

2. Medidas de ahorro

El objetivo de este capítulo es describir las medidas de ahorro energéticas más implantadas en el sector cervecero, en este caso. Para ello se hará una descripción de cada medida, una estimación del ahorro, tanto energético como económico, así como una estimación del periodo de retorno de dicha medida. Finalmente se expondrán una serie de casos prácticos donde se analizarán las consecuencias de las medidas de ahorro realizadas en cada uno de los proyectos descritos.

En la siguiente tabla se exponen las diferentes tecnologías donde es posible realizar una actuación, el consumo de energía que solicita dicha tecnología y una estimación del ahorro que se podría obtener.

TECNOLOGÍAS	% ENERGÍA USADA	% AHORRO POTENCIAL
CALDERAS Y VAPOR	26-50	3-10
AIRE COMPRIMIDO	3-10	11-25
SOPLANTES	3-10	11-25
EDIFICIOS INDUSTRIALES	3-10	11-25
AGUA DE REFRIGERACIÓN	3-10	3-10
BOMBAS	3-1	11-25
REFRIGERACIÓN	11-25	11-25
REMOVEDORAS Y MEZCLADORAS	3-10	3-10
CONTROL DE PROCESOS		3-10

Tabla 2.1 .Tecnologías y ahorro.

A continuación se va a realizar un análisis pormenorizado de las diferentes medidas de ahorro que se pueden tomar para cada una de las tecnologías.

2.1 Calderas y vapor.

2.1.1 Calderas de vapor.

En la siguiente tabla se exponen una lista de Medidas de Ahorro Energético referidas a calderas que muestra un estimado periodo de retorno, ahorro energético típico y el coste de inversión basado en recientes estudios.

MEDIDA	PERIODO DE RETORNO*	POT. AHORRO**	INVERSIÓN***
Correcto mantenimiento de la caldera	Corto	4	Media
Instalación de un economizador	Medio	2	Alta
Instalación de una compuerta de tiro	Medio	3	Baja
Uso de CHP	Largo	1	Alta
Recuperar calor de purgas	Largo	5	Alta
Compensador de oxígeno	Largo	6	Media
Sistema de control TDS	Largo	7	Media
Pre calentamiento de aire de combustión	Largo	9	Media

*El periodo de retorno esta dado como Corto, Medio o Largo donde: Corto < 1 año, Medio de 1 a 3 años y Largo > 3 años.

**En el ahorro 1 representa la medida que ofrece mayor potencial de ahorro.

***La inversión está dispuesta en diferentes categorías que son: Baja < 3000€, Media entre 3000€ y 15000€ y Alta > 15000€.

Tabla 2.2 . Medidas de Ahorro Energético en Calderas de Vapor.

2.1.1.1 Correcto mantenimiento de la caldera.

Descripción: Los problemas más frecuentes presentados en calderas pueden dividirse en dos grandes grupos:

- 1.- Problemas de corrosión.
- 2.- Problemas de incrustación.

Aunque menos frecuente, suelen presentarse ocasionalmente:

- 3.- Problemas de ensuciamiento y/o incrustación.

Para un buen mantenimiento es necesario tratar el agua de entrada a la caldera. Los principales fines perseguidos con el tratamiento del agua de alimentación son los siguientes:

- 1.- Quitar materias solubles o en suspensión.
- 2.- Eliminación de gases.

Todo esto es necesario, entre otras cosas, para:

- 1.- Evitar la formación de incrustaciones sobre las superficies de calentamiento de agua.
- 2.- Proteger contra la corrosión los metales de la caldera, recuperadores y tuberías.

Se debe decir que no existe ningún procedimiento simplista ni producto químico apropiado para todas clases de aguas. Cada caso debe considerarse individualmente.

El proceso del tratamiento del agua incluye la separación de los detritos mediante unas cubas móviles o fijas, filtrado, separación de lodos y limos en depósitos de decantación, calentamiento, vaporización o destilación, desaireación, tratamiento con cal apagada, tratamiento con carbonato sódico, tratamientos con ambos productos, con hidróxidos sódico y bórico, con fosfato trisódico, coagulantes, zeolitas (descalcificadores) y por osmosis inversa.

Existen dos principales formas de tratamiento del agua, llamadas interno y externo.

