de bomba de calor. Fuente: Elaboración propia

2. MEDIDAS EFICIENTES EN LA ELECCIÓN DE LA BOMBA DE CALOR

2.1. Optimización del rendimiento: SEER y SCOP

a. COP Y EER

Desde la publicación de la directiva 2002/31/CE (derogada por Reglamento Delegado (UE) nº 626/2011) todos los equipos generadores de frío y de calor vienen calificados energéticamente con una etiqueta energética que está vinculada a los dos parámetros de rendimiento mencionados anteriormente: el EER y el COP.

Ambos coeficientes prueban la relación entre la potencia frigorífica/calorífica generada y la potencia eléctrica consumida de la red. De este modo:

- EER: Potencia frigorífica obtenida/Potencia eléctrica consumida en refrigeración.
- COP: Potencia calorífica obtenida/Potencia eléctrica consumida en calefacción.

Cuanto mayor sea dicho índice, mayor es también el rendimiento de la máquina, puesto que para la misma cantidad de electricidad consumida de la red, mayor es la cantidad de frío/calor que se produce.



EJEMPLO

Por ejemplo, si una máquina de 3 kW de frío dice tener un EER de 3 eso significa que el consumo eléctrico es de $3 \text{ kW} / 3 = 1 \text{ kW}$ eléctrico.

La etiqueta antigua que poseían las máquinas era similar a la que se muestra a continuación:

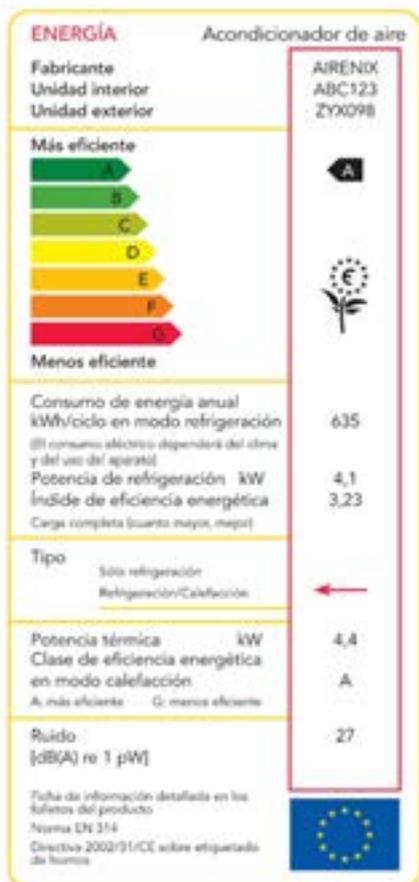


Figura 2. Etiqueta Según Directiva 2002/31/CE.

Fuente: Guía de la energía. IDAE

El modelo de etiquetado, que se puede observar en la figura el EER=3,23, tenía el problema de que el rendimiento que certificaba el fabricante se obtenía con la máquina funcionando a plena carga (al 100% de su potencia, la nominal); algo que no suele ocurrir habitualmente ya que no se suelen dar en la realidad las mismas condiciones extremas que se ensayan para la obtención del EER y el COP.

Si a este hándicap se le suma el desarrollo técnico de equipos con tecnología “Inverter”, que actualmente permiten regular el giro del compresor de la máquina para modularse a la demanda y trabajar a cargas parciales, se puede considerar que tanto el EER como el COP no son completamente fiables para conocer el índice de eficiencia energética de un equipo.

b. SCOP Y SEER

Por este motivo y en aplicación del Reglamento Delegado (UE) nº 626/2011, que desarrolla la Directiva 2010/30/UE del Parlamento Europeo y del Consejo en lo que respecta al etiquetado energético de los acondicionadores de aire (transpuesta en España mediante el Real Decreto 1390/2011), a partir del 1 de enero de 2013 todos los equipos de aire acondicionado deben venir etiquetados con su índice de eficiencia energética estacional (SEER) y su coeficiente de rendimiento estacional (SCOP) en vez de los anteriores EER y COP.

En España esta normativa afecta al etiquetado energético de los lavavajillas, los aparatos de refrigeración, las lavadoras, las televisiones y los acondicionadores de aire.

De este modo se soluciona el problema de los antiguos parámetros COP y EER, ya que ahora sí se tienen en cuenta:

- El consumo del equipo cuando este se encuentra apagado, desactivado por termostato o en espera.
- El funcionamiento del equipo a cargas parciales (100%, 74%, 47%, 21%).

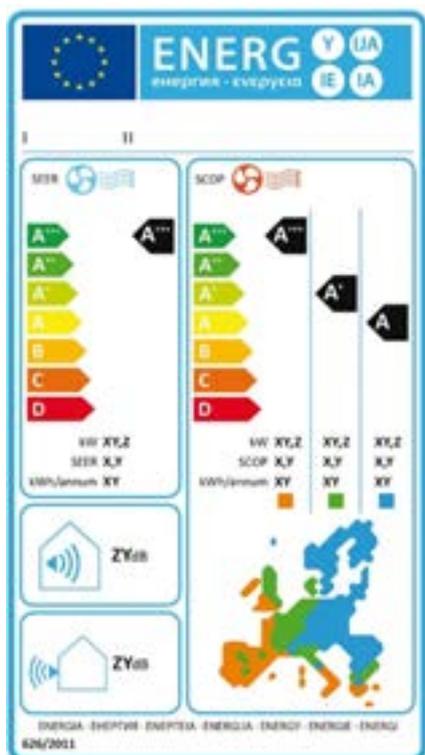


Figura 3. Nueva Etiqueta Energética desde 1/1/2013.
Fuente: Reglamento Delegado (UE) Nº 626/2011

UD3. Instalaciones de climatización por ciclo de Carnot

Con la nueva etiqueta se cambian también los indicadores energéticos que en ella se muestran (el EER y el COP son sustituidos por el SEER y el SCOP) y se permite obtener un resultado más aproximado a la realidad de la eficiencia energética del equipo.

Con estos indicadores se tiene en cuenta el funcionamiento de las máquinas a carga parcial y además las distintas condiciones exteriores que dependen del clima (que también tienen importancia para calcular el rendimiento estacional activo neto, como luego se verá).

Además se irán introduciendo progresivamente tres nuevas clases de eficiencia energética (A+, A++ y A+++) con el fin de ir eliminando clases menos eficientes.

En las siguientes tablas se muestran la relación entre el SEER y el SCOP y la etiqueta energética, así como los plazos de introducción de las nuevas clases:

MODO REFRIGERACIÓN		MODO CALEFACCIÓN	
CLASE DE EFICIENCIA ENERGÉTICA	ACONDICIONADORES DE AIRE	CLASE DE EFICIENCIA ENERGÉTICA	ACONDICIONADORES DE AIRE
A+++	SEER \geq 8,5	A+++	SCOP \geq 5,1
A++	6,1 \leq SEER $<$ 8,5	A++	4,6 \leq SCOP $<$ 5,1
A+	5,6 \leq SEER $<$ 6,1	A+	4,0 \leq SCOP $<$ 4,6
A	5,1 \leq SEER $<$ 5,6	A	3,4 \leq SCOP $<$ 4,0
B	4,6 \leq SEER $<$ 5,1	B	3,1 \leq SCOP $<$ 3,4
C	4,1 \leq SEER $<$ 4,6	C	2,8 \leq SCOP $<$ 3,1
D	3,6 \leq SEER $<$ 4,1	D	2,5 \leq SCOP $<$ 2,8
E	3,1 \leq SEER $<$ 3,6	E	2,2 \leq SCOP $<$ 2,5
F	2,6 \leq SEER $<$ 3,1	F	1,9 \leq SCOP $<$ 2,2
G	SEER $<$ 2,6	G	SCOP $<$ 1,9

Figura 4. Tabla de relación entre SEER y SCOP con etiqueta energética. Fuente: Elaboración propia

NUEVA ESCALA DE ETIQUETADO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA	
FECHA DE INCORPORACIÓN	CLASES DE ETIQUETAS VÁLIDAS
1 de enero de 2013	A, B, C, D, E, F, G
1 de enero de 2015	A+, A, B, C, D, E, F, G
1 de enero de 2017	A++, A+, A, B, C, D, E, F, G
1 de enero de 2019	A+++, A++, A+, A, B, C, D, E, F, G

Figura 5. Proceso de entrada en vigor de las nuevas etiquetas energéticas. Fuente: Elaboración propia

3. MEDIDAS EFICIENTES EN EL DISEÑO DE LA INSTALACIÓN

3.1 Ajuste de la potencia nominal de los equipos de producción de frío

El Reglamento de Instalaciones Térmicas indica que la potencia nominal de los equipos de producción de frío se deberá ajustar a la máxima demanda simultánea de la instalación.

