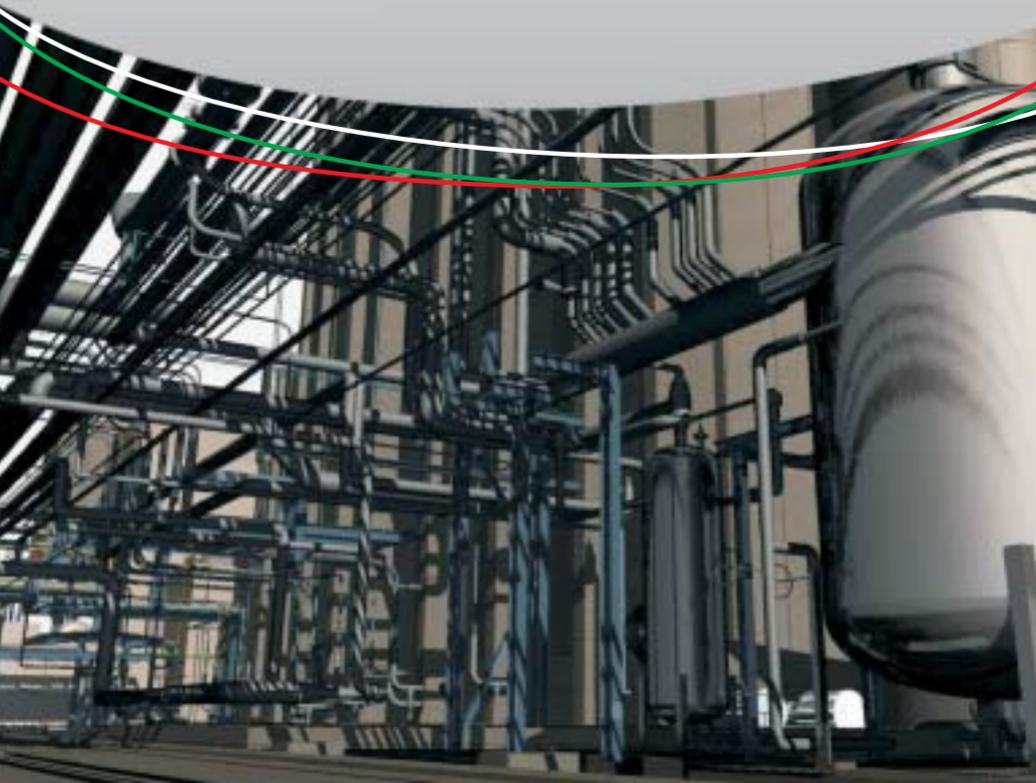




Madrid Ahora con Energía



# Calefacción más eficiente en edificios y viviendas mediante nuevas bombas de circulación



# **Calefacción más eficiente en edificios y viviendas mediante nuevas bombas de circulación**

---



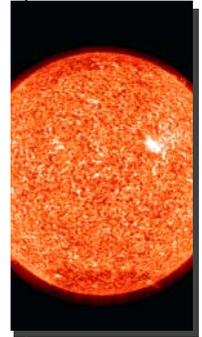
# INDICE

I. PRESENTACIÓN .....	5
2. INTRODUCCIÓN .....	8
<b>3 SISTEMAS DE CALEFACCIÓN Y DISTRIBUCIÓN .....</b>	<b>10</b>
3.1. Clasificación de las instalaciones de calefacción .....	10
3.2. Instalaciones individuales .....	12
3.3. Instalaciones centralizadas .....	14
3.4. Sistemas de distribución .....	16
3.4.1. Sistema monotubular .....	16
3.4.2. Sistema bitubular .....	17
3.5. Calderas eficientes de condensación .....	18
<b>4. BOMBAS DE CIRCULACIÓN Y CONSUMO ENERGÉTICO .....</b>	<b>20</b>
4.1. Bombas circuladoras centrífugas. Sus componentes .....	21
4.2. Consumos energéticos de una bomba circuladora .....	24
4.3. Variadores de frecuencia .....	26
4.4. Variadores de frecuencia en bombas circuladoras .....	28
<b>5. NUEVAS TECNOLOGÍAS PARA CIRCULADORAS MÁS EFICIENTES .....</b>	<b>30</b>
5.1. Variaciones de caudal .....	30
5.2. Opciones de utilización .....	31
5.3. Situación de las circuladoras eficientes .....	34
5.4. Costes de sistemas de bombeo .....	38
<b>6. EJEMPLOS PRÁCTICOS .....</b>	<b>40</b>
6.1. Prevención de la "Legionelosis" .....	40
6.2. Reforma de un sistema de calefacción .....	42
6.3. Nuevo sistema de recirculación en un hotel .....	44
6.4. Hospital de nueva construcción .....	45
6.5. Viviendas y pequeños edificios .....	45
<b>7. NORMATIVA .....</b>	<b>47</b>
<b>ANEXO: BIBLIOGRAFÍA Y DIRECCIONES DE INTERÉS .....</b>	<b>54</b>



Depósito Legal: M-23416-2007  
Diseño e Impresión: Gráficas Elisa, S.A.

# 1 PRESENTACIÓN



Con el continuo aumento del nivel de vida experimentado durante los últimos años, tanto la calefacción como los sistemas de producción y suministro de agua caliente sanitaria de los edificios se han convertido en una necesidad básica de los mismos, y se pretende lograr que sus condiciones de habitabilidad satisfagan las exigencias crecientes de confort de sus ocupantes.

El consumo de energía eléctrica de las instalaciones de calefacción y producción de agua caliente sanitaria ocupan, dentro del gasto energético un espacio importante y, por tanto, un coste significativo de la demanda energética de una vivienda o de un edificio.

Por tanto, la reducción de esta demanda actúa sobre tres importantes factores:

- el ahorro energético y económico,
- las necesidades de confort en edificios de viviendas y servicios,
- y la reducción de emisiones contaminantes a la atmósfera.

Para atender las necesidades específicas de la Comunidad de Madrid la Consejería de Economía e Innovación Tecnológica ha elaborado el Plan Energético de la Comunidad de Madrid en el marco temporal 2004-2012.

El Plan Energético de la Comunidad de Madrid 2004-2012 considera en su elaboración el ahorro y la eficiencia energética como una de las líneas de actuación fundamentales. Dichas líneas de actuación han de conducir a resultados valorables en función de los fines previstos y, en el entorno del Plan, se ha marcado como resultado previsible al final del período, el año 2012, el objetivo de:



- Reducción de un 10 % del consumo energético en el 2012 respecto al escenario tendencial, por medidas de ahorro y eficiencia.

Dentro del Plan Energético, se han estimado las velocidades máxima y mínima del crecimiento esperable del consumo de energía eléctrica en la Comunidad de Madrid a partir de los consumos eléctricos ocurridos desde el año 1985 hasta el año 2003. Este intervalo ha sido lo suficientemente amplio para verificar las distintas etapas del ciclo socioeconómico observando, en él, periodos de aceleración y desaceleración.

Se han propuesto en el Plan tres escenarios distintos para intentar establecer el consumo eléctrico futuro; éstos dan las siguientes velocidades de crecimiento:

- máxima con incremento anual medio del 6,3 %, media con incremento anual medio del 4,3 % y mínima con incremento anual medio del 1,8 %.

Estos escenarios están reflejados en la Figura 1.

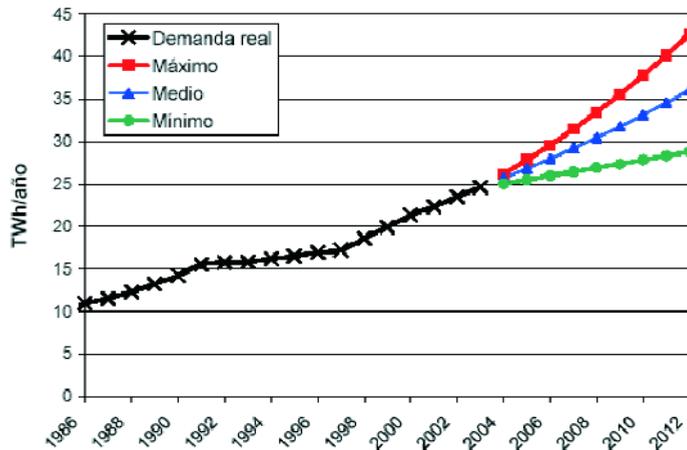


Figura 1. Estimación de la demanda de electricidad anual en la Comunidad de Madrid.

Habida cuenta de este incremento del consumo en nuestra Comunidad, existe un potencial de ahorro en el sector doméstico. Las posibilidades presentadas por las tecnologías emergentes, además de la disponibilidad de combustibles alternativos, han permitido configurar un Plan Integral de Ahorro y Eficiencia Energética, basado en el aprovechamiento de toda una serie de actuaciones que conduzcan a gastar menos 'ahorro' y gastar mejor 'eficiencia'.

El capítulo "Mejora de rendimiento en equipos y sistemas" de este Plan aconseja la utilización de "Bombas con control de velocidad".

Por ello la Consejería de Economía e Innovación Tecnológica en colaboración con el Proyecto Europeo "Energy+Pumps" han decidido publicar esta Guía para informar de manera práctica a los arquitectos, ingenieros y proyectistas especializados en sistemas de producción y distribución térmica, así como a los propietarios de viviendas o edificios de servicios, con el objetivo de obtener ahorros energéticos y, por consiguiente, ahorros económicos, en los sistemas de calefacción.

La elaboración técnica de esta Guía ha sido encomendada a la empresa Escan, S.A. con la valiosa aportación de los distribuidores de bombas circulatoras eficientes.





## 2 INTRODUCCIÓN

Los sistemas de calefacción en los edificios y viviendas son altos consumidores de energía en la época invernal. En la Comunidad de Madrid existe un promedio de cinco meses al año durante los cuales estos sistemas consumen aproximadamente un 60 % del total de la energía en los edificios y viviendas.

En la distribución del fluido calefactor (generalmente agua caliente) intervienen una serie de componentes: tuberías, bombas, válvulas, etc., que forman parte del balance de pérdidas y ganancias energéticas. En especial, han de utilizar energía las bombas o electrobombas cuya misión es suministrar energía al agua caliente para poder alcanzar los puntos más desfavorables de la instalación con una presión adecuada.

Por tanto, en los circuitos cerrados de calefacción, la función de la bomba es vencer las pérdidas de carga en la instalación.

Estas bombas de circulación o "circuladoras" son bombas centrífugas y convierten la energía cinética en energía de presión. Toda la energía necesaria es recibida a través del motor eléctrico que toma la energía eléctrica de la red. Existe, por lo tanto, un rendimiento que es el cociente en porcentaje entre la energía trasladada al agua y la absorbida por el motor. Las pérdidas se producen por rozamientos de cojinetes y ejes, del agua con el álabe y el cuerpo de bomba y el propio rendimiento eléctrico del motor.

Actualmente se están desarrollando sistemas de control y regulación más eficientes en este tipo de bombas que ya comienzan a ser utilizados en los sistemas de calefacción.

Con la difusión y promoción de estas nuevas tecnologías que ahorran energía se pretende el desarrollo del mercado, para que sean utilizadas

con mayor frecuencia en los edificios y viviendas de la Comunidad de Madrid.

La Comisión Europea en el marco del Programa Energía Inteligente por Europa apoya el proyecto "Energy + Pumps", que tiene entre sus objetivos la promoción y difusión de estas circuladoras que ahorran hasta un 50 % de la energía eléctrica, en comparación con una bomba convencional. En este proyecto colabora la Dirección General de Industria, Energía y Minas dentro de la Campaña **"Madrid Ahorra con Energía"**.