El tratamiento externo de agua generalmente se realiza tratando el agua previamente de su entrada a la caldera. El propósito es eliminar (completamente o parcialmente) una o más tipos de impurezas. Los principales métodos de tratamiento externo incluyen:

- Pretratamiento. Esto puede incluir sedimentación, clarificación, flotación y filtración.
- Eliminación de la dureza del agua.
- Desalcalinización del agua, para eliminar los sólidos disueltos mediante la eliminación de la alcalinidad.
- Desmineralización, para eliminar sólidos disueltos y sílice mediante el intercambio iónico.
- Osmosis inversa, para eliminar los sólidos disueltos mediante un proceso de membrana.
- Desaireación, para eliminar los gases disueltos (oxígeno y dióxido de carbono)

Estos métodos producen calidades variables del agua tratada y son usadas en consonancia a la composición del agua, de la caldera y de la calidad/uso que se requiera del vapor.

El tratamiento interno del agua también hace referencia al acondicionamiento del agua. El tratamiento interno del agua no es aconsejable por sí mismo y el agua de alimentación debe ser procesada tanto como sea posible antes de entrar a la caldera. El tratamiento interno consiste en la adición de sustancias químicas, en la caldera, para evitar la corrosión y la formación de lodos. La corrosión se minimiza usando una estrategia para mantener un entorno no agresivo. Un entorno no agresivo se consigue mediante la eliminación del oxígeno disuelto, manteniendo una reserva de oxígeno químico corrosivo y manteniendo una reserva de alcalinidad. El tratamiento interno generalmente incluye la adición de sustancias químicas en los circuitos de baja y alta presión de la instalación de vapor.

En el lado de los gases de combustión, el ensuciamiento se dará principalmente en las calderas que queman combustibles sólidos y será provocado por los inquemados sólidos y cenizas de estos combustibles que se adhieren a las paredes de la caldera y pueden llegar a sinterizar debido a las elevadas temperaturas.

El ensuciamiento formado en las superficies de la caldera aporta una resistencia extra a la transferencia de calor a través de las paredes, aumentando la temperatura de los gases de salida y de las superficies metálicas, las cuales pueden verse sometidas a una tensión térmica elevada. Todo esto conduce a una reducción de la eficiencia del equipo y a la necesidad de aumentar el consumo de combustible, así como a una reducción del ciclo de vida del equipo.

La siguiente tabla muestra la conductividad térmica de distintos materiales que pueden depositarse en las superficies de las calderas o formar parte de las mismas.

Material	Conductividad Térmica (W/mk)
Fosfato cálcico	2
Sulfato cálcico	1.282
Fosfato de magnesio	1.202
Óxido de hierro	1.602
Silicato	0.048
Aislante	0.056
Acero de caldera	24.84

Tabla 2.3. Conductividad térmica de sustancias en calderas.

La siguiente gráfica representa el incremento sufrido por la temperatura de la superficie metálica de la caldera y la pérdida de eficiencia en función del espesor de los depósitos.

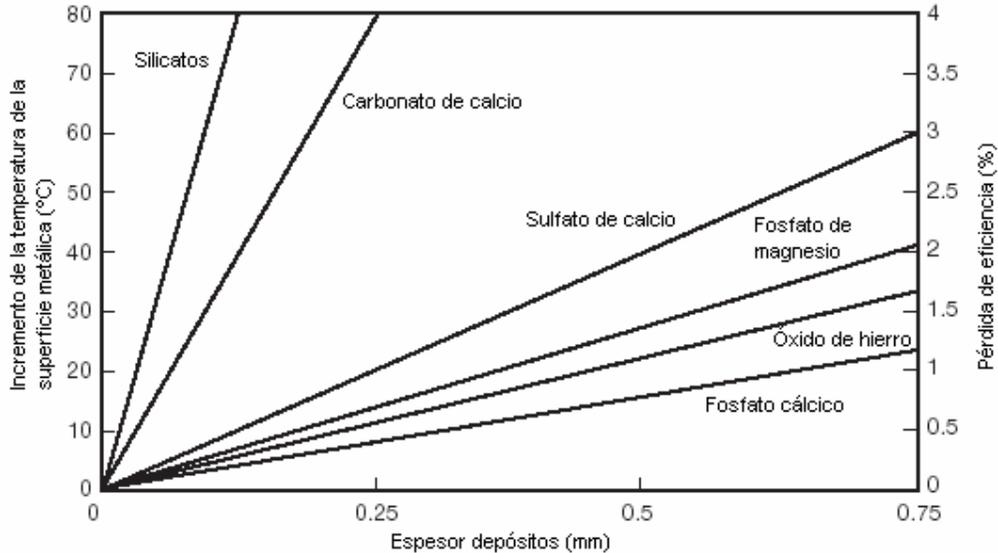


Fig. 2.1. Efecto del ensuciamiento en la eficiencia de la caldera.