Es importante, a efectos de ahorro energético, elegir la potencia nominal correcta de la máquina de generación de frío (o calor).

No interesa que se quede corta puesto que de ese modo la producción de frío será insuficiente y la máquina estará mucho tiempo funcionando e incluso no llegará a climatizar la estancia en las condiciones requeridas.

Pero tampoco interesa sobredimensionar en exceso ya que en este caso el consumo energético punta será demasiado elevado para posteriormente tener grandes periodos de paro lo cual penaliza el rendimiento medio de la instalación.

El cálculo de dicha potencia nominal se debe realizar por un técnico cualificado que evalúe la demanda energética máxima de la instalación dejando de lado la costumbre habitual de hacer cálculos aproximados basados en la proporción de superficie a refrigerar.

3.2 Fraccionamiento de potencia



Fraccionamiento de potencia

El Reglamento de Instalaciones Térmicas introduce el concepto de fraccionamiento de potencia con el fin de conseguir que la producción de frío de los equipos de generación (también habla de calor, del que se tratará más adelante) se aproxime lo máximo posible a la demanda real simultánea del sistema.

Esto se puede conseguir mediante la redistribución del número, potencia y el tipo de los generadores. De esta forma, la potencia de una central aumentará según la suma de escalones de potencia hasta llegar a su máximo, siempre con el condicionante de que los generadores se conectarán hidráulicamente en paralelo y estarán independizados completamente.

Asimismo el RITE impone que si la demanda de la instalación puede ser menor que la potencia del escalón mínimo de la central frigorífica, se diseñará un sistema capaz de cubrir esa demanda durante un día. El mismo sistema se utilizará para limitar la punta de la demanda máxima diaria. Esta exigencia se puede cumplir mediante sistemas de acumulación, por ejemplo, usando acumuladores de agua fría en enfriadoras.

3.3 Aumento de la temperatura de consigna

Atendiendo a los requisitos de bienestar e higiene que formula el Reglamento de Instalaciones Térmicas para una actividad metabólica sedentaria y con una ropa adecuada al momento, las temperaturas de regulación de la instalación de refrigeración deberían oscilar entre los 23-25 °C.



RECUERDA

Una variación de un grado en la temperatura de consigna del sistema de climatización supone cerca de un 8% más en el consumo energético final, de modo que es importante ajustar correctamente este nivel siempre que se mantengan las condiciones de bienestar térmico de los usuarios y atendiendo a criterios tan simples como la propia ubicación del control de temperatura, ya que no todas las estancias tienen ni requieren las mismas condiciones por motivos de orientación, de uso y habitabilidad, de acondicionamiento, de iluminación...

3.4 Tecnología “inverter” - sistemas VRV

El ciclo de frío de Carnot necesita de la existencia de un compresor alimentado por electricidad para aumentar la temperatura y presión del gas refrigerante.

Este elemento es el principal consumidor de energía eléctrica de un sistema de bomba de calor (también existen otros elementos: bombas de circulación, ventiladores, electrónica... pero de un consumo menor).

En un sistema convencional, el termostato es el sensor que controla la temperatura ambiente y da las señales de actuación (marcha y paro) sobre el equipo con unos pequeños márgenes de histéresis sobre la temperatura de consigna. Este sistema genera importantes picos de consumo eléctrico en el arranque del compresor. Se denominan también sistemas todo-nada (o en marcha o parado).



Sistema “Inverter”

El sistema “Inverter”, conocido también como volumen de refrigerante variable o VRV (aunque realmente debería llamarse caudal de refrigerante variable), incorpora un variador de frecuencia que actúa sobre el compresor variando su velocidad. De esta forma el régimen de trabajo se adecúa permanentemente a la demanda térmica evitando arranques y paradas. Esto influye directamente en la reducción del consumo eléctrico y por tanto en un aumento del rendimiento del equipo y de la instalación.

En la actualidad, algunas marcas ya han desarrollado nuevos sistemas que incluso mejoran las prestaciones del sistema VRV.

3.5 Aislamiento de redes de transporte de agua

Durante el transporte del calor o del frío a través de las tuberías de agua, se producen unas pérdidas energéticas que no se pueden despreciar.

De esta forma, todas las tuberías, accesorios, aparatos y depósitos de las instalaciones térmicas dispondrán de un aislamiento térmico cuando contengan:

- Fluidos refrigerados con temperatura menor que la temperatura del ambiente del local por el que discurren.
- Fluidos con temperatura mayor que 40 °C cuando estén instalados en locales no calefactados, entre los que se deben considerar pasillos, galerías, patinillos, aparcamientos, salas de máquinas, falsos techos y suelos técnicos, entendiendo excluidas las tuberías de torres de refrigeración y las tuberías de descarga de compresores frigoríficos, salvo cuando estén al alcance de las personas.



RECUERDA

Las pérdidas térmicas globales por el conjunto de conducciones cuyo fluido caloportador sea agua, no superarán el 4% de la potencia máxima que transporta.

Para el cálculo del espesor mínimo de aislamiento se puede optar por dos procedimientos siendo el **simplificado** el que se detalla a continuación.

Los espesores mínimos de aislamientos térmicos (tanto para frío como para calor) en mm, se calculan en función del diámetro exterior de la tubería sin aislar y de la temperatura del fluido en la red y para un material con conductividad térmica de referencia a 10 °C de 0,040 W/(m·K) según las tablas 1.2.4.2.1 a 1.2.4.2.5 reflejadas en el Reglamento de Instalaciones Térmicas.

En el caso de que las instalaciones se usen de una forma continua (por ejemplo, para agua caliente sanitaria) se añadirán 5 mm suplementarios a estos valores.

Para tuberías de calor:

Tabla 1.2.4.2.1: Espesores mínimos de aislamiento (mm) de tuberías y accesorios que transportan fluidos calientes que discurren por el interior de edificios			
Diámetro exterior (mm)	Temperatura máxima del fluido (°C)		
	40...60	> 60...100	> 100...180
$D \leq 35$	25	25	30
$35 < D \leq 60$	30	30	40
$60 < D \leq 90$	30	30	40
$90 < D \leq 140$	30	40	50
$140 < D$	35	40	50

Tabla 1.2.4.2.2: Espesores mínimos de aislamiento (mm) de tuberías y accesorios que transportan fluidos calientes que discurren por el exterior de edificios			
Diámetro exterior (mm)	Temperatura máxima del fluido (°C)		
	40...60	> 60...100	> 100...180
$D \leq 35$	35	35	40
$35 < D \leq 60$	40	40	50
$60 < D \leq 90$	40	40	50
$90 < D \leq 140$	40	50	60

Tabla 1.2.4.2.2: Espesores mínimos de aislamiento (mm) de tuberías y accesorios que transportan fluidos calientes que discurren por el exterior de edificios			
Diámetro exterior (mm)	Temperatura máxima del fluido (°C)		
	40...60	> 60...100	> 100...180
$140 < D$	45	50	60

Figura 6. Tablas 1.2.4.2.1 y 1.2.4.2.2: Fuente: Reglamento de Instalaciones Térmicas

Para tuberías de frío:

Tabla 1.2.4.2.3 Espesores mínimos de aislamiento (mm) de tuberías y accesorios que transportan fluidos fríos que discurren por el interior de edificios.			
Diámetro exterior (mm)	Temperatura mínima del fluido (°C)		
	> -10...0	> 0...10	> 10
$D \leq 35$	30	25	20
$35 < D \leq 60$	40	30	20
$60 < D \leq 90$	40	30	30
$90 < D \leq 140$	50	40	30
$140 < D$	50	40	30

Tabla 1.2.4.2.4 Espesores mínimos de aislamiento (mm) de tuberías y accesorios que transportan fluidos fríos que discurren por el exterior de edificios.			
Diámetro exterior (mm)	Temperatura mínima del fluido (C)		
	> -10...0	> 0...10	> 10
$D \leq 35$	50	45	40
$35 < D \leq 60$	60	50	40
$60 < D \leq 90$	60	50	50
$90 < D \leq 140$	70	60	50
$140 < D$	70	60	50

Tablas 1.2.4.2.3 y 1.2.4.2.4: Fuente: Reglamento de Instalaciones Térmicas

Para circuitos frigoríficos:

Tabla 1.2.4.2.5 Espesores mínimos de aislamiento (mm) de circuitos frigoríficos para climatización (*) en función del recorrido de las tuberías.		
Diámetro exterior (mm)	Interior edificios (mm)	Exterior edificios (mm)
$D \leq 13$	10	15
$13 < D < 26$	15	20
$26 < D < 35$	20	25
$35 < D < 90$	30	40
$D > 90$	40	50

(*) Excluidos los procesos de frío industrial. Si el recorrido exterior de la tubería es superior a 25 m, se deberá aumentar estos espesores al espesor comercial inmediatamente superior, con un aumento en ningún caso inferior a 5 mm.

Figura 7. Tabla 1.2.4.2.5: Fuente: Reglamento de Instalaciones Térmicas

Para el aislamiento de equipos, aparatos y depósitos deben ser iguales o mayores que los indicados en las tablas anteriores para las tuberías de diámetro exterior mayor que 140 mm. Para los accesorios de la red, como válvulas, filtros, etc., serán los mismos que los de la tubería en que estén instalados.

Cuando se utilicen materiales de conductividad térmica distinta a $\lambda_{ref} = 0,04 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ a 10°C , se realizará una corrección del espesor mínimo aplicando las siguientes ecuaciones:

Para conductos rectangulares

$$d = d_{ref} \frac{\lambda}{\lambda_{ref}}$$

Para conductos circulares

$$d = \frac{D}{2} \left[\text{EXP} \left(\frac{\lambda}{\lambda_{ref}} \cdot \ln \frac{D + 2 \cdot d_{ref}}{D} \right) - 1 \right]$$

donde:

$\lambda_{ref} = 0,04 \text{ W/(mK)}$

λ = conductividad térmica del material, en W/(mK)

d_{ref} = espesor mínimo de referencia en mm (tabla)

d = espesor mínimo del material empleado, en mm

D = diámetro interior del material aislante o diámetro exterior de la tubería en mm

3.6 Contabilización de consumos



Contabilización individualizada

El Reglamento de Instalaciones Térmicas en su IT1.2.4.4 establece una serie de condiciones sobre la contabilización de consumos para que las instalaciones den servicio a más de un usuario. De esta forma todos los usuarios dispondrán de sus propios contadores de energía eléctrica y térmica (calor, frío y ACS).

Normalmente, el control del gasto por parte de cada usuario repercute en un ahorro de energía, ya que evita el despilfarro.

Asimismo, las bombas y ventiladores de potencia eléctrica del motor superior a 20 kW dispondrán de un dispositivo que permita registrar las horas de funcionamiento del equipo.

Esta medida tiene menos influencia en instalaciones de frío que en las de calor puesto que actualmente no existen demasiadas instalaciones centralizadas con equipos de bomba de calor (salvo en centros comerciales), algo que sí es más habitual con calderas para calefacción y ACS.

Aún así los requisitos del RITE para la contabilización de consumos son los siguientes:

CONTABILIZACIÓN DE CONSUMOS EXIGIDOS SEGÚN RITE						
Componentes de la instalación		Combustible consumido	Electricidad consumida	Energía térmica entregada	Horas de funcionamiento	Número de arranques
Instalación térmica conjunta		$P_n > 70\text{KW}$	$P_n > 70\text{KW}$	-	-	-
Generadores	Calor	-	-	$P_n > 400\text{KW}$	$P_n > 400\text{KW}$	-
	Frío	-	$P_n > 400\text{KW}$	$P_n > 400\text{KW}$	$P_n > 70\text{KW}$	
	Compresores				$P_n > 70\text{KW}$	$P_n > 70\text{KW}$
Bombas					$P_n > 20\text{KW}$	
Ventiladores					$P_n > 20\text{KW}$	

Figura 8. Requisitos para contabilización de consumos según RITE. Elaboración propia

3.7 Desescarche del evaporador en modo calefacción

Teniendo en cuenta que el origen del equipo inicialmente era la refrigeración, es lógico pensar que su diseño estaba orientado a las condiciones del ciclo térmico para obtener frío en verano.

Cuando la máquina empezó a usarse en modo reversible para obtener también calefacción se generó un problema que era la formación de hielo en el evaporador (en modo calefacción se encuentra fuera). Si la temperatura en la superficie de los tubos disminuye por debajo del punto de rocío del aire se produce este efecto denominado de escarchado.



Escarchado y rendimiento

El escarchado incide negativamente en el rendimiento de la máquina por dos motivos:

- Pérdida en la superficie de intercambio.
- Pérdida de carga en el flujo de aire a través del conjunto de tubos.

4. MANTENIMIENTO PREVENTIVO: OPTIMIZACIÓN DEL RENDIMIENTO DE LA INSTALACIÓN

El mantenimiento preventivo periódico de una instalación de climatización mediante bomba de calor es muy importante por muchos motivos:

- Para asegurar la seguridad de la instalación.
- Para asegurar el correcto funcionamiento del equipo.
- Para prevenir futuras averías.
- Para incrementar su vida útil.
- Para optimizar el rendimiento energético, reduciendo el consumo de energía.

Dada su importancia, el mismo Reglamento de Instalaciones Térmicas, regula una serie de revisiones de mantenimiento e inspecciones obligatorias siendo responsable de que se lleven a cabo por el titular de la instalación.

El objetivo en este sentido del RITE es doble: extremar las medidas de seguridad en el uso de la máquina y optimizar el rendimiento energético de los generadores de frío y calor.

La IT3 del RITE dispone de una instrucción técnica (apartados 3.2 y 3.3) que contiene las exigencias que deben cumplir las instalaciones térmicas con el fin de asegurar que su funcionamiento, a lo largo de su vida útil, se realice con la máxima eficiencia energética, garantizando la seguridad, la durabilidad y la protección del medio ambiente.

Para ello las instalaciones térmicas deben ser mantenidas de acuerdo con las operaciones y periodicidades contenidas en el programa de mantenimiento preventivo establecido en el «Manual de uso y mantenimiento» cuando este exista y siendo al menos las indicadas en la siguiente tabla:

La siguiente tabla:

Tabla 3.1 IT3 RITE. Operaciones de mantenimiento preventivo y su periodicidad.		
Equipos y potencias útiles nominales (Pn)	Usos	
	Viviendas	Restantes usos
Calentadores de agua caliente sanitaria a gas $P_n \leq 24,4$ kW	5 años	2 años
Calentadores de agua caliente sanitaria a gas $24,4$ kW < $P_n \leq 70$ kW	2 años	anual
Calderas murales a gas $P_n \leq 70$ kW	2 años	anual
Resto instalaciones calefacción 70 kW $\leq P_n$	anual	anual
Aire acondicionado $P_n \leq 12$ kW	4 años	2 años
Aire acondicionado 12 kW < $P_n \leq 70$ kW	2 años	anual
Instalaciones de potencia superior a 70 kW	mensual	mensual