El proyecto está liderado por el Instituto Wuppertal de Alemania, y participan Agencias de Energía de Austria, Alemania, Francia, Finlandia, Grecia, así como la Universidad Politécnica de Milán, el Instituto Flamenco de Investigación Técnica y consultoras como Arena, Seven y Escan, S.A.

Con esta Publicación se pretende informar sobre la situación actual y los avances tecnológicos de las bombas de circulación o "circuladoras" en los sistemas de calefacción. También presentará algunos ejemplos de aplicación en viviendas y edificios.

La publicación permitirá la difusión técnica de las nuevas circuladoras y un mejor conocimiento del mercado y sus previsiones. Será de utilidad para las asociaciones empresariales y técnicas del sector, así como para los fabricantes, suministradores e instaladores de los sistemas de bombeo y calefacción. Al mismo tiempo será de interés para los promotores de viviendas y edificios y los profesionales relacionados con los sistemas de calefacción, por lo que se prevé una buena acogida de la publicación.





## 3 SISTEMAS DE CALEFACCIÓN Y DISTRIBUCIÓN

Existen distintos sistemas de calefacción en función de los diferentes tipos de edificios. La decisión de adoptar un sistema u otro depende de una serie de razones como: las características constructivas y arquitectónicas, el tipo de ocupación y utilización, los horarios de funcionamiento, el nivel de confort deseado y el presupuesto económico.

La elección del sistema más adecuado deberá quedar enmarcada dentro de la Directiva Europea 2002/91/CE de la eficiencia energética en los edificios y su transposición a la normativa nacional donde será preceptivo cumplir unos mínimos rendimientos energéticos.



Foto 1. Calderas de gas.

### 3.1 Clasificación de las instalaciones de calefacción

Los sistemas de calefacción utilizados en la actualidad en función de sus características de funcionamiento se pueden clasificar de diferentes maneras.

En función del grado de centralización de la producción de calor se distinguen:

- Instalaciones individuales.
- Instalaciones centralizadas.

En función del fluido a utilizar para dar calor a los espacios de los edificios se clasifican en:

- Sistemas a base de agua caliente.
- Sistemas a base de agua sobrecalentada.
- Sistemas de vapor.
- Sistemas a base de aire caliente.

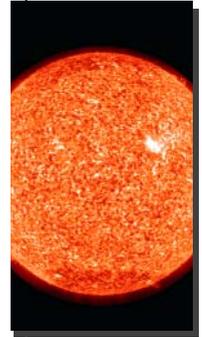
En función de sus potencias, las calderas se pueden clasificar tal y como se recoge en la Tabla I.

TABLA 1

Tipo	Potencia (kW) térmica	Potencia eléctrica de la bomba (W)
Caldera mural	< 35	85 – 125
Caldera de pie	50 – 70	150 – 180
Grandes calderas	> 70	>> 200

La utilización de bombas de recirculación de velocidad variable sólo es posible en los sistemas de calefacción a base de agua caliente. Estas instalaciones se pueden clasificar en función del tipo de emisores utilizados para transmitir calor al ambiente:

- Climatizadores.
- Fan-coils.
- Suelo radiante.
- Radiadores.
- Convectores.
- Aerotermos.





Climatizadores



Fan-coil



Suelo radiante



Radiadores

Foto 2. Emisores de calor.

En el diseño de estas instalaciones la elección de las bombas circulatoras es una pieza fundamental para obtener un funcionamiento más eficiente y lograr ahorros energéticos en su operación.

### 3.2. Instalaciones individuales

Las instalaciones de calefacción utilizadas en las viviendas, caracterizadas por su uso independiente, se denominan instalaciones individuales.



Foto 3. Caldera mural.

Las instalaciones individuales de calefacción pueden ser de dos tipos según la demanda de calefacción: calderas murales y calderas de pie.

Las potencias de las calderas murales están comprendidas entre los valores de 18 y 35 kW.

Este tipo de instalaciones se utiliza para viviendas independientes en ciertos edificios. Por lo general constan de una caldera mural que produce agua caliente principalmente a base de gas y alimenta una serie de radiadores por medio de una bomba circulatora. En los equipos de menor potencia la bomba está incorporada en la caldera junto a un vaso de expansión.

Si además también incorporan la producción de ACS se denominan calderas mixtas.

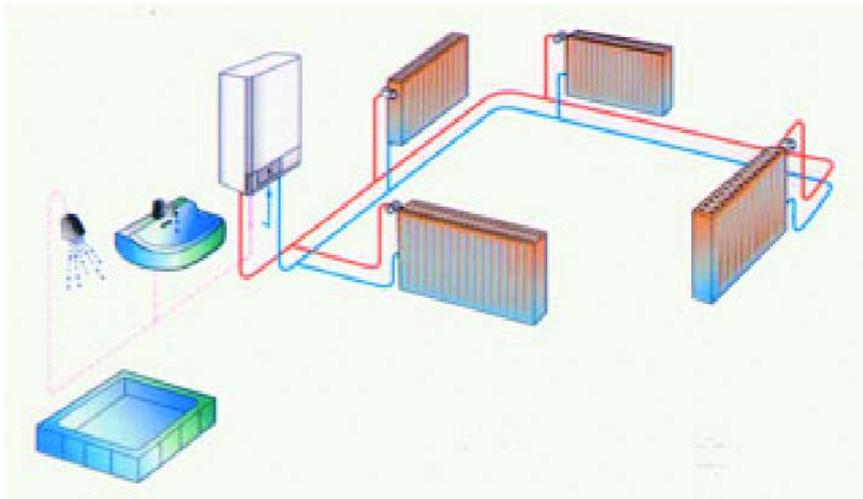


Figura 2. Instalación individual: Caldera mural, radiadores y sistema de ACS.

Las calderas de pie de pequeñas potencias, que se utilizan en viviendas, suelen tener un rango de potencia entre 50-70 kW.

Las viviendas unifamiliares independientes de mayor tamaño (chalets), necesitan este tipo de equipos en los cuales, las bombas circuladoras no están incorporadas en las propias calderas. En estas instalaciones se pueden utilizar bombas de velocidad variable situadas en el circuito de distribución.

Tanto las calderas murales como las de pie se pueden clasificar según la naturaleza del circuito de combustión en:

- ✓ Caldera abierta de tiro natural: toma el aire necesario para la combustión del local donde está instalada.
- ✓ Caldera abierta de tiro forzado: la combustión se realiza también con el aire del local donde está instalada y los gases se expulsan al exterior por medio de un ventilador.
- ✓ Caldera estanca de tiro forzado: con un ventilador se recoge el aire del exterior que se utiliza en la combustión y cuyos gases son posteriormente enviados al exterior.



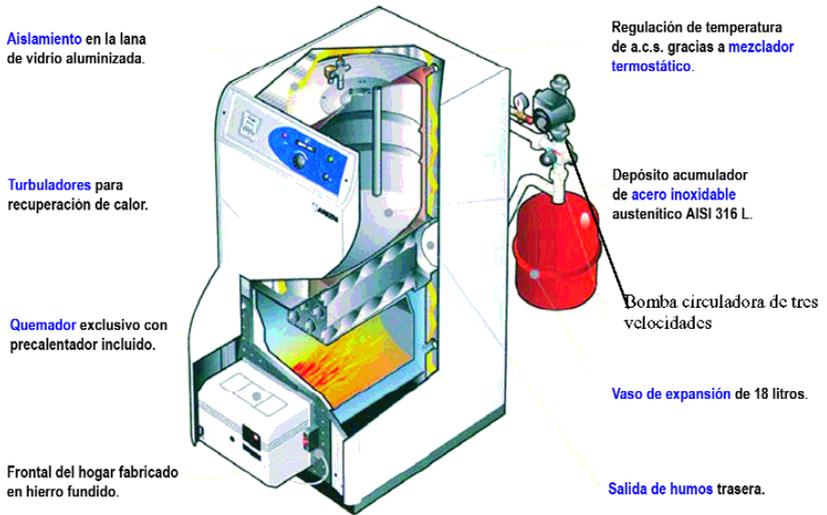


Figura 3. Caldera de gasóleo de pie con bomba de tres velocidades.

Las calderas estancas son las más seguras y eficientes, aunque su precio es mayor. Son las que normalmente se instalan en los edificios nuevos.

### 3.3. Instalaciones centralizadas

En este tipo de instalaciones la producción de agua caliente para calefacción se realiza en una central térmica y desde ella se alimenta a los diferentes sistemas y subsistemas del edificio.

Estas instalaciones son generalmente las más comunes en edificios de viviendas, de oficinas, hoteles, hospitales, polideportivos, etc.

Tienen mayor número de posibilidades de utilización de equipos y dispositivos eficientes y presentan, comparativamente con las instalaciones de tipo individual, una mejor utilización de la energía.

Las instalaciones centralizadas de calefacción que utilizan el agua caliente como vehículo emisor, calientan los ambientes y salas de los edificios a su paso por los elementos terminales de calefacción.

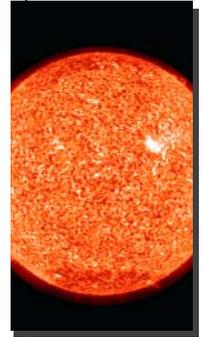


Foto 4. Instalación centralizada: Calderas de producción y bombas de distribución.

Las instalaciones están definidas por tres áreas principales:

- ✓ La producción de agua caliente que se realiza habitualmente con el empleo de generadores de calor que utilizan el gas o el gasóleo como combustible.
- ✓ La distribución que se realiza a través de tuberías usando como medio de impulsión las bombas circuladoras, utilizando válvulas, filtros, elementos de medición, etc., como elementos del circuito para control y funcionamiento del mismo.
- ✓ Los elementos terminales que transmiten el calor a los usuarios del sistema. Estos elementos varían en función del tipo de emisión de calor al ambiente y son los recogidos en la Tabla 2.

TABLA 2

Elementos Terminales	Tª agua caliente
○ Climatizadores	90/50 °C
○ Fan-coils	55/50 °C
○ Suelo radiante	40/35 °C
○ Radiadores	85/70 °C
○ Convectores	89/50 °C
○ Aerotermos	90/60 °C



### 3.4. Sistemas de distribución

Los sistemas de calefacción por emisores se pueden clasificar por sus sistemas de distribución en sistemas monotubulares y sistema bitubulares.

#### 3.4.1. Sistema monotubular

El sistema consiste básicamente en un anillo simple o circuito de diámetro constante en el que se van intercalando emisores (por ejemplo radiadores) a lo largo de su recorrido. Los emisores se conectan con el anillo en dos puntos, entrada y salida, con una válvula doble que permite la conexión y reglaje.

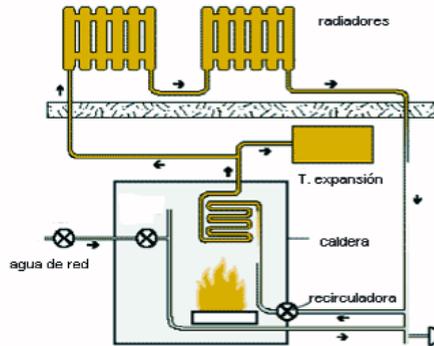


Figura 4. Circuito monotubo.

Es apropiado para pequeñas instalaciones. No se aconseja la colocación de más de siete radiadores al mismo anillo.