Una vez que ya se han formado estos depósitos existen dos métodos para eliminarlos: limpieza mecánica y limpieza química.

El método mecánico se utiliza en calderas acuotubulares e inyecta agua a presión sobre las paredes sucias de la caldera. También puede utilizar otros aparatos de limpieza. La limpieza química o ácida se emplea tanto en calderas acuotubulares como pirotubulares y se centra en disolver los depósitos formados. Ambos métodos han de realizarse cuando la caldera está fuera de servicio y deben llevarse a cabo por personal cualificado.

Para eliminar el ensuciamiento formado en el lado de los gases en calderas acuotubulares se suele emplear un "soplador de hollín" que emplea vapor a elevada presión y lo inyecta sobre las paredes de la caldera donde se han acumulado los inquemados. Esto puede ser un método de limpieza muy efectivo que se realiza con la caldera en servicio. Algunas calderas utilizan aire comprimido como medio de limpieza. Este aparato puede ser localizado en cualquier zona propensa a ensuciarse. Para verificar la efectividad de esta operación se debe monitorizar la temperatura de los gases a la salida del soplador antes y después de que ocurra la operación. El cambio de dicha temperatura es el principal factor para indicar esta efectividad. Así, si se necesita la operación de limpieza, la temperatura de salida tendrá que disminuir una vez se haya realizado. Se tendrán que usar termómetros para asegurar la monitorización adecuada.



Fig. 2.2. Limpieza de la caldera.

A tener en cuenta:

- Mejora los ratios fuel/aire y por consiguiente mejora la eficiencia.
- Superficies más limpias, lo que reduce las pérdidas en conductos.
- Disminución de las pérdidas por radiación.
- Mejor funcionamiento del quemador → Ahorro de fuel.
- Periodo de retorno menor de un año.

2.1.1.2 Incorporación de un economizador.

Descripción: Un economizador es un intercambiador de calor consistente en una serie de tubos por los que circulan agua de alimentación localizado en la sección de salida de gases, de manera que absorben una porción del calor de los gases de combustión, que de otra forma se perdería. Esta energía recuperada proporciona un calentamiento adicional del agua de alimentación y, por tanto, reduce la cantidad de combustible que es necesario quemar para producir vapor, generando un ahorro energético y económico. Los economizadores también pueden ser empleados para calentar agua necesaria en otros procesos, fuera del ciclo de agua de la caldera.

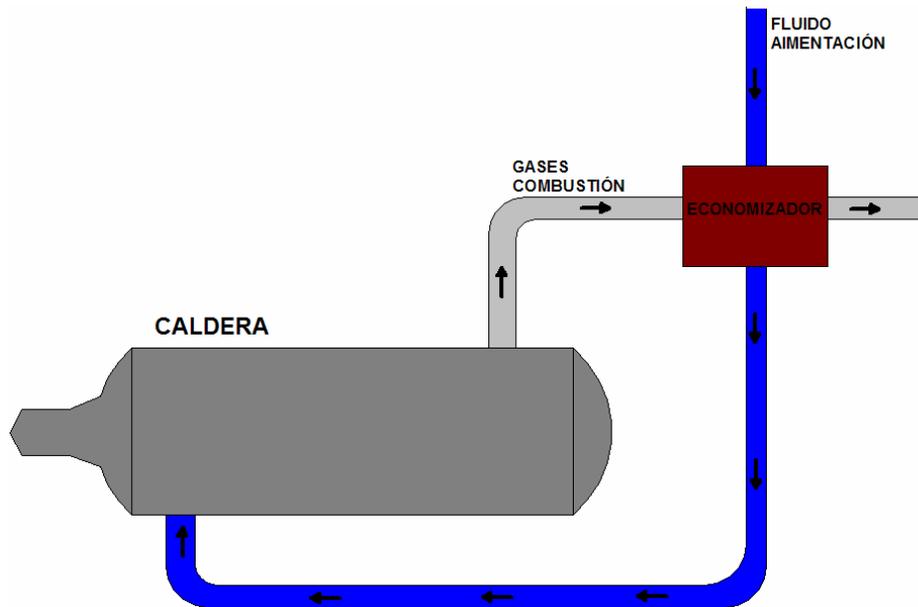


Fig.2.3. Esquema de una caldera con economizador.