Figura 9. *Tabla 3.1 de la IT3 del RITE. Elaboración propia*

Para instalaciones de potencia útil nominal menor o igual a 70 kW, cuando no exista "Manual de uso y mantenimiento", las instalaciones se mantendrán de acuerdo con el criterio profesional de la empresa mantenedora (con carné de profesional RITE), pero podrían ser las de la siguiente tabla a título orientativo:

Tabla 3.2 IT3 RITE Operaciones de mantenimiento preventivo y su periodicidad
Instalación de climatización
1. Limpieza de los evaporadores. Limpieza de los condensadores.
2. Drenaje, limpieza y tratamiento del circuito de torres de refrigeración.
3. Comprobación de la estanquidad y niveles de refrigerante y aceite en equipos frigoríficos.
4. Revisión y limpieza de filtros de aire.
5. Revisión de aparatos de humectación y enfriamiento evaporativo.
6. Revisión y limpieza de aparatos de recuperación de calor.
7. Revisión de unidades terminales agua-aire.
8. Revisión de unidades terminales de distribución de aire.
9. Revisión y limpieza de unidades de impulsión y retorno de aire.
10. Revisión de equipos autónomos

Las periodicidades son las establecidas en la tabla 3.1

Figura 10. *Tabla 3.2 IT3 RITE. Operaciones de mantenimiento preventivo y su periodicidad*
Elaboración propia

Obviamente, solo se comprobarán aquellos puntos que existan en la instalación de climatización ya que la lista incluye muchos elementos que no todas las instalaciones disponen: torres de refrigeración, recuperadores de calor, etc.

UD3. Instalaciones de climatización por ciclo de Carnot

Las instalaciones de potencia útil nominal mayor de 70 kW se adecuarán a las operaciones y periodicidades en la siguiente tabla:

Tabla 3.3 Operaciones de mantenimiento preventivo y su periodicidad.	
OPERACIÓN	PERIODICIDAD
1. Limpieza de los evaporadores	t
2. Limpieza de los condensadores	t
3. Drenaje, limpieza y tratamiento del circuito de torres de refrigeración	2t
4. Comprobación de la estanquidad y niveles de refrigerante y aceite en equipos frigoríficos	m
5. Comprobación y limpieza, si procede, de circuito de humos de calderas	2t
6. Comprobación y limpieza, si procede, de conductos de humos y chimenea	2t
7. Limpieza del quemador de la caldera	m
8. Revisión del vaso de expansión	m
9. Revisión de los sistemas de tratamiento de agua	m
10. Comprobación de material refractario	2t
11. Comprobación de estanquidad de cierre entre quemador y caldera	m
12. Revisión general de calderas de gas	t
13. Revisión general de calderas de gasóleo	t
14. Comprobación de niveles de agua en circuitos	m
15. Comprobación de estanquidad de circuitos de tuberías:	t
16. Comprobación de estanquidad de válvulas de interceptación	2t
17. Comprobación de tarado de elementos de seguridad	m
18. Revisión y limpieza de filtros de agua	2t
19. Revisión y limpieza de filtros de aire	m
20. Revisión de baterías de intercambio térmico	t
21. Revisión de aparatos de humectación y enfriamiento evaporativo	m
22. Revisión y limpieza de aparatos de recuperación de calor	2t
23. Revisión de unidades terminales agua-aire	2t
24. Revisión de unidades terminales de distribución de aire	2t
25. Revisión y limpieza de unidades de impulsión y retorno de aire	t
26. Revisión de equipos autónomos	2t
27. Revisión de bombas y ventiladores	m
28. Revisión del sistema de preparación de agua caliente sanitaria	m
29. Revisión del estado del aislamiento térmico	t
30. Revisión del sistema de control automático	2t
31. Instalación de energía solar térmica	(*)
32. Comprobación del estado de almacenamiento del biocombustible sólido	S*
33. Apertura y cierre del contenedor plegable en instalaciones de biocombustible sólido	2t
34. Limpieza y retirada de cenizas en instalaciones de biocombustible sólido	m
35. Control visual de la caldera de biomasa	S*
36. Comprobación y limpieza, si procede, de circuito de humos de calderas y conductos de humos	m
37. Revisión de los elementos de seguridad en instalaciones de biomasa	m
38. Revisión de la red de conductos según criterio de la norma UNE 100012	t
39. Revisión de la calidad ambiental según criterios de la norma UNE 171330	t

S: una vez cada semana.

S*: Estas operaciones podrán realizarse por el propio usuario, con el asesoramiento previo del mantenedor.

m: una vez al mes; la primera al inicio de la temporada.

t: una vez por temporada (año).

2 t: dos veces por temporada (año); una al inicio de la misma y otra a la mitad del período de uso, siempre que haya una diferencia mínima de dos meses entre ambas.

(*) El mantenimiento de estas instalaciones se realizará de acuerdo con lo establecido en la Sección HE4 Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria del Código Técnico de la Edificación.

Figura 11. Tabla 3.3 IT3 RITE. Fuente: RITE. Elaboración propia

Las tablas recogidas por el RITE son un punto importante de partida puesto que obliga a una revisión periódica de todos los elementos de las instalaciones por empresas autorizadas.

Aun así, la lista es tan exhaustiva que puede resultar incluso confusa debido a la gran variedad de tipologías de instalaciones existentes basadas en esta tecnología.



EJEMPLO

Por ejemplo, los puntos de mantenimiento de una instalación por conductos (rejillas, difusores, unidades de tratamiento de aire, ventiladores) no se parece en nada a una instalación multisplit (unidad exterior, varias unidades interiores) o a una instalación aire-agua con unidades terminales tipo *fancoil*. Y todas ellas funcionan mediante la incorporación de un equipo bomba de calor.

Por este motivo, se ha de realizar el mantenimiento preventivo según el programa establecido en el «Manual de uso y mantenimiento» aun cuando este no sea obligatorio por normativa.

De la misma forma en el apartado 3.4 de la IT3 del RITE se exige un programa de gestión energética que evalúe y analice periódicamente el rendimiento de los equipos generadores de frío (también lo pueden ser de calor, pero se citan así para diferenciarlos de las calderas) en función de su potencia térmica nominal instalada, midiendo y registrando los valores, de acuerdo con las operaciones y periodicidades indicadas en la siguiente tabla:

Tabla 3.3.- Medidas de generadores de frío y su periodicidad.		
Medidas de generadores de frío	Periodicidad	
	70kW < P ≤ 1.000kW	P > 1.000kW
1. Temperatura del fluido exterior en entrada y salida del evaporador	3m	m
2. Temperatura del fluido exterior en entrada y salida del condensador	3m	m
3. Pérdida de presión en el evaporador en plantas enfriadas por agua	3m	m
4. Pérdida de presión en el condensador en plantas enfriadas por agua	3m	m
5. Temperatura y presión de evaporación	3m	m
6. Temperatura y presión de condensación	3m	m
7. Potencia eléctrica absorbida	3m	m
8. Potencia térmica instantánea del generador, como % de la carga máxima	3m	m
9. CEE o COP instantáneo	3m	m
10. Caudal de agua en el evaporador	3m	m
11. Caudal de agua en el condensador	3m	m

m: una vez al mes; la primera al inicio de la temporada; 3m: cada tres meses; la primera al inicio de la temporada

Figura 12. Tabla 3.3 de la IT3.4 del RITE Medidas de generadores de frío y su periodicidad. *Elaboración propia*

Entre las circunstancias más habituales que afectan al rendimiento de una instalación real basada en el ciclo de Carnot se pueden destacar:



Circunstancias que afectan al rendimiento de la instalación

- Cambio de las condiciones exteriores (difícilmente controlable por los técnicos para ajustar el funcionamiento de la máquina a la situación de capacidad deseada) e interiores (ganancias internas de calor: iluminación, uso, radiación solar...) que afectan directamente a la potencia demandada en cada instante.
- Funcionamiento anómalo de algún elemento de la instalación que puede afectar a las condiciones de operación originando arranques y paradas frecuentes de los compresores.