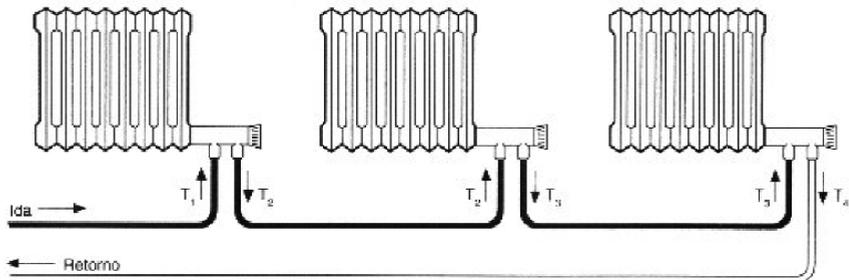
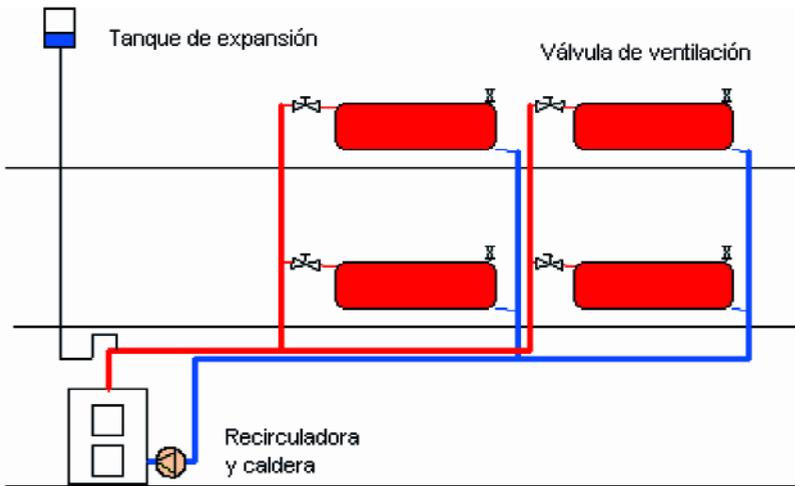


Figura 5. Instalación monotubo.

### 3.4.2. Sistema bitubular

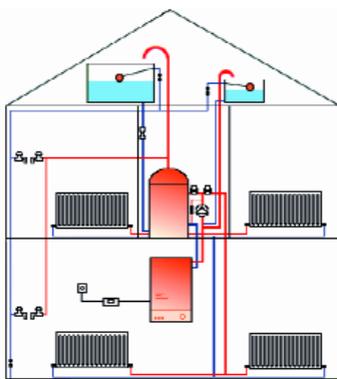
En este sistema no se reutiliza el agua que ya ha pasado por un radiador- como ocurre en el sistema monotubular- sino que se recoge mediante una red paralela (retorno) para ser reconducida a la caldera.

En este sistema no hay limitación en el número de radiadores. Es el apropiado para grandes instalaciones.

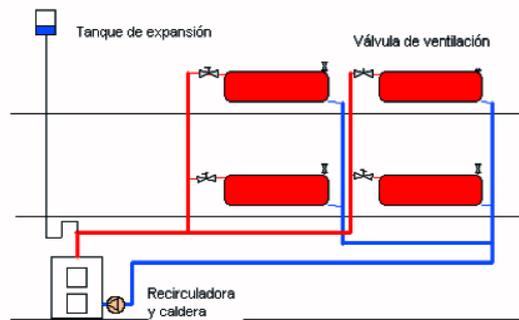


SISTEMA BITUBULAR

Figura 6. Sistema bitubular.



SISTEMA BITUBO RETORNO DIRECTO



SISTEMA BITUBULAR RETORNO INVERTIDO

Figura 7. Tipos de instalaciones bitubo.



### 3.5 Calderas eficientes de condensación

Las calderas de condensación están diseñadas para recuperar más calor del combustible quemado que una caldera convencional y, en particular, recuperar el calor del vapor de agua que se produce durante la combustión de los combustibles fósiles.

Los humos de una caldera convencional se expulsan a la atmósfera a 150 -200 °C. Si se enfrían hasta la temperatura de condensación, alrededor de 55 °C, también suponen un aporte de calor. El hecho de que los humos salgan a una temperatura inferior a 55 °C no significa que este tipo de calderas no puedan dar agua caliente a más temperatura. Este calor sirve para precalentar el agua antes de entrar en contacto con la cámara de combustión. Por esto las calderas tienen rendimientos de alrededor del 106 % frente al 80-85 % de las tradicionales.

La definición oficial de este tipo de calderas, según la Directiva Europea 92/42/CEE es la siguiente: "Caldera diseñada para condensar permanentemente una parte importante del vapor de agua contenido en los gases procedentes de la combustión".

Para lograrlo, son apropiados los quemadores presurizados a gas, ya que en los quemadores atmosféricos, debido al mayor exceso de aire, el punto de rocío se sitúa a temperaturas inferiores, con lo que el aprovechamiento de la condensación de los gases de combustión es peor.

El calor latente de los gases de combustión, también denominado calor de condensación, se libera durante la condensación de vapor de la combustión y se transmite al agua de la caldera.

Con las calderas de condensación se puede conseguir un ahorro de entre un 15 y un 20 % de consumo de combustible con respecto a una caldera convencional.

Entre las diversas acciones que se realizan en la Campaña **Madrid Ahorra con Energía** se puede indicar la promoción de las calderas de condensación por su alta eficiencia energética.

La Dirección General de Industria, Energía y Minas de la Comunidad de Madrid en colaboración con asociaciones del sector promocionan y difunden las características y beneficios de las calderas de condensación.



Figura 8. Díptico de calderas de condensación.

En el marco de la Campaña **Madrid Vive con Seguridad** se informa sobre los principales consejos prácticos para el uso de las instalaciones de gas.

Han sido elaborados varios materiales de promoción, entre los cuales se muestra el tríptico realizado con asociaciones y empresas, Figura 9.



Figura 9. Tríptico sobre seguridad en las instalaciones de gas.





# 4 BOMBAS CIRCULADORAS Y CONSUMO ENERGÉTICO

En esta Guía se analiza la utilización de sistemas de bombeo con control de velocidad para mejorar la eficiencia energética de la calefacción y la producción de agua caliente sanitaria. ¿Cuántos sistemas necesitan siempre exactamente el mismo caudal y la misma presión? Probablemente ninguno. Sea agua caliente que circula en un sistema de calefacción, agua del grifo o eliminación de aguas residuales, las necesidades varían según la hora y a lo largo del año.

Las bombas circulatoras aplican diferentes tecnologías. Pueden ser de motor asíncrono de campo inducido o bien aplicar la tecnología de imán permanente de tipo síncrono. En este segundo caso el rotor es un imán de gran potencia y no hay deslizamiento entre el rotor y el estátor.

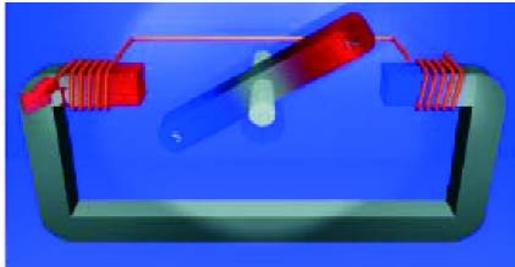


Figura 10. Motor asíncrono de campo inducido.

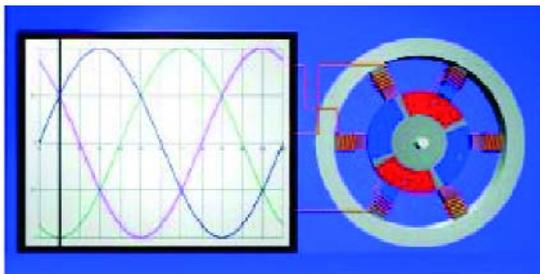


Figura 11. Motor síncrono de imán permanente.

(Todas las bombas de imán permanente son de velocidad variable y sólo algunas bombas de velocidad variable utilizan este tipo de imán).

Por eso, con el objeto de mejorar el rendimiento de las instalaciones se han desarrollado bombas que ajustan de forma automática el caudal a las condiciones predominantes del sistema. La regulación electrónica de la velocidad de la bomba garantiza que esté siempre funcionando según las condiciones del sistema. Esto reduce significativamente el consumo de energía y garantiza unas condiciones de funcionamiento mejores que las obtenidas con otros componentes o dispositivos.

La importancia de la rentabilidad energética aparece como una evidencia cuando se considera que cerca del 20 % de la energía eléctrica del mundo se usa para hacer funcionar sistemas de bombeo. Según datos prácticos, hasta el 30-50 % de esta energía, podría ser ahorrada, fijándose en una visión global de los costes en lugar de sólo en el precio de compra.

Las ventajas en ahorro energético que supone el uso de las nuevas bombas circuladoras de velocidad variable indican que, aunque en la actualidad existen escasas instalaciones con este tipo de tecnología en España y Europa, serán en un futuro cercano indispensables en los sistemas de calefacción.

#### **4.1. Bombas circuladoras centrífugas**

Son equipos que recibiendo energía mecánica de rotación, la ceden en forma de presión al líquido bombeado mediante el giro de un rodete o rueda de álabes.

Desde el punto de vista mecánico es una máquina sencilla, un rodete gira dentro de una envoltura o carcasa que posee dos orificios, uno de entrada (aspiración) y otro de salida (impulsión). Cuando gira el rodete, comunica al líquido una energía dando lugar a una velocidad y a una presión que se añade a la que tiene el fluido en el orificio de entrada.



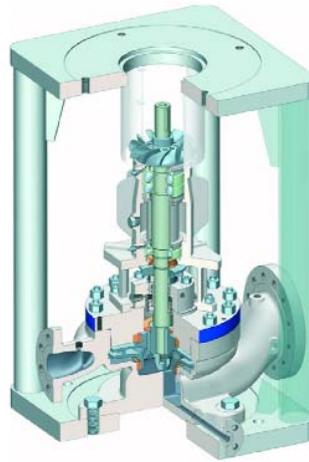


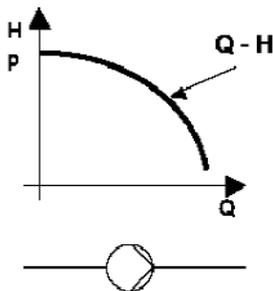
Figura 12. Bomba recirculadora centrífuga.

En los circuitos de calefacción, el agua circula venciendo las pérdidas de presión por el rozamiento en las conducciones, así como las pérdidas de presión localizadas que al paso del agua oponen los diferentes equipos y accesorios de la instalación, válvulas, baterías, filtros, etc.

Existen en el mercado numerosas clases de equipos "motor-bomba" adaptados a las necesidades del trasvase del líquido a realizar.

Los motores se instalan alimentados con corriente monofásica (230 V) o trifásica, 230/400 (tensión europea). Sus revoluciones por minuto oscilan entre 1.400 y 3.000, utilizándose las de mayores revoluciones para las bombas con mayor altura de impulsión.

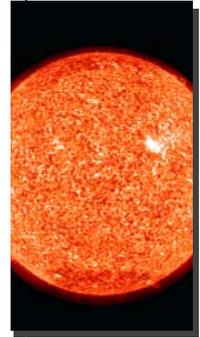
Las características que definen una bomba recirculadora son:



- ✓ el caudal de agua que debe transportar (Q),
- ✓ la presión que aporta al agua para vencer todas las pérdidas de carga (altura manométrica) (H).

En función de estas características, el caudal y la altura manométrica, y de su velocidad de giro (número de revoluciones del motor) la bomba recirculadora consumirá una potencia eléctrica que se denomina 'potencia absorbida'.

Figura 13. Curva presión-caudal.



Estos cuatro valores: caudal, altura manométrica, velocidad de giro y potencia absorbida definen las especificaciones de una bomba circuladora.

En función de su disposición y montaje respecto de las tuberías en una instalación de calefacción o agua caliente sanitaria se las puede clasificar en:

- ✓ Bombas para montaje sobre bancada.
- ✓ Bombas para montaje directo en tuberías (en línea).

En los últimos años y debido a sus ventajas técnicas, la utilización de bombas "en línea" se ha impuesto claramente a las de "bancada" en las instalaciones de calor y frío de edificios y viviendas sin límite de capacidades.



Recirculadoras sobre bancada

Recirculadoras en línea

Foto 5.

Se utilizan las bombas en paralelo cuando se quiere incrementar el caudal  $Q$ .

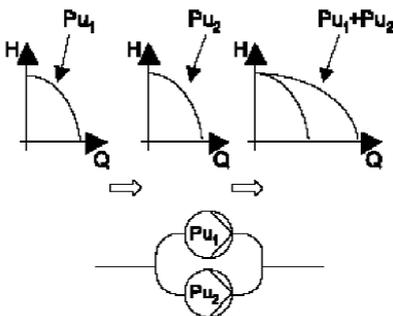


Figura 14. Curvas de capacidad de bombas en paralelo.

Al instalar dos electrobombas idénticas en paralelo el caudal  $Q$  se incrementa y la altura alcanzada no se modifica. El aumento del caudal depende de la curva de la instalación y aunque se instalen dos electrobombas no se suele alcanzar el doble del caudal. Este sistema se utiliza generalmente para el abastecimiento de agua (grupos de presión).



Las bombas en serie aumentarán la altura  $H$ , ya que es una suma vertical; para dos electrobombas idénticas instaladas en serie la altura será el doble y el caudal permanece igual. Se utiliza normalmente con bombas multicelulares.

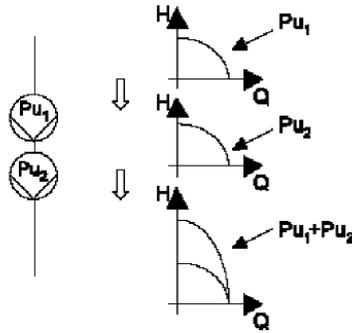


Figura 15. Curvas de capacidad de bombas en serie.

## 4.2. Consumo energético de una bomba circuladora centrífuga

Aunque tradicionalmente los motores eléctricos han sido considerados una fuerza motriz flexible, económica y eficiente, todavía se pueden obtener grandes ahorros energéticos.

Estos ahorros pueden alcanzarse mejorando el rendimiento del motor y/o recurriendo a la velocidad variable.

Actualmente el motor eléctrico más utilizado en las bombas circuladoras es el motor asíncrono trifásico, cubriendo aproximadamente el 95 % de las aplicaciones y usos. Las causas principales de su éxito son: el precio, la fiabilidad y su eficiencia a plena carga.

En determinadas ocasiones, algunos motores trabajan con índices de carga bajos, de manera muy poco eficiente. Seleccionar un motor sobredimensionado para una función determinada, provoca unas pérdidas innecesarias que pueden ahorrarse, simplemente, con un proceso de selección más adecuado.

Se estima que una tercera parte de la energía eléctrica utilizada en las instalaciones de calefacción y producción de ACS es consumida por los motores asíncronos monofásicos y trifásicos. Consecuentemente cualquier incremento del rendimiento, por pequeño que sea, comporta una reducción de la energía consumida y de la factura energética. Así

para un motor de potencia útil  $P$  (kW) con un rendimiento  $\eta$ , las pérdidas vienen dadas por:

$$\text{Pérdidas (kW)} = P(1/\eta - 1)$$

Con lo que el coste anual (CEP) de estas pérdidas se evalúa mediante

$$\text{CEP(€)} = Phk(1/\eta - 1)$$

Donde:

$h$  = número de horas de funcionamiento del motor al año.

$k$  = coste del kWh.

En la Figura 16 se observa el rendimiento de motores trifásicos asíncronos en general y motores de electrobombas en particular, en función de la polaridad.

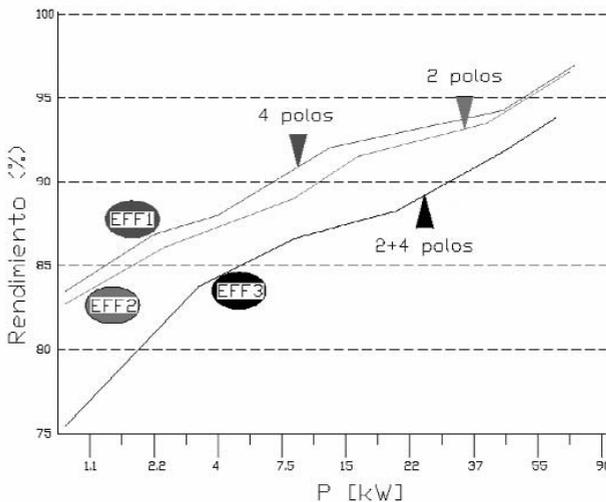
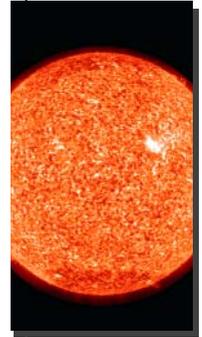


Figura 16. Rendimientos mínimos para alcanzar las clasificaciones (Eff1), (Eff2) y (Eff3).

Además de bombas circuladoras, los motores eléctricos se utilizan en ventiladores y compresores, aunque la velocidad variable no es una exigencia del proceso, su utilización puede comportar una importante reducción de la energía eléctrica consumida. Si a esto se añade que aproximadamente un porcentaje muy elevado de los accionamientos eléctricos impulsan este tipo de máquinas, nos encontramos ante una fuente importante de ahorro energético.





El ejemplo más claro de ahorro de energía utilizando velocidad variable, o mejor dicho regulación electrónica de velocidad, es el caso de las electrobombas.

### 4.3. Variadores de frecuencia

El motor asíncrono, a pesar de ser un motor robusto, de poco mantenimiento, liviano e ideal para la mayoría de las aplicaciones en instalaciones del sector terciario, tiene el inconveniente de ser un motor rígido en cuanto a su velocidad.

La velocidad del motor asincrónico depende de la forma constructiva del motor y de la frecuencia de alimentación. Como la frecuencia de alimentación que entregan las compañías de electricidad es constante, la velocidad de los motores asincrónicos es constante, salvo que se varíe el número de polos o la frecuencia.

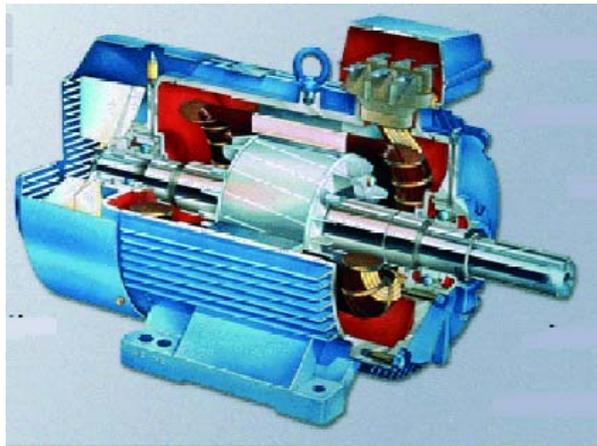


Figura 17. Motor asíncrono.

El método más eficiente de controlar la velocidad de un motor eléctrico es por medio de un variador electrónico de frecuencia. No se requieren motores especiales, son mucho más eficientes y tienen precios cada vez más competitivos.

El variador de frecuencia regula la frecuencia del voltaje aplicado al motor, logrando modificar su velocidad. Sin embargo, simultáneamente con el cambio de frecuencia, debe variarse el voltaje aplicado al motor para evitar la saturación del flujo magnético con una elevación de la corriente que dañaría el motor.



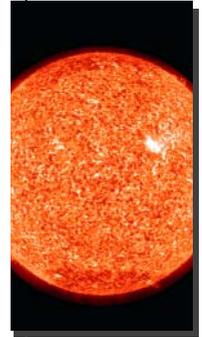
Foto 6. Variador de frecuencia.

En las bombas centrífugas, los variadores de frecuencia controlan el caudal en sistemas de presión constante y volumen variable. En este caso se obtiene un gran ahorro de energía porque el consumo energético varía con el cubo de la velocidad, o sea que para la mitad de la velocidad, el consumo es la octava parte de la potencia nominal.

En instalaciones de calefacción, de viviendas u hoteles, se utilizan motores que operan con cargas variables, a veces en función de la temperatura, otras veces en función del caudal o presión, dependiendo de las necesidades de uso o de la ocupación y es, en estos casos, en los que utilizando los variadores de velocidad, se adapta la potencia del motor a la necesidad, logrando con esto tener, por así decirlo, un motor de potencia variable y, por lo tanto, un motor que reduce sus requerimientos de energía eléctrica, obteniendo así ahorros sustanciales.

El objetivo del variador de frecuencia es ajustar de forma continua y automática la velocidad de giro del motor a la carga del equipo considerado.

Sin variador de frecuencia, la regulación se efectúa mediante mecanismos auxiliares de disipación (tales como válvulas) instalados usualmente a la salida del equipo accionado por el motor. La potencia consumida siempre es la misma. Con variadores a carga parcial el motor consume menos.



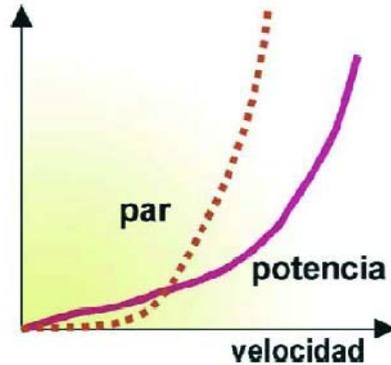


Figura 18. Curvas de Par y Potencia vs velocidad.

En el caso de bombas, ventiladores y soplantes, el par motor es proporcional al cuadrado de la velocidad de giro, siendo la potencia proporcional al cubo de la velocidad.

Por ello, una pequeña reducción de este parámetro (este efecto es el que consigue un variador de frecuencia, adaptando su valor al necesario para el régimen de carga que en cada instante tiene el equipo) puede derivar en un ahorro importante de energía eléctrica, que puede llegar a ser del orden del 25 % al 30 %.

#### 4.4. Variadores de frecuencia en bombas circulatoras

En bombas circulatoras, aunque la velocidad variable no es una exigencia del proceso, su utilización puede comportar una importante reducción de la energía eléctrica consumida. Si a esto se añade que un porcentaje muy elevado de los accionamientos eléctricos impulsan este tipo de equipos, nos encontramos ante una fuente importante de ahorro energético.

El ejemplo más claro de ahorro de energía utilizando velocidad variable, o mejor dicho regulación electrónica de velocidad, es el caso de las bombas circulatoras.

Cabe recordar que la característica de una bomba centrífuga proporciona la altura manométrica,  $H$  (m), en función del caudal  $Q$  (l/s), para un fluido determinado y una velocidad prefijada.