El RITE, en su instrucción técnica IT 2.4 de Eficiencia Energética, establece que el rendimiento del generador de calor o frío una vez montado no debe ser menor en más de 5 unidades al límite inferior del rango marcado para la categoría indicado en el etiquetado energético del equipo. Es decir, si un equipo es calificación A para frío con EER mínimo de 3,2, el límite de rendimiento del equipo estaría en 2,7.

Para la determinación de rendimientos o coeficientes de eficiencia energética de un circuito frigorífico se pueden utilizar estos métodos:



Cálculo de coeficientes de eficiencia energética de un circuito frigorífico

- **Método directo:** que se basa en la toma y evaluación de datos de funcionamiento correspondientes al fluido refrigerante que evoluciona en el interior de sus circuitos.
- **Método indirecto:** se basa en la toma y evaluación de datos de funcionamiento correspondientes a los fluidos externos a la máquina. Este método es el que se aplica con mayor asiduidad.

Ambos utilizan las mismas ecuaciones de cálculo que son:

Rendimiento de frío	Rendimiento de calor
$CEE_v = \frac{W_{EVP}}{P_{ABS}} = \eta$	$CEE_c = \frac{W_{CDS}}{P_{ABS}}$
<p>CEE_v, es el coeficiente de eficiencia energética lado evaporador.</p> <p>η, es el rendimiento frigorífico instantáneo, equivalente al CEE_v.</p> <p>W_{EVP}, es la potencia instantánea absorbida por el agente frigorígeno en el evaporador. O, dicho de otra forma, la potencia instantánea cedida por el fluido exterior del evaporador al agente frigorígeno, en KW.</p> $W_{EVP} = Q_{VAP} \times \Delta i_{EVP}$ $W_{EVP} = DV \times d_{VAP} \times \Delta i_{EVP}$ <p>Δi_{EVP}, la diferencia de entalpías específicas entre la del líquido a la entrada del evaporador (i_{liq}) y la del vapor a la salida del evaporador (i_{asp}), en kJ/kg.</p> <p>Q_{VAP}, el caudal másico de vapor bombeado por el compresor o el total bombeado por el conjunto de los compresores conectados al mismo circuito, en kg/s.</p> <p>DV, el desplazamiento volumétrico del compresor o el total de todos los compresores conectados al mismo circuito, en m³/s.</p> <p>d_{VAP}, la densidad del vapor aspirado por el compresor, en kg/m³.</p> <p>P_{ABS}, es la potencia eléctrica instantánea absorbida por la máquina para su funcionamiento, en KW.</p> $P_{ABS} = \frac{V_F \times I_T \times \sqrt{3} \times \text{Cos}\varphi}{1000}$ <p>V_F, la tensión de fase de suministro eléctrico a la máquina, en Voltios.</p> <p>I_T, la intensidad de fase total absorbida por la máquina, en Amperios.</p> <p>$\text{Cos}\varphi$, el coseno de φ medio de la máquina.</p>	<p>CEE_c, es el coeficiente de eficiencia energética lado condensador. Aplicable cuando se trata de determinar la eficiencia de un equipo frigorífico en la transferencia de calor en su condensador (bomba de calor).</p> <p>W_{CDS}, es la potencia instantánea cedida por el agente frigorígeno al fluido exterior del condensador, en KW.</p> $W_{CDS} = Q_{VAP} \times \Delta i_{CDS}$ $W_{CDS} = DV \times d_{VAP} \times \Delta i_{CDS}$ <p>Δi_{CDS}, la diferencia de entalpías entre la del vapor a la entrada del condensador (i_{vc}) y la del líquido a la salida del condensador (i_{lc}), en kJ/kg.</p> <p>Q_{VAP}, el caudal másico de vapor bombeado por el compresor o el total bombeado por el conjunto de los compresores conectados al mismo circuito, en kg/s.</p> <p>DV, el desplazamiento volumétrico del compresor o el total de todos los compresores conectados al mismo circuito, en m³/s.</p> <p>d_{VAP}, la densidad del vapor aspirado por el compresor, en kg/m³.</p> <p>P_{ABS}, es la potencia eléctrica instantánea absorbida por la máquina para su funcionamiento, en KW.</p> $P_{ABS} = \frac{V_F \times I_T \times \sqrt{3} \times \text{Cos}\varphi}{1000}$ <p>V_F, la tensión de fase de suministro eléctrico a la máquina, en Voltios.</p> <p>I_T, la intensidad de fase total absorbida por la máquina, en Amperios.</p> <p>$\text{Cos}\varphi$, el coseno de φ medio de la máquina.</p>

Figura 13. Expresiones de cálculo del rendimiento instantáneo de generador de bomba de calor.

Fuente: IDAE. Guía Técnica de procedimientos para la determinación del rendimiento energético de plantas enfriadoras de agua y equipos autónomos de tratamiento de aire

De todas formas en ambos métodos es habitual la dificultad del cálculo por carencias de elementos de medida adecuados así como la complicada toma de datos de algunos parámetros (por ejemplo de los caudales de agua en circulación a través de los intercambiadores de calor), en las diferentes condiciones de capacidad que sería necesario analizar en una máquina concreta.

Dada la complejidad de los procedimientos para la determinación de este rendimiento instantáneo se remite a la guía publicada por el IDAE en el 2007 “Guía Técnica de procedimientos para la determinación del rendimiento energético de plantas enfriadoras de agua y equipos autónomos de tratamiento de aire” donde se explica con detalle todos los pasos a realizar por los dos métodos.

Lo que es evidente es que en el conjunto bomba de calor hay una serie de tareas sencillas de mantenimiento que evitan problemas posteriores de rendimiento como:



Tareas básicas de mantenimiento preventivo

- Mantener limpios el evaporador y el condensador, eliminando las posibles costras y obstrucciones que se generen a su alrededor, ya que la presencia de suciedades disminuye su rendimiento.
- Comprobar el estado de las conducciones de refrigerante y observar posibles manchas de fuga en compresores, condensadores...
- Vigilar el correcto funcionamiento de los ventiladores, tanto en el evaporador como en el condensador.
- Verificar la carga de refrigerante del equipo.
- Verificar el estado de lubricación y proceder al engrase de aquellas piezas que lo requieran.
- Verificar el estado de los componentes de la instalación eléctrica.

A día de hoy este problema se soluciona gracias al desarrollo tecnológico de los compresores y a la introducción de la electrónica en las máquinas que hace funcionar resistencias térmicas en el evaporador o que invierte el ciclo durante períodos reducidos de tiempo evitando de este modo la formación de la escarcha.

5. MEDIDAS EFICIENTES CON APORTACIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES

5.1 Bomba de calor y energías renovables

El Reglamento de Instalaciones Térmicas de Edificios (RITE) define las bombas de calor como sistemas eficientes y los considera un sistema de referencia a proyectar en los edificios nuevos.

En el año 2009, la Unión Europea en su Directiva 2009/28/CE para el fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables, generó una lista en la que se recogen todos los tipos de fuentes de energías consideradas renovables. Son los siguientes:

- Eólica.
- Solar: térmica o fotovoltaica.
- Aerotérmica.
- Geotérmica.
- Hidrotérmica y oceánica.
- Hidráulica.
- Biomasa.

- Gases de vertedero, gases de plantas de depuración y biogás.

De entre todas ellas, las bombas de calor han desarrollado tecnología que permite utilizar la energía del aire (aerotermia), la de la tierra (geotérmica) y la del agua (hidrotérmica) y que por tanto se pueden considerar renovables.

El único inconveniente es que como ya se ha explicado, las bombas de calor requieren siempre una aportación de energía eléctrica para hacer funcionar el equipo compresor (también electrónica...). Es por tanto lógico pensar que para considerar estas bombas como fuentes renovables se reste la parte de energía eléctrica utilizada para el funcionamiento de la misma.

De esta forma en una bomba de calor solo se considerará como fracción renovable la producción energética que supere la energía primaria necesaria para impulsarlas. La propia Directiva 2009/28/CE determina un procedimiento para el cálculo de esta fracción y en España el IDAE redactó el documento “prestaciones medias estacionales de las bombas de calor para producción de calor en edificios” donde también se explica.