La potencia de la bomba se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$P \text{ (W)} = \gamma Q \text{ (l/s)} H / 102 \eta_B$$

Donde:

$\gamma$  = peso específico del fluido en  $\text{kg/m}^3$ .

$\eta_B$  = rendimiento de la bomba.

En una instalación de bombeo el punto de trabajo es la intersección entre la característica H-Q de la bomba y la curva de carga de la instalación (que es función del diámetro de la tubería, de su longitud, particularidades de la instalación, de la densidad del fluido a bombear, etc.).

La forma convencional de variar el caudal es utilizando válvulas de estrangulamiento (p.ej. válvulas termostáticas), o sea actuando sobre la característica de la carga. En la Figura 19 puede verse la reducción de caudal utilizando este sistema, pasando de un caudal  $Q_1$  (1 p.u.) a un caudal  $Q_2$  en el punto de funcionamiento A. Un sistema de regulación alternativo, consiste en variar la velocidad de la bomba, pasando el caudal del punto de funcionamiento 1 p.u. al punto de funcionamiento B, como consecuencia de la nueva velocidad de la bomba.

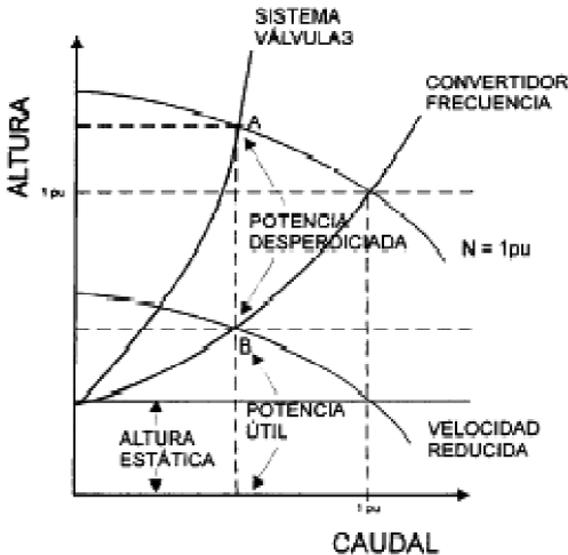


Figura 19.

Claramente la regulación de caudal utilizando velocidad variable es mucho más eficiente que la regulación por estrangulamiento; sin embargo, requiere de un convertidor electrónico para la alimentación del motor.





# 5 NUEVAS TECNOLOGÍAS PARA CIRCULADORAS MÁS EFICIENTES

## 5.1. Variaciones de caudal

Al estudiar las necesidades de calefacción, el cálculo muestra la demanda máxima de calor necesaria en el edificio, pero sólo se necesitará el caudal máximo durante un periodo breve del año.

La variación de la temperatura exterior, la irradiación solar y el calor que desprenden las personas, así como la iluminación y equipos eléctricos harán variar considerablemente la demanda de calor y caudal.

La forma más eficaz de considerar esta variación es instalar válvulas de radiador termostáticas y la utilización de una bomba con control de velocidad en el sistema de calefacción utilizado.

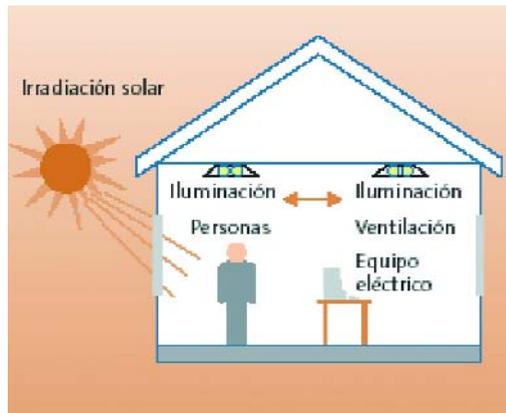


Figura 20. Emisión de calor en un edificio.

Sobre la base de la medición del caudal en un sistema de calefacción y las temperaturas exteriores medias puede hacerse un perfil de caudal estándar y un perfil de cálculo.

Se utiliza el perfil de cálculo para calcular el consumo de energía de la bomba recirculadora, para demostrar las ventajas que ofrece una bomba con control de velocidad y para calcular el coste del ciclo vital de una bomba. Sólo habrá caudal máximo durante menos del 5 % del año, mientras que durante más del 85 % del año el caudal estará por debajo del 50 %.

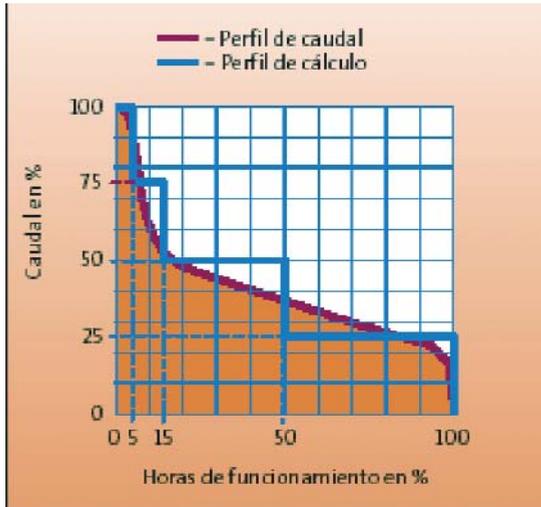
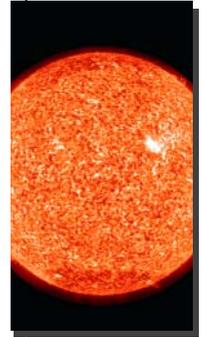


Figura 21. Curva monótona de carga.

En los sistemas de bombeo con bombas convencionales, los parámetros de la circuladora son fijos determinando un caudal y una presión constante a pesar de las modificaciones en las condiciones de demanda de la instalación. La circuladora trabaja en las condiciones de diseño más allá de las variaciones que pueden ocurrir, como pueden ser: grifos abiertos o cerrados en caso de producción de ACS o, para calefacción más o menos radiadores con válvulas cerradas o abiertas.

Éste es uno de los motivos que ha impulsado a desarrollar este tipo de bombas circuladoras que pueden ajustar automáticamente el caudal y la presión diferencial a las condiciones predominantes del sistema. La regulación electrónica de la velocidad de la bomba garantiza que esté siempre funcionando según las condiciones demandadas por el sistema.

## 5.2. Opciones de utilización

Pueden utilizarse bombas con control de velocidad en muchos sistemas, pero siempre depende de la fuente de calor que se esté usando.



En calderas de gas murales con bombas integradas no puede sustituirse la bomba por una bomba estándar con control de velocidad, ya que se trata de una bomba especialmente fabricada con características especiales.

Las ventajas de utilizar una bomba con control de velocidad dependen de la construcción del sistema. En un sistema con caudal variable (por ejemplo sistemas bitubo con válvula termostática) una bomba con control de velocidad evitará siempre ruidos y ahorrará, al mismo tiempo, energía.

Para sistemas con caudal casi constante (por ejemplo sistemas monotubo) puede utilizarse una bomba con control de velocidad para que se ajuste al caudal correcto.

TABLA 3. Fuente de calor frente a viabilidad de uso.

Tipo de sistema	Velocidad variable	Bomba especial
Caldera de gasóleo	X	
Caldera eléctrica	X	
Caldera de gas con bomba integrada		X
Caldera de gas sin bomba integrada	X	
Intercambiador de calor	X	
Calefacción centralizada directa	X	
Bomba de calor	X	
Caldera mixta	X	

Las calderas mixtas son calderas que utilizan como combustible el gas o el gasóleo con potencias menores de 70 kW, en las cuales la potencia térmica generada se utiliza tanto para la calefacción como para la producción de ACS. Es en este contexto dual que una recirculadora que pueda ajustar tanto su caudal como su presión tiene un gran potencial de ahorro de energía.

Las bombas circuladoras de velocidad variable son más eficientes que las bombas convencionales de motor asíncrono consiguiendo ahorros energéticos en funciones similares del orden del 25 % al 50 %.

En definitiva, es evidente que hay un gran potencial de ahorro de energía aplicando nuevas tecnologías, teniendo en cuenta la enorme cantidad de pequeñas bombas circuladoras que se instalan en diferentes tipos de sistemas.

Las bombas de velocidad variable y alta eficiencia son apropiadas para las siguientes opciones de utilización:

- ✓ Sistemas de caudal constante o variable donde un óptimo ajuste del punto de servicio de las bombas es necesario.
- ✓ Sistemas de caudal y temperaturas variable.
- ✓ Instalaciones en sistemas existentes, donde la presión diferencial de la bomba es muy alta, durante períodos de una gran reducción de la demanda de caudal.
- ✓ Instalaciones en sistemas nuevos para un completo ajuste automático del rendimiento en función de demandas de caudal, evitando el uso de válvulas de derivación (*bypass*) u otros componentes de alto coste.

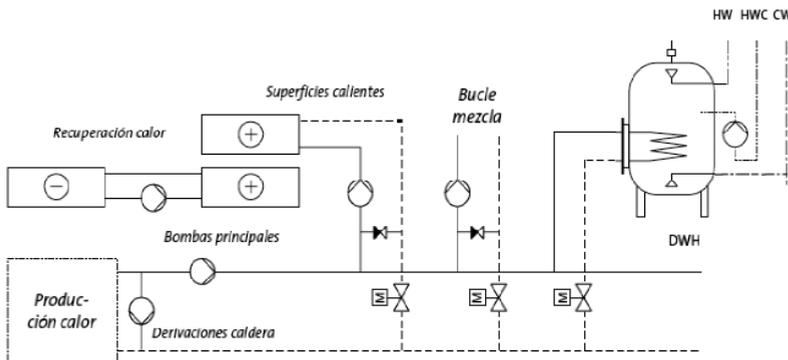


Figura 22. Diferentes tipos de utilizations de bombas de velocidad variable.

Las bombas de velocidad variable y alta eficiencia, según su fabricación, se pueden utilizar para regular el caudal de agua de circulación junto con la presión diferencial.

Existen en el mercado bombas circuladoras para pequeñas viviendas que, dado su amplio rango de operación, pueden reemplazar hasta el 90 % de las bombas





convencionales del mercado, son sencillas de instalar y consiguen ahorros energéticos de hasta el 50 %. Estas bombas se ajustan con facilidad a variaciones exteriores de temperatura y variaciones de caudal desde 0,5 hasta 2,0 m<sup>3</sup>/h.



Foto 7. Recirculadoras.

Existe en el mercado un modelo de bomba recirculadora con regulación electrónica, que autorregula su velocidad adaptándola a las necesidades de la instalación. Comparadas con los modelos convencionales con tres posiciones de velocidad, que normalmente están sobredimensionadas, tienen un consumo de energía algo menor.

La regulación consiste en una conmutación interna entre las tres velocidades mencionadas. La tecnología utilizada es asíncrona porque, con modelos de muy baja potencia, usar una tecnología superior (síncrona) eleva considerablemente el precio.

El objetivo principal es evitar los ruidos en las válvulas termostáticas, sin embargo su capacidad de ahorro es relativamente pequeña comparada con una bomba eficiente de imán permanente.

### 5.3 Situación de las circuladoras eficientes

En España no existen fábricas de bombas circuladoras de alta eficiencia sino que son importadas por sus empresas distribuidoras. Las principales empresas en el mercado español son:

- Grundfos      Importa y distribuye bombas circuladoras desde Dinamarca y Alemania.
- Wilo            Importa y distribuye bombas circuladoras desde Alemania.
- Sedical-Biral    Importa y distribuye bombas circuladoras desde Suiza.
- Smedegaard    Importa y distribuye bombas circuladoras desde Dinamarca.



Foto 8. Circuladoras de alta eficiencia.

Tomando como base las estadísticas del año 2004 el número de viviendas en España se estimaba en torno a 21 millones. La distribución del tipo de sistema de calefacción era la siguiente:

- 20 % Calefacción centralizada para varias viviendas.
- 35 % Calefacciones individuales.
- 25 % Bombas de calor y calefactores individuales (cuarzo, infrarrojo, braseros, etc.).
- 20 % Sin calefacción.

Desde mediados del año 2005 se han incorporado a algunas instalaciones de calefacción y ACS en España las bombas eficientes. Las estadísticas representadas en los siguientes gráficos y tablas, han sido confeccionadas con los datos, estimaciones y cálculos realizados a partir de la información suministrada por los distribuidores locales y actualizados en diciembre del año 2006.

Se ha calculado el siguiente reparto del mercado entre fabricantes de circuladoras eficientes:

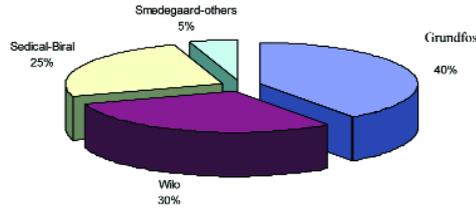


Figura 23. Valores obtenidos de consultas con distribuidores.

Estas empresas han incluido entre sus productos nuevos modelos de circuladoras con tecnología de alta eficiencia.

Las bombas circuladoras pueden utilizarse en diferentes aplicaciones: las bombas convencionales sin ningún control electrónico, aquellas controladas electrónicamente y las que además son de alta eficiencia con control de velocidad integrado, siendo el rango de potencia utilizado en cada aplicación como el que se indica en la Tabla 4.

TABLA 4

	Potencia de las bombas convencionales (W)	Potencia de las bombas eficientes (W)
Viviendas unifamiliares (calderas murales)	25-40	5-12
Bloque de pisos (30-40 viviendas)	70-200	20-50
Bloque de pisos (120-150 viviendas)	400-2.000	50-180
Grandes edificios (Hoteles, oficinas, etc.)	1.000-6.000	370-7.500

Las ventas en el mercado español de las diferentes categorías de bombas circuladoras se muestran en la Tabla 5.

TABLA 5

Venta de bombas (Ud.)		Grundfos	Wilo	Sedical	Smedegaard	(%)	Total
Circuladoras convencionales (sin control electrónico)	Pequeñas	30.000	17.000	15.825	4.000	74,9	66.825
	Medias	10.000	9.000	8.460	2.000	21,2	29.460
Circuladoras convencionales (con control electrónico)	Pequeñas	1.600	250	241	50	1,5	2.141
	Medias	200	80	75	25	0,4	380
Circuladoras de velocidad variable (alta eficiencia)	Pequeñas	100	60	55	15	1,15	230
	Medias	400	50	46		0,95	496

Pequeñas: rango de potencia inferior a 120 vatios  
 Medias: rango de potencia entre 120-1.000 vatios

La venta de bombas circuladoras convencionales es mayoritaria y representan aproximadamente el 97 % del total del mercado, alcanzando las circuladoras con control electrónico el 2 % y aquellas de alta eficiencia y control de la velocidad el 1%.

En la Tabla 6 se muestran las características más importantes como potencia, rendimiento y tipo de circuladoras basadas en la información suministrada por los distribuidores.

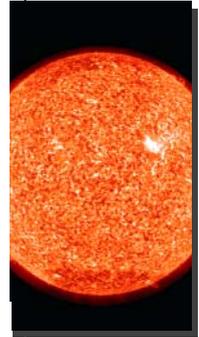


TABLA 6

	Tamaño	Marca	Modelo	Potencia (W)	Ahorro respecto a estándar
Circuladoras convencionales (sin control electrónico)	Pequeñas (<120 W)	Grundfos	UPS serie 100 UPS serie 200 (UPSXX- 30)	P: 40-115	
		Wilo	Star RS Star ST Star AC	P: 17 - 144	
		Sedical-Biral	SP	P: 64- 110	
		Smedegaard	Mini Wat EV	P: 25 - 35 P: 20 - 115	
	Medias (120-1000 W)	Grundfos	UPS serie 200 (UPSXX- 60) UPS serie 100 (UPSXX- 30)	P: 55-1.000	
		Wilo	TOP-S 50/15 DM	P: 40-1.685	
		Sedical-Biral	SM		
		Smedegaard	EV	P: 85 -100	
Circuladoras convencionales (con control electrónico)	Pequeñas (<120 W)	Grundfos	Alpha +	P: 25 - 90	
		Wilo	Star-E 25/1-5	P: 18 - 72	30-40 %
		Sedical-Biral			
		Smedegaard	Isobar	P: 15 - 75	
	Medias (120-1000 W)	Grundfos	UPE	P: 180 - 900	50-60 %
		Wilo	TOP-E 25/1- 7	P: 25 - 1650	30-40 %
		Sedical-Biral			
		Smedegaard	Isobar	P: 30 - 100	
Circuladoras de velocidad variable (alta eficiencia)	Pequeñas (<120 W)	Grundfos	Alpha Pro	P: 6 - 50	60-75 %
		Wilo	Stratos Eco	P: 5,8 - 59	Más de 80 %
		Sedical-Biral	MC 25/4 - B	P: 7 - 29	
		Smedegaard	Isobar 2-50	P: 10 - 35	
	Medias (120-1000 W)	Grundfos	Magna	P: 10 - 180	60-75 %
		Wilo	Stratos	P: 9 - 1550	Más de 80 %
		Sedical-Biral			
		Smedegaard			

Fuente: Elaboración propia con datos de distribuidores de bombas



En general, las bombas circuladoras de alta eficiencia incrementarán su presencia en el mercado en los años sucesivos, aunque este aumento será paulatino.

Las razones de este lento crecimiento son su alto precio y que todavía no son conocidas por las ingenierías, instaladores, promotores y comercializadores.

En España, la concienciación de la protección ambiental y el ahorro de energía están en franco crecimiento, aunque todavía no ha llegado al campo de las bombas circuladoras debido a una falta de difusión de la tecnología de circuladoras de alta eficiencia y sus altos ahorros energéticos y económicos.

Los estudios de ingeniería han comenzado a aceptar estos equipos al buscar agregar a sus proyectos productos de alta calidad con grandes rendimientos y gran eficiencia energética.

Instaladores, grandes distribuidores y comercializadores en general no tienen gran conocimiento de este tipo de circuladoras de alta eficiencia y, por lo tanto, existe una dificultad en conseguir la aceptación de esta tecnología ya que a su vez buscan productos de bajo precio.

Para obtener una mejor aceptación y conocimiento del producto, los distribuidores nacionales suministran *software* de cálculo y catálogos, dan apoyo técnico para la selección, correcta instalación y mantenimiento de las circuladoras de alta eficiencia. Las ventajas de esta nueva tecnología y sus posibles aplicaciones tienen el soporte de los equipos técnicos de los grandes distribuidores.

#### 5.4. Costes de sistemas de bombeo

Las nuevas instalaciones de calefacción y aquellas que son reformadas, para mejorar su funcionamiento, deben afrontar los costes que significan la elección, entre otros equipos y accesorios, de unos sistemas de bombeo eficientes.

TABLA 7

Tipo de bomba	Potencia P (W)	Precio (€)
Circuladora Eficiente	6 ó 10	295-327
Circuladora convencional con control de velocidad electrónico	25 ó 36	160-189
Circuladora convencional sin control de velocidad electrónico	40	129-145

Fuente: Elaboración propia con datos de distribuidores de bombas del año 2006

El rango de precios de las bombas de recirculación eficientes suelen ser 295-327 Euros para bombas de bajas potencias. En las bombas convencionales con

control de velocidad electrónico de pequeñas potencias, para usos similares a las anteriores el precio oscila entre 160 y 190 Euros. En las bombas de circulación convencionales sin control de velocidad electrónico el precio disminuye al rango de 129-145 euros.

La mejor opción, por supuesto, no es la de elegir el equipo más económico sino aquel que justifique su más alto coste de compra con otras ventajas adicionales como son:

- Ventajas en el funcionamiento. Control y recogida de información.
- Costes de mantenimiento.
- Ahorros en consumo de energía.

Los costes de mantenimiento significan un 10 % del gasto total dentro de la vida útil de una bomba y los de consumo de energía alcanzan hasta el 80 %.

La utilización a cargas parciales de un sistema de bombeo, tanto en función de las pérdidas de carga como de diferentes caudales, son una constante en el funcionamiento de las instalaciones de calefacción y se mantienen durante dos terceras partes del tiempo de funcionamiento de la misma.

En la Figura 24 se muestra el ahorro económico que se puede alcanzar en una vivienda unifamiliar.

Se estima que el coste de adquisición de una bomba circuladora de alta eficiencia, incluida su instalación, es de 300 euros, lo que representa aproximadamente el doble de lo que costaría una bomba convencional. Por otro lado, debido al menor consumo de energía eléctrica, esta relativamente alta inversión se recuperará al cabo de 2 años. Durante la "vida útil" de la bomba de alta eficiencia (10 años) se obtendrán ahorros estimados en 530 euros.

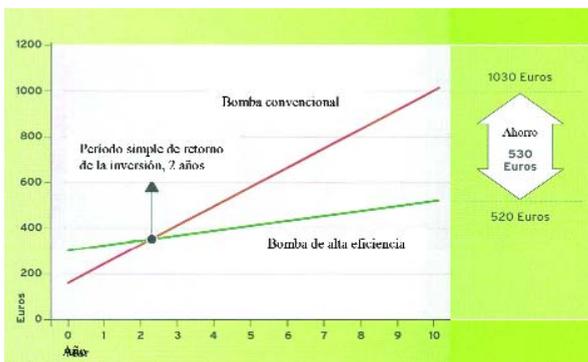


Figura 24. Comparación económica.



## 6 EJEMPLOS PRÁCTICOS

### 6.1 Prevención de la “Legionelosis”

En las instalaciones de producción centralizadas de agua caliente para uso sanitario con acumulación, para prevenir la peligrosa enfermedad infecciosa denominada Legionelosis, es necesario acumular agua caliente a una temperatura no inferior a 60 °C.

Además, no sólo la acumulación sino toda la red de distribución precisa periódicas operaciones de desinfección térmica. De lo contrario se formaría rápidamente esta bacteria en el agua.

La recirculación de ACS y una subida de temperatura periódica cumpliría la normativa Antilegionella. En la figura 25 se representa que elevando la temperatura de acumulación a 70 °C, durante un intervalo (aproximadamente 30 min.), se eliminarán todas las bacterias.



Figura 25. Eliminación de las bacterias de legionela.

Las temperaturas y los correspondientes tiempos de desinfección de la red se deben seleccionar en función del tipo de instalación. Según la normativa mundial más avanzada en la materia, se pueden adoptar indicativamente, los siguientes criterios:





Es un período de retorno elevado y está motivado por los altos precios de las bombas de pequeño tamaño y de alta eficiencia en el mercado actual.

## 6.2. Reforma de un sistema de calefacción

Un sistema de calefacción con antigüedad de 20 años debe ser reformado tomando como premisa unos costes de funcionamiento menores de los actuales.

### Instalación actual (de 20 años):

Área total calentada: 80.000 m<sup>2</sup>

Demanda total de calor: 6.000 kW

Caudal calculado: 129 m<sup>3</sup>/h

Altura calculada: 18 m

Una bomba de velocidad constante funcionando y una bomba de reserva (alternancia entre las dos bombas).