RECUERDA

En una bomba de calor solo se considerará como fracción renovable la producción energética que supere la energía primaria necesaria para impulsarla.

5.2 Bomba de calor geotérmica

La geotermia es una energía renovable que se basa en el aprovechamiento de la temperatura casi constante de la tierra a una determinada profundidad.



Bomba de calor geotérmica

Se trata de una bomba de calor convencional donde los intercambiadores de calor de aire o agua (condensador en modo refrigeración y evaporador en modo calefacción) son sustituidos por una red de tuberías (normalmente de polietileno de alta resistencia) que se encuentran en contacto con el terreno y que conducen agua con anticongelante.

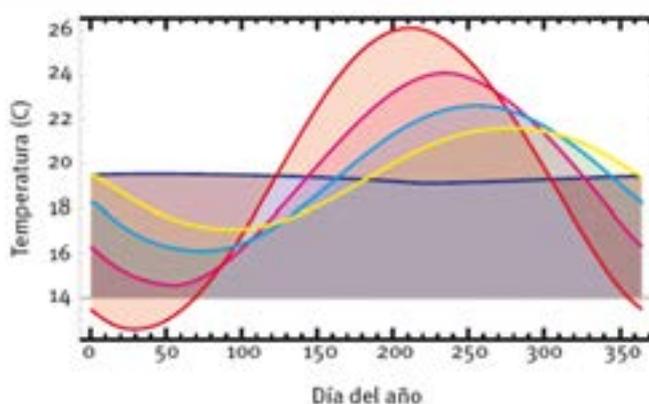


Figura 13. Variación de la temperatura en función del nº de día del año.
ROJO: 0m de profundidad.
MAGENTA (1 m),
AZUL CLARO (2 m), AMARILLO (3 m) y
AZUL OSCURO (10 m).

Fuente: IDAE. Guía técnica de Diseño de sistemas de bomba de calor geotérmica

Como la temperatura a 10 m (línea azul oscura) permanece prácticamente constante a unos 19 °C se obtienen las condiciones perfectas para el funcionamiento óptimo de la bomba de calor, cuya principal desventaja radica en un peor comportamiento a temperaturas extremas.

Así si la máquina trabaja en modo refrigeración el intercambio de calor lo hace el condensador con 19 °C en vez de 35-40° que se tendría en el ambiente exterior. Lo mismo ocurre en modo calefacción donde el evaporador trabaja absorbiendo calor de 19 °C en vez de los 0-5 °C que podría haber en el ambiente.

Resumiendo, la bomba de calor geotérmica extrae energía térmica del suelo en invierno transfiriéndola al interior, mientras que en verano extrae el calor del interior y lo devuelve al subsuelo.

La bomba geotérmica comparte todos los elementos de un sistema convencional, salvo como ya se ha explicado el evaporador/condensador que se sustituye por un intercambiador enterrado que puede ser:

- Red horizontal a poca profundidad (entre 1-2 m).
- Red vertical hasta 150 m de profundidad.

En el documento del IDAE “prestaciones medias estacionales de las bombas de calor para producción de calor en edificios”, a partir de la Directiva Europea y la decisión de la Comisión del 1 de marzo de 2013 (2013/114/UE), se establece que se puede considerar una bomba de calor como energía renovable siempre que su SPF (*Seasonal Performance Factor*), que equivale al coeficiente de rendimiento estacional neto en modo activo SCOPnet, sea superior a 2,5. No se puede utilizar el COP como referencia puesto que es el rendimiento nominal máximo de la máquina y tampoco el SCOP porque es calculado a unos factores de carga parcial previamente determinados.

Se necesita por tanto, otro parámetro de rendimiento (que es el SCOPnet) y que para el cálculo se denomina SPF.

Todo lo dicho vale también para refrigeración sustituyendo los COP, SCOP o SCOPnet por EER, SEER y SEEnet.

El SPF del sistema eléctrico se calcula de la siguiente forma:

$$SFP > 1,15 \times 1/\eta$$

Donde η es el valor de eficiencia del sistema de energía, en este caso el eléctrico y que la Decisión de la Comisión de 1 de marzo de 2013 estableció en 0,455 (45.5%). Actualmente es ese aunque es un valor que puede ser revisado.

Si se sustituye en la ecuación anterior:

$$SFP > 1,15 \times 1/0,455, \quad SFP > 2,53$$

Esto significa que las bombas de calor accionadas eléctricamente (todas en general, no solo las geotérmicas) deben considerarse como renovables siempre que su SPF (SCOPnet) de acuerdo con la norma EN 14825:2012 sea superior a 2,5.

5.3 Bomba de calor aerotérmica

La aerotermia consiste en transportar energía gratuita del ambiente exterior (aire) para cederla en el recinto que se quiere climatizar mediante una bomba de calor tipo “Inverter” de alta eficiencia. Esta transmisión de calor se lleva a cabo mediante un fluido refrigerante, impulsado por el compresor.

Además también tienen la posibilidad de invertir su funcionamiento trabajando como calefacción en invierno y como refrigeración en verano.

La bomba de calor aerotérmica no se diferencia demasiado de una bomba de calor convencional. Simplemente que está diseñada para obtener el máximo rendimiento del aire exterior en condiciones más extremas (mucho frío en invierno, mucho calor en verano) que es donde las bombas de calor se comportan peor.

La pieza más desarrollada tecnológicamente es el compresor que permite alcanzar temperaturas de distribución superiores a 60 °C consiguiendo de esta forma que la bomba de calor aerotérmica se pueda utilizar para calefacción por agua (sustitución de calderas) y para producción de agua caliente sanitaria.

La bomba de calor utilizada en aerotermia es normalmente de 2 tipos:

- Bomba de calor aire-aire: se utiliza la energía del aire exterior para calentar el aire interior. Como una máquina convencional de aire acondicionado o bomba de calor reversible.
- Bomba de calor aire-agua: incorpora un intercambiador de calor a un circuito de agua caliente que es el que reparte la energía a los recintos interiores.

Como en el caso de las geotérmicas también se considera energía renovable siempre que supere en su SPF el 2,5.

5.4 Bomba de calor hidrotérmica

La Hidrotermia es el sistema de bombas de calor menos conocido de los usados actualmente. Consiste en el aprovechamiento del calor procedente de las aguas superficiales (lagos, ríos, pozos, lagunas, mares) e incluso de las aguas residuales de los propios edificios.

Las bombas de calor hidrotérmicas de aprovechamiento de calor de ríos, pozos, lagos, mares... no difieren mucho de las bombas de calor geotérmicas. Su comportamiento es muy similar con la diferencia de que el intercambio de calor no se realiza con la tierra sino con el agua. La temperatura del agua también es más estable que la del aire (sobre todo a ciertas profundidades) y por tanto permite aumentar el rendimiento de la bomba de calor convencional en climas extremos manteniendo unas condiciones óptimas de funcionamiento en cualquier momento.

La tecnología más diferente aparece en el procesado de las aguas residuales de los edificios (también llamadas aguas grises). En este caso, el agua después de ser utilizada en duchas, lavabos, lavadoras o lavavajillas sigue almacenando una importante cantidad de calor que habitualmente es desperdiciada por el desagüe.

La bomba de calor de hidrotermia aprovecha el calor residual de estas aguas residuales para optimizar el rendimiento del evaporador mientras que el condensador calienta el ACS para consumo como parte habitual del ciclo de compresión.

Como en los dos casos anteriores (geotérmica y aerotérmica) las bombas hidrotérmicas se consideran renovables cuando su SPF es superior a 2,5.

A continuación se describe el procedimiento detallado por el IDAE para el cálculo del SPF estacional activo de una bomba de calor.