### El Coste del Ciclo de Vida estará basado en dos alternativas nuevas:

Sistema 1: Una bomba de velocidad constante

Sistema 2: Dos bombas con control de velocidad

#### Sistema I

##### I bomba de velocidad constante + I bomba de reserva

Bomba seleccionada: 2 x NK 80-250/259 (Grundfos)

Control: Protección de motor

Acceso a los datos del sistema: Ninguno

Índice de precio: 100 (4.500 EURO)

Consumo anual de energía: 52.821 kWh/año

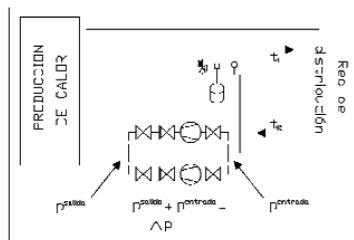


Figura 26. Sistema I.

## Sistema 2

### 2 bombas con control de velocidad + 1 bomba de reserva

Bomba seleccionada:	3 x TPE 80-240 (Grundfos)
Control:	Electrónico
Acceso a los datos del sistema:	Sí
Índice de precio:	162 (7.290 EURO)
Consumo anual de energía:	26.516 kWh/año

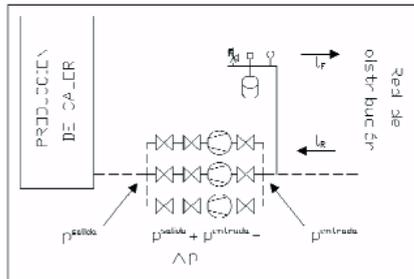
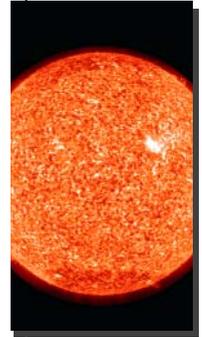


Figura 27. Sistema 2.

Este tipo de recirculadoras se han desarrollado con una versión monofásica del motor autorregulable de rotor seco. Esta combinación hace que las recirculadoras TPE sean adecuadas para utilización en sistemas de climatización basados en agua.

Lo más destacable de la nueva TPE es la reducción de los costes de funcionamiento en aproximadamente un 50 %. Mediante el ajuste automático de la velocidad, adapta su sistema operativo de modo que no funciona a más velocidad de la necesaria para cubrir las demandas variables del sistema donde está instalada. Es la clave para reducir de manera significativa el consumo de energía.

$$\text{Ahorro anual de energía} = 52.821 \text{ kWh} - 26.516 \text{ kWh} = 26.305 \text{ kWh}$$

El ahorro económico estimando un coste de 0,20 € el kWh, considerando todos los términos de facturación, será:  $26.305 \text{ kWh} \times 0,20 \text{ €/kWh} = 5.261 \text{ €}$ .

El período de retorno por la mayor inversión realizada será.

$$\text{Período de retorno: } (7.290 \text{ €} - 4.500 \text{ €}) / 5.261 \text{ €} = 0,53 \text{ años}$$



### 6.3. Nuevo sistema de recirculación en un hotel

El hotel tiene 31.500 m<sup>2</sup> de superficie, distribuidos en 465 habitaciones en 17 plantas. El hotel fue reformado en 1998 y aproximadamente la mitad de las bombas recirculadoras del hotel fueron sustituidas por bombas tipo E de Grundfos.

El hotel es calentado mediante 5 intercambiadores de vapor / calefacción central (en total 5.680 kW). Hay unas 75 bombas en el sistema de calefacción, de las cuales 29 son bombas E de Grundfos, de los siguientes tipos:

- Dos bombas LPE en línea, controladas, rotor seco.
- Una bomba TPE serie 2000 en línea, con control de velocidad, rotor seco.
- Veintiseis bombas UPE con control de velocidad, rotor húmedo.
- Dos bombas UPS con rotor húmedo.

Los ahorros obtenidos por la sustitución de bombas convencionales por otros de alta eficiencia alcanzan el 20 % anual.

#### Datos técnicos

Temperatura:	-25 a +140 °C
Presión:	PN16 (16 bar)
Gama potencia:	0,37 a 7,5 kW
Velocidad:	Variable

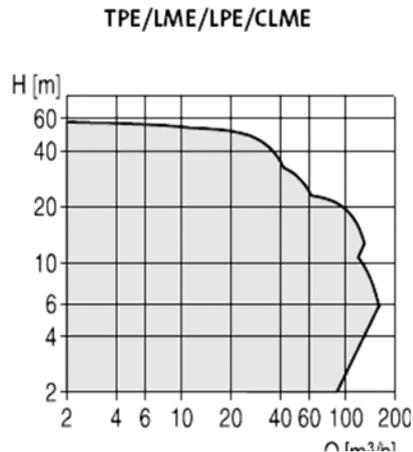


Figura 28. Curva característica con control de velocidad.

## 6.4. Hospital de nueva construcción



Este hospital de nueva construcción con capacidad de 633 camas utiliza bombas recirculadoras tipo E, para ahorrar energía y velocidad variable para un mejor control del sistema.

En el sistema de calefacción del edificio se han instalado bombas UPE de rotor húmedo, bombas LME y LPE en línea, bombas TPE en Línea y bombas NK de aspiración axial.

La superficie del edificio es de 22.000 m<sup>2</sup>, y la potencia térmica necesaria de calefacción de 2.200 kW. Para estimar los ahorros ener-

géticos provenientes de utilizar recirculadoras con control electrónico, sustituyendo a las convencionales, se consideran los datos de cálculo siguientes: caudal Q de 35m<sup>3</sup>/h y altura de 18 m.

Comparando los consumos para recirculadoras Grundfos TP convencionales y TPE controladas electrónicamente, las primeras con un consumo anual de 15.200 kWh/año y las equivalentes con control electrónico con un consumo anual de 13.479 kWh/año, resulta un ahorro del 11 % anual.

## 6.5. Viviendas y pequeños edificios

Como se indica en los ejemplos anteriores (hospital y hotel) la aplicación de la tecnología de bombas recirculadoras de velocidad variable de alta eficiencia, a pesar de su novedad, se va extendiendo para las instalaciones medianas y grandes: por los ahorros económicos generados, por sus altos rendimientos, y además al ser presentadas a la propiedad con asesoramiento de profesionales de la ingeniería.

Sin embargo, en pequeños edificios del sector terciario o en las viviendas, tanto en reformas de instalaciones existentes o en aquellas de nueva construcción se va imponiendo muy lentamente esta tecnología, tal como se presenta en los siguientes dos casos:





### Residencia para personas mayores

La reforma de la instalación de calefacción en un edificio Residencia para Personas Mayores, se realizó durante el año 2006.

Por solicitud y asesoramiento de la empresa de ingeniería que presentó el proyecto, se realizó la instalación de 3 bombas circuladoras Magna 32 - I20F, reemplazando a 3 bombas UPS 32- I20 F.

La caldera tiene 600 kW de potencia y los ahorros energéticos obtenidos son aproximadamente del 18 % en el conjunto del nuevo sistema de calefacción.

### Viviendas unifamiliares

Este ejemplo se refiere a un conjunto de 22 viviendas unifamiliares adosadas, ubicadas en la calle Madre Teresa Jornet en la ciudad de Burgos.

Durante el año 2006 se realizó la reforma de la calefacción, instalando bombas circuladoras Magna 50 - I20F de alta eficiencia, reemplazando a bombas UPS 50- I20 F.

La instalación de calefacción tiene una caldera de 400 kW de potencia y los ahorros energéticos obtenidos son del 26 % en el conjunto de la nueva instalación.



# 7 **NORMATIVA**

No existe una normativa específica que establezca, para las bombas circuladoras, unos criterios de construcción o rendimiento definidos. No obstante, en la normativa Europea y Española existe un entramado de directivas y otras regulaciones sobre las necesidades de ahorro y eficiencia energética de los edificios para promover el uso y aplicación de nuevas tecnologías en las instalaciones térmicas.

En el marco europeo, los fabricantes de bombas eficientes y la Comisión Europea están trabajando para que exista el marco regulatorio de etiquetado energético de las bombas de circulación.

El 14 de marzo del año 2005 la Asociación Europea de Fabricantes de Bombas (Europump) lanza el esquema de etiquetado de eficiencia energética. Este nuevo esquema mostrará a los consumidores sólo aquellas bombas que son más eficientes para los sistemas de calefacción.

Es un Acuerdo de los fabricantes, entre los cuales se encuentra Biral, Grundfos, Wilo y Smedegaard.

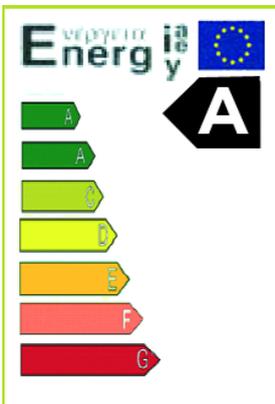


Figura 29. Modelo de etiqueta.

El diseño de la etiqueta energética para estas bombas sería similar a la utilizada en los electrodomésticos con la letra A para más eficiente y G la de menos eficiencia.

En España se encuentra vigente la Ley de Ordenación de la Edificación como marco del Código Técnico de la Edificación (CTE); además se está actualizando el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) y se ha



aprobado el Real Decreto 47/2007, de 19 de enero, que determina el Procedimiento Básico para la Certificación de Eficiencia Energética de los Edificios de Nueva Construcción.

El Plan de Acción 2005-2007 que impulsa el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio establece medidas de ahorro y eficiencia energética para edificios nuevos y en rehabilitación.

Dentro de este marco regulatorio se describen aquellas normas que ponen énfasis en lograr instalaciones con altos rendimientos energéticos, objetivos que incluyen la utilización de las circuladoras de velocidad variable y alta eficiencia en las instalaciones de los edificios.

### **Ley 38/1999, de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación (LOE)**

El objetivo prioritario de la Ley de Ordenación de la Edificación es regular el proceso de la edificación actualizando y completando la configuración legal de los agentes que intervienen en el mismo, fijando sus obligaciones para así establecer las responsabilidades y cubrir las garantías a los usuarios, basándose en una definición de los requisitos básicos que deben satisfacer los edificios.

En su capítulo II sobre exigencias técnicas y administrativas de la edificación, establece como uno de los requisitos básicos de la edificación el ahorro de energía y aislamiento térmico, de tal forma que se consiga un uso racional de la energía necesaria para la adecuada utilización del edificio. Objetivo este que se ha desarrollado en el Código Técnico de la Edificación.

### **El Código Técnico de la Edificación aprobado por el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo**

El Código Técnico de la Edificación es el marco normativo por el que se regulan las exigencias básicas de calidad que deben cumplir los edificios, incluidas sus instalaciones, para satisfacer los requisitos básicos de seguridad y habitabilidad.

En el artículo 15 de la Parte I de este CTE se establecen las exigencias básicas de ahorro de energía:

1. El objetivo del requisito básico "Ahorro de energía" consiste en conseguir un uso racional de la energía necesaria para la utilización de los edificios, reduciendo a límites sostenibles su consumo y conseguir asimismo que una parte de este consumo proceda de fuentes de energía renovable, como consecuencia de las características de su proyecto, construcción, uso y mantenimiento.

2. Para satisfacer este objetivo, los edificios se proyectarán, construirán, utilizarán y mantendrán de forma que se cumplan las exigencias básicas que se establecen en dicho CTE.