5.5. Cálculo del SPF (SCOPnet) de una bomba de calor accionada eléctricamente

El cálculo del SPF de una bomba de calor accionada eléctricamente se realiza mediante la siguiente fórmula:

$$\text{SPF} = \text{COP}_{\text{nominal}} \times \text{FP} \times \text{FC}$$

Donde $\text{COP}_{\text{nominal}}$ es el rendimiento nominal de la máquina.

El factor de ponderación (FP) tiene en cuenta las diferentes zonas climáticas de España que marca el CTE y se ha calculado mediante una metodología exclusivamente técnica, utilizando valores objetivos y los Documentos Reconocidos existentes.

Tabla B.1.- Zonas climáticas de la Península Ibérica

Zonas climáticas Península Ibérica																		
Capital	Z.C.	Altitud	A4	A3	A2	A1	B4	B3	B2	B1	C4	C3	C2	C1	D3	D2	D1	E3
Alicante	D3	677										h < 450			h < 950			h > 950
Alicante/Alicant	B4	7					h < 250					h < 700			h > 700			
Almería	A4	0	h < 100				h < 250	h < 400				h < 800			h > 800			
Ávila	E3	2054													h < 500	h < 850	h > 850	
Badajoz	C4	168									h < 400	h < 450			h > 450			
Barcelona	C2	3											h < 250		h < 450	h < 750	h > 750	
Bilbao/Bilbo	C1	214												h < 250			h > 250	
Burgos	E3	861														h < 600	h > 600	
Cáceres	C4	385									h < 600				h < 2050			h > 2050
Cádiz	A3	0		h < 350				h < 450				h < 600	h < 850			h > 850		
Castellón/Castello	B3	18						h < 50				h < 500			h < 600	h < 2000		h > 2000
Ceuta	B3	0						h < 50										
Ciudad Real	D3	630									h < 450	h < 500			h > 500			
Córdoba	B4	113					h < 350				h < 550				h > 550			
Coruña, La/A Coruña	C1	0												h < 200			h > 200	
Cuenca	D2	975												h < 800	h < 2050			h > 2050
Gerona/Girona	D2	143											h < 100		h < 600	h < 600		h > 600
Granada	C3	794	h < 50				h < 350				h < 600	h < 800			h < 1300			h > 1300
Guadalajara	D3	708													h < 950	h < 2000		h > 2000
Huelva	A4	50	h < 50				h < 150	h < 350				h < 800			h > 800			
Huesca	D2	432										h < 200			h < 400	h < 700		h > 700
Ibiza	C4	436					h < 350				h < 750				h < 1250			h > 1250
León	E3	346																h > 1250
Lérida/Lérida	D3	131										h < 300			h < 600			h > 600
Logroño	D2	379											h < 200		h < 700			h > 700
Lugo	D1	412															h < 500	h > 500
Madrid	D3	589										h < 500			h < 950	h < 2000		h > 2000
Malaga	A3	0						h < 200							h < 700			h > 700
Melilla	A3	130																
Murcia	B3	25						h < 300							h > 550			
Orense/Ourense	D2	327									h < 150	h < 300			h < 800			h > 800
Oviedo	D1	214												h < 50			h < 550	h > 550
Palencia	D1	722															h < 600	h > 600
Palma de Mallorca	B3	3						h < 250			h > 250							
Pamplona/Iruña	D1	456										h < 100			h < 300	h < 600		h > 600
Pontevedra	C1	77											h < 350				h > 350	
Salamanca	D2	720													h < 800			h > 800
San Sebastián/Donostia	D1	5															h < 600	h > 600
Santander	C1	3												h < 150			h < 650	h > 650
Segovia	D2	2033														h < 2000		h > 2000
Sevilla	B4	9					h < 200				h > 200							
Soria	E3	994														h < 750	h < 800	h > 800
Tarazona	B3	3					h < 50					h < 500			h > 500			
Teruel	D2	995									h < 450	h < 500			h < 2000			h > 2000
Toledo	C4	445									h < 500				h > 500			
Valencia/Valencia	B3	8					h < 50					h < 500			h < 650			h > 650
Valladolid	D2	704													h < 800			h > 800
Victoria/Gasteiz	D1	512														h < 700		h > 700
Zamora	D2	617														h < 800		h > 800
Zaragoza	D3	207										h < 200			h < 650			h > 650

Tabla B.2.- Zonas climáticas de las Islas Canarias

Zonas climáticas Canarias						
Capital	Z.C.	Altitud	A3	A2	B2	C2
Palmas de Gran Canaria, Las	A3	114	h < 350	h < 750	h < 1000	h > 1000
Santa Cruz de Tenerife	A3	0	h < 350	h < 750	h < 1000	h > 1000

Figura 14. Tablas de determinación de la zona climática en España. Fuente: DB-HE del CTE 2013

Fuente Energética de la bomba de calor	Factor de Ponderación (FP)				
	A	B	C	D	E
Energía Aerotérmica. Equipos centralizados	0,87	0,80	0,80	0,75	0,75
Energía Aerotérmica. Equipos individuales tipo split	0,66	0,68	0,68	0,64	0,64
Energía Hidrotérmica.	0,99	0,96	0,92	0,86	0,80
Energía Geotérmica de circuito cerrado. Intercambiadores horizontales	1,05	1,01	0,97	0,90	0,85
Energía Geotérmica de circuito cerrado. Intercambiadores verticales	1,24	1,23	1,18	1,11	1,03
Energía Geotérmica de circuito abierto	1,31	1,30	1,23	1,17	1,09

Figura 15. Factor de ponderación según zona climática CTE. Fuente: IDAE: Prestaciones estacionales medias de las bombas de calor

Y el factor de corrección (FC) tiene en cuenta la diferencia entre la temperatura de distribución o uso y la temperatura para la cual se ha obtenido el COP en el ensayo.

Tª de condensación (°C)	Factor de Corrección (FC)					
	FC (COP a 35°C)	FC (COP a 40°C)	FC (COP a 45°C)	FC (COP a 50°C)	FC (COP a 55°C)	FC (COP a 60°C)
35	1,00	--	--	--	--	--
40	0,87	1,00	--	--	--	--
45	0,77	0,89	1,00	--	--	--
50	0,68	0,78	0,88	1,00	--	--
55	0,61	0,70	0,79	0,90	1,00	--
60	0,55	0,63	0,71	0,81	0,90	1,00

Figura 16. Factores de corrección (FC) en función de las temperaturas de condensación, según la temperatura de ensayo del COP. Fuente IDAE: Prestaciones estacionales medias de las bombas de calor

En el caso de bombas de calor para producción de ACS deberá considerarse 60 °C como temperatura de distribución, por ser la más simple para la realización de los cálculos.

Así, por ejemplo, una bomba geotérmica de intercambiador horizontal de COP nominal (35 °C) de 3,75 para calefacción para distribución por suelo radiante a 40 °C instalada en Logroño (zona climática de invierno D) tendría un factor de ponderación (FP) de 0,90 y un factor de corrección (FC) de 0,87 según las tablas superiores. El SPF, por tanto:

$$SPF = COP_{\text{nominal}} \times FP \times FC = 3,75 \times 0,9 \times 0,87 = 2,93$$

Como el rendimiento medio estacional activo (SPF) de la bomba geotérmica para Logroño es superior a 2,5 se considerará como energía renovable.

5.4 Apoyo con energía fotovoltaica

La bomba de calor trabaja con electricidad.

Su rendimiento se calcula en base a la cantidad de energía que puede mover mediante la evaporación/condensación de un refrigerante a partir de un trabajo eléctrico en el compresor.

Aunque la tecnología está consiguiendo cada vez mejores rendimientos (reduciendo el consumo del compresor y del resto de componentes de la máquina) el apoyo a este consumo eléctrico mediante energía fotovoltaica captada por paneles solares es otra medida de eficiencia energética mediante aportación de renovables.

De esta forma, el consumo eléctrico de la bomba de calor podría ser también renovable, ya que procedería de la energía solar fotovoltaica (capaz de transformar la radiación solar en energía eléctrica).

El CTE en su apartado de Ahorro de Energía sección 5, obliga a ciertos edificios (terciarios y de tamaño considerable) a incluir una instalación de energía solar fotovoltaica.



RESUMEN

- La bomba de calor es un equipo para climatización (puede generar frío o calor) que funciona mediante el ciclo de frío de Carnot (también llamado de compresión) aprovechando la energía latente del cambio de fase (líquido a vapor) de un refrigerante que se caracteriza por tener un punto de ebullición muy bajo (pasa de líquido a vapor a bajas temperaturas).
- El rendimiento nominal de una bomba de calor en modo calefacción se denomina COP (*Coefficient of Performance*) y en modo refrigeración EER (*Energy Efficiency Ratio*). Son siempre superiores al 100%.
- La bomba de calor es muy eficiente y con grandes rendimientos en climas templados (por ejemplo, mediterráneo o cerca de la costa), pero no es tan óptima para climas extremos (clima continental, países nórdicos...). En estos casos se puede optar por incorporar alguna tecnología renovable (Geotermia, Aerotermia, Hidrotermia) que salven esos problemas de rendimiento.
- El Reglamento de Instalaciones Térmicas introduce el concepto de fraccionamiento de potencia con el fin de conseguir que la producción de frío o calor de los equipos de generación se aproxime lo máximo posible a la demanda real simultánea del sistema.
- Un aumento de un grado en la temperatura de consigna del sistema de climatización supone cerca de un 8% más en el consumo energético final, de modo que es importante ajustar correctamente este nivel siempre que se mantengan las condiciones de bienestar térmico de los usuarios y atendiendo a criterios tan simples como la propia ubicación del control de temperatura, ya que no todas las estancias tienen ni requieren la mismas condiciones por motivos de orientación, de uso y habitabilidad, de acondicionamiento, de iluminación...
- El sistema "Inverter", conocido también como volumen de refrigerante variable o VRV (aunque realmente debería llamarse caudal de refrigerante variable), incorpora un variador de frecuencia que actúa sobre el compresor variando su velocidad. De esta forma el régimen de trabajo se adecúa permanentemente a la demanda térmica evitando arranques y paradas. Esto influye directamente en la reducción del consumo eléctrico y por tanto en un aumento del rendimiento del equipo y de la instalación.
- Las pérdidas térmicas globales por el conjunto de conducciones cuyo fluido caloportador sea agua no superarán el 4% de la potencia máxima que transporta.
- El Reglamento de Instalaciones Térmicas en su IT1.2.4.4 establece una serie de condiciones sobre la contabilización de consumos para instalaciones que den servicio a más de un usuario. De esta forma todos los usuarios dispondrán de sus propios contadores de energía eléctrica y térmica (calor, frío y ACS).
- Normalmente, el control del gasto por parte de cada usuario repercute en un ahorro de energía ya que evita el despilfarro.
- El escarchado incide negativamente en el rendimiento de la máquina por dos motivos:
 - Pérdida en la superficie de intercambio
 - Pérdida de carga en el flujo de aire a través del conjunto de tubos.

- Entre las circunstancias más habituales que afectan al rendimiento de una instalación real basada en el ciclo de Carnot se pueden destacar:
 - El cambio de las condiciones exteriores (difícilmente controlable por los técnicos para ajustar el funcionamiento de la máquina a la situación de capacidad deseada) e interiores (ganancias internas de calor: iluminación, uso, radiación solar...) que afectan directamente a la potencia demandada en cada instante.
 - El funcionamiento anómalo de algún elemento de la instalación que puede afectar a las condiciones de operación originando arranques y paradas frecuentes de los compresores.

- Para la determinación de rendimientos o coeficientes de eficiencia energética de un circuito frigorífico se pueden utilizar estos métodos:
 - Método directo: que se basa en la toma y evaluación de datos de funcionamiento correspondientes al fluido refrigerante que evoluciona en el interior de sus circuitos.
 - Método indirecto: se basa en la toma y evaluación de datos de funcionamiento correspondientes a los fluidos externos a la máquina. Este método es el que se aplica con mayor asiduidad.

- En el conjunto bomba de calor hay una serie de tareas sencillas de mantenimiento que evitan problemas posteriores de rendimiento como:
 - Mantener limpios el evaporador y el condensador, eliminando las posibles costras y obstrucciones que se generen a su alrededor, ya que la presencia de suciedades disminuye su rendimiento.
 - Comprobar el estado de las conducciones de refrigerante y observar posibles manchas de fuga en compresores, condensadores...
 - Vigilar el correcto funcionamiento de los ventiladores, tanto en el evaporador como en el condensador.
 - Verificar la carga de refrigerante del equipo.
 - Verificar el estado de lubricación y proceder al engrase de aquellas piezas que lo requieran.
 - Verificar el estado de los componentes de la instalación eléctrica.

- En una bomba de calor solo se considerará como fracción renovable la producción energética que supere la energía primaria necesaria para impulsarla.

- La bomba de calor geotérmica es como una bomba de calor convencional, pero donde los intercambiadores de calor de aire o agua (condensador en modo refrigeración y evaporador en modo calefacción) son sustituidos por una red de tuberías (normalmente de polietileno de alta resistencia) que se encuentran en contacto con el terreno y que conducen agua con anticongelante.

OTRAS PUBLICACIONES QUE TE PUEDEN INTERESAR DEL PROYECTO CONSTRUYE 2020

Libros



Sistema de energía renovables en edificios

Óscar Redondo Rivera



Instalaciones de biomasa

Juan Ramón Sicilia Pozo



Instalaciones de geotermia

Rubén Munguía Rivas



Rentabilidad en la eficiencia energética de edificios

Óscar Redondo Rivera



Eficiencia energética en edificios

Óscar Redondo Rivera



Asilamiento térmico de edificios

Fundación Laboral de la Construcción



Instalación de ventanas

Fundación Laboral de la Construcción

Estos libros los puedes descargar en:
www.construye2020.eu



AYÚDANOS A MEJORAR

Si tienes alguna sugerencia sobre nuestras publicaciones, escríbenos a recursosdidacticos@fundacionlaboral.org

PERMANECE ACTUALIZADO, CONOCE NUESTROS RECURSOS WEB

Fundación Laboral de la Construcción:
fundacionlaboral.org

Información en materia de PRL:
lineaprevencion.com

Gestión integral de prevención de PRL en construcción:
gesinprec.com

Portal de la Tarjeta Profesional de la Construcción (TPC):
trabajoenconstruccion.com

Portal de formación:
ofertaformativa.com

Buscador de empleo:
construyendoempleo.com



[facebook.com/
FundacionLaboral
Construccion](https://facebook.com/FundacionLaboralConstruccion)



[twitter.com/
Fund_Laboral](https://twitter.com/Fund_Laboral)



[youtube.com/
user/fundacion
laboral](https://youtube.com/user/fundacionlaboral)



[slideshare.net/
FundacionLaboral](https://slideshare.net/FundacionLaboral)



[plus.google.com/
+Fundacion
laboralOrgFLC/
posts](https://plus.google.com/+FundacionlaboralOrgFLC/posts)

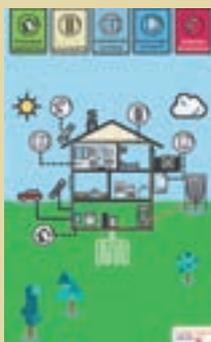


[www.linkedin.
com/company/
fundacion-laboral-
de-la-construccion](https://www.linkedin.com/company/fundacion-laboral-de-la-construccion)



[blog.fundacionla-
boral.org/](http://blog.fundacionlaboral.org/)

App



Simulador
Construye2020

Esta app la puedes descargar en:
Android: <https://goo.gl/hFOZOC>
Apple: <https://goo.gl/A2C53J>

El presente proyecto ha sido financiado con el apoyo de la Comisión Europea.
Esta publicación (comunicación) es responsabilidad exclusiva de su autor.
La Comisión no es responsable del uso que pueda hacerse de la información aquí difundida.



Co-funded by the Intelligent Energy Europe
Programme of the European Union