3. El Documento Básico "DB-HE Ahorro de energía" especifica parámetros objetivos y procedimientos cuyo cumplimiento asegura la satisfacción de las exigencias básicas y la superación de los niveles mínimos de calidad propios del requisito básico de ahorro de energía.

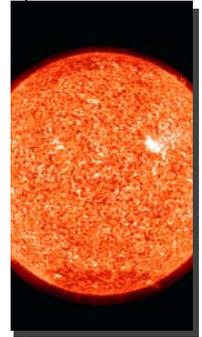
El documento básico, el DB-HE Energía, donde se establecen las exigencias de ahorro de energía, consta de las siguientes partes:

- HE1** : Limitación de la demanda energética.
- HE2** : Rendimiento de las instalaciones térmicas.
- HE3** : Eficiencia Energética de las instalaciones de iluminación.
- HE4** : Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria.
- HE5** : Contribución fotovoltaica mínima de energía eléctrica.

La exigencia básica HE2: Rendimiento de las instalaciones térmicas, indica que los edificios dispondrán de instalaciones térmicas apropiadas destinadas a proporcionar el bienestar térmico de sus ocupantes, regulando el rendimiento de las mismas y de sus equipos. Esta exigencia se desarrolla actualmente en el vigente Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios, RITE, y su aplicación quedará definida en el proyecto del edificio.

La exigencia básica HE4: Contribución solar mínima de agua caliente, obliga a que, en los edificios nuevos o en la rehabilitación de edificios existentes, una parte de la demanda energética para el agua caliente sanitaria o de climatización de piscinas cubiertas provendrá de la energía solar.

Según el apartado 3.3.7. "Sistemas de control" de la mencionada HE4 "las instalaciones con varias aplicaciones deberán ir dotadas con un sistema individual para seleccionar la puesta en marcha de cada una de ellas, complementado con otro que regule la aportación de energía a la misma.





Esto se puede realizar por control de temperatura o caudal actuando sobre una válvula de reparto, de tres vías todo o nada, bombas de circulación, o por combinación de varios mecanismos".

Por último en 'Componentes' en su apartado 'Bombas de circulación' se establece una potencia máxima para la bomba de circulación, según los valores recogidos en la Tabla 8.

TABLA 8

Sistema	Potencia eléctrica máxima de la bomba
Sistema pequeño	50 W o 2 % de la mayor potencia calorífica que pueda suministrar el grupo de captadores
Sistemas grandes	1 % de la mayor potencia calorífica que puede suministrar el grupo de captadores

### **Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) y sus Instrucciones Técnicas Complementarias (ITE)**

El Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios, aprobado por Real Decreto 1751/1998 de 31 de julio, especifica que "El diseño de las instalaciones térmicas se ha de basar en un conjunto de premisas, conocimiento de condiciones interiores a cumplimentar, de los condicionantes exteriores, así como de los criterios y preceptos que permitan estimar y alcanzar su adecuado comportamiento respecto a la funcionalidad perseguida de bienestar, seguridad y uso racional de la energía".

Establece en las condiciones de diseño de este tipo de instalaciones que "la selección de los equipos de producción de frío y calor y de movimiento de los fluidos portadores basándose en su rendimiento energético e impacto sobre el medio ambiente".

Una de sus instrucciones técnicas la 'ITE 02.11 CONTROL' establece que "Todas las instalaciones de climatización y calefacción estarán dotadas de los sistemas de control automático necesarios para que se puedan mantener en los locales las condiciones de diseño previstas, ajustando, al mismo tiempo, los consumos de energía a las variaciones de la carga térmica".

En el mes de diciembre 2006 se envió a la Comisión Europea el nuevo Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE). Tiene un enfoque basado en prestaciones u objetivos, es decir, expresando los

requisitos que deben satisfacer las instalaciones térmicas sin obligar al uso de una determinada técnica o material. No impide la introducción de nuevas tecnologías y conceptos en cuanto al diseño, frente al enfoque tradicional de reglamentos prescriptivos que consisten en un conjunto de especificaciones técnicas detalladas que presentan el inconveniente de limitar la gama de soluciones aceptables e impedir el uso de nuevos productos y de técnicas innovadoras.

Así, para justificar que una instalación cumple las exigencias que se establecen en el RITE podrá optarse por una de las siguientes opciones:

- adoptar soluciones basadas en las Instrucciones Técnicas, cuya correcta aplicación en el diseño y dimensionado, ejecución, mantenimiento y utilización de la instalación, es suficiente para acreditar el cumplimiento de las exigencias; o
- adoptar soluciones alternativas, entendidas como aquellas que se apartan parcial o totalmente de las Instrucciones Técnicas. El proyectista o el director de la instalación, bajo su responsabilidad y previa conformidad de la propiedad, puede adoptar soluciones alternativas, siempre que justifiquen documentalmente que la instalación diseñada satisface las exigencias del RITE porque sus prestaciones son, al menos, equivalentes a las que se obtendrían por la aplicación de las soluciones basadas en las Instrucciones Técnicas.

Para facilitar a los agentes que participan en el diseño, dimensionado, ejecución, mantenimiento e inspección de estas instalaciones, el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) ha promovido la elaboración de seis guías técnicas de eficiencia energética.

Entre ellas la Guía Técnica de Mantenimiento de Instalaciones Térmicas y la Guía Técnica de Inspección de Generadores de Calor indican procedimientos de mantenimiento y de inspección periódica de calderas.

### **Directiva Europea 2002/91/CE de la eficiencia energética de edificios**

El objetivo primario de esta Directiva es la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>, que tendrá como consecuencias la mejora de la eficiencia energética de los edificios.





Un objetivo secundario de esta Directiva es la de promover la inversión en tecnologías de ahorro energético, que a su vez tendrá como consecuencia la implementación de medidas coherentes de política energética.

Esta normativa afecta a los edificios nuevos y a los existentes.

La Directiva 2002/91/CE establece la obligatoriedad de proporcionar a compradores y usuarios de edificios un certificado de eficiencia energética del mismo, habiéndose transpuesto a la legislación nacional mediante el Real Decreto 47/2007, de 19 de enero.

Este certificado de eficiencia energética de edificios servirá para acreditar que en su diseño y construcción se han tenido en cuenta criterios orientados a lograr en los mismos el máximo aprovechamiento de la energía.

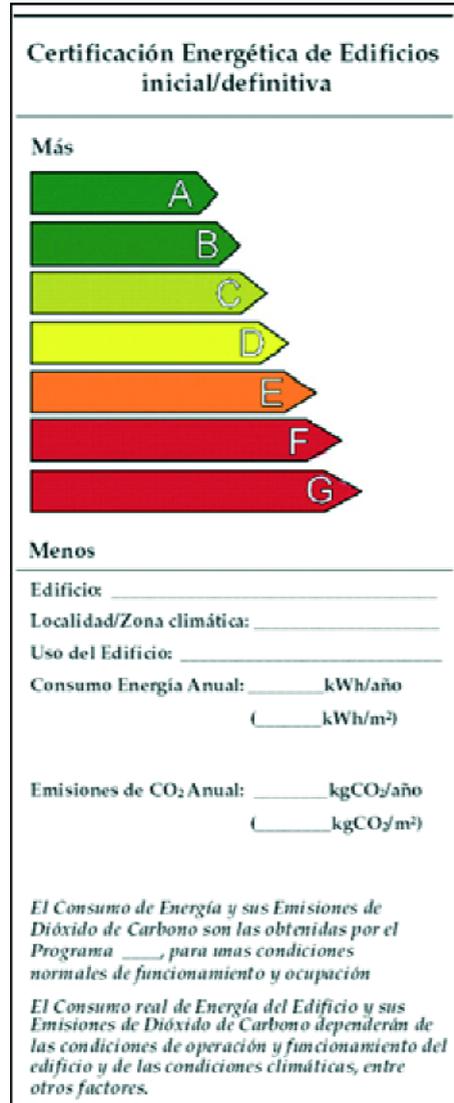


Figura 30.

La certificación valora la eficiencia térmica de los edificios en dos aspectos: climatización y producción de agua caliente. Para ello se tienen en cuenta, entre otros, aspectos como el grado de aislamiento del edificio o las instalaciones de producción de energía.

## **Plan de Acción 2005-2007, del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio**

El Plan de Acción 2005-2007 de la Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España 2004-2012 fue aprobado el 8 de julio de 2005 por el Consejo de Ministros.

Su objetivo es reducir el consumo de energía mejorando la eficacia energética con el fin de proteger el medio ambiente, reforzar la seguridad del abastecimiento de energía y crear una política energética más sostenible.

Se estima que su puesta en marcha generará un ahorro de energía primaria acumulado de doce millones de toneladas equivalentes de petróleo, el equivalente al 8,5 % del total del consumo de energía primaria del año 2004 y al 20 % de las importaciones de petróleo en ese año, y una reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera de 32,5 millones de toneladas.

Las medidas específicas del Plan de Acción 2005-2007 en el sector de la edificación incluyen dentro de su texto:

*"Que se establezca la obligación de fijar unos requisitos mínimos de eficiencia energética para edificios nuevos, para los sujetos a obras de rehabilitación, la certificación energética de edificios y la inspección periódica de calderas y sistemas de aire acondicionado".*

Las circuladoras de velocidad variable son equipos dentro de las instalaciones de los edificios que ayudarán a alcanzar estos objetivos.





# A NEXO: BIBLIOGRAFÍA Y DIRECCIONES DE INTERÉS

- . Bombas centrífugas y volumétricas. Departamento de Ingeniería Eléctrica y Energética - Universidad de Cantabria.
- . Calefacción. Departamento de Construcción Arquitectónica - ETSA - Las Palmas de Gran Canaria.
- . Ahorro de energía con variadores de frecuencia. Autor: Roger García Neri.
- . Como elegir un sistema de calefacción. Curso de MailxMail.com - Autor Energía.
- . Criterios de ahorro para sistemas de calefacción. Asociación de Estudios Geobiológicos, GEA.
- . The Engineering Tool Box. Fuentes, herramientas informáticas, e información básica online.
- . Technology Procurement for very Energy Efficient Circulation Pumps. Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy.
- . Control en cascada para variadores de frecuencia. Electromatica, Literatura técnica.
- . Ventajas económicas en el uso de motores de alta eficiencia y variadores de velocidad en hoteles. Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica (FIDE).

- . [www.grundfos.com/spain](http://www.grundfos.com/spain)
- . [www.wilo.es](http://www.wilo.es)
- . [www.sedical.com](http://www.sedical.com)
- . [www.smedegaard.com](http://www.smedegaard.com)
- . [www.bombasperfecta.es](http://www.bombasperfecta.es)
- . [www.baxi-roca.com](http://www.baxi-roca.com)
- . [www.escansa.com/energy+pumps.htm](http://www.escansa.com/energy+pumps.htm)

- . Proyecto "Energy+Pumps", auspiciado por el Programa Energía Inteligente por Europa de la C.E., con la colaboración de la DGIEM de la Comunidad de Madrid, el Ministerio de Ciencia y Tecnología de Alemania y el Ministerio de Trabajo e Industria de Finlandia.

## **Agradecimientos:**

La colaboración de las principales empresas distribuidoras de bombas circuladoras para realizar esta guía ha sido de gran ayuda y desde aquí se agradecen sus aportaciones.



Fundación de la  
Energía de  
la Comunidad  
de Madrid

[www.fenercom.com](http://www.fenercom.com)

**Energy Management Agency**

**Intelligent Energy**



**Europe**