Generalmente en las unidades de tamaño industrial se suelen elegir economizadores, mejor que precalentadores de aire, por las siguientes razones:

- La energía recuperada de los gases se transforma directamente en potencia útil, ya que se transfiere al agua, y es, por tanto, un ahorro directo de combustible.
- Coste inicial más bajo.
- No impacto sobre las emisiones de NO_x .
- Necesidades de energía auxiliar mínimas (ligeros incrementos en las necesidades para el bombeo del agua de alimentación y la impulsión del aire de combustión).

El economizador se emplea preferiblemente en calderas acuotubulares o piro-tubulares de potencia superior a 2 MW. Un economizador es más económico que un precalentador de aire para calderas pequeñas, de baja presión con una producción por debajo de 22700 kilogramos de vapor por hora. Esto se debe a que el economizador, al calentar el agua de alimentación a la caldera, está aportando potencia útil directamente mientras que el precalentador de aire no lo hace. El precalentador de aire competirá con el economizador en unidades mayores y la elección se hará en base a los factores mencionados en el apartado anterior.



Fig. 2.4. Economizador

Factores de diseño

En este apartado se exponen los factores de diseño de un economizador y otras cuestiones que han de ser tenidas en cuenta al utilizar un economizador para mejorar el rendimiento de la unidad.

1. Tamaño.

La transferencia de calor es más elevada cuando la diferencia de temperaturas entre los gases de combustión y el agua de alimentación es mayor. Como el agua de alimentación está a una temperatura inferior a la del agua de la zona convectiva de la caldera, la absorción de calor de los gases de combustión es más efectiva en el economizador que en dicha zona. Los diseños actuales de calderas han utilizado este hecho para aumentar la superficie del economizador, disminuyendo la superficie de la caldera. La superficie del economizador representa generalmente del 25 al 30 % y del 40 al 60 % de la superficie de caldera para aplicaciones con y sin precalentador de aire respectivamente. Esta superficie está limitada por la diferencia de temperatura de salida entre los gases y el agua de alimentación.

2. Localización.

Los economizadores pueden clasificarse como integrados o separados.

- a. Los integrados consisten en bancos de tubos horizontales o verticales colocados dentro de la caldera. Los tubos verticales se asemejan a los bancos de tubos de la caldera y frecuentemente están conectados a los tambores. Los horizontales se posicionan en filas escalonadas.
- b. Los economizadores separados se localizan aguas abajo de cualquier región convectiva y fuera de caldera. Normalmente se colocan horizontalmente. Los gases de combustión pueden pasar a contracorriente o en flujo cruzado con paso simple o múltiple. Se prefiere la disposición a contracorriente ya que reduce la necesidad de área y las pérdidas.

3. Tubos.

Los tubos de los economizadores están fabricados generalmente con hierro fundido o acero y con tamaño comprendido entre 19 y 50 mm de diámetro exterior. Los tubos de acero se emplean en aplicaciones de elevada presión y ofrecen las ventajas de menor espesor, necesidades de espacio más pequeñas, conductividad más elevada y coste inicial más bajo.

El hierro fundido se utiliza en aplicaciones de baja presión, especialmente en aquellas en las que la corrosión sea posible. A veces se usa una combinación de los dos materiales cuando se desea máxima resistencia a la corrosión interna y externa.

4. Temperatura de salida del agua del economizador.

La temperatura máxima de salida del agua del economizador normalmente se mantiene de 35 a 75 grados por debajo de la temperatura de saturación para prevenir la evaporación, el golpe de ariete y el choque térmico. A veces, una temperatura del agua de alimentación a la caldera demasiado elevada puede ocasionar problemas de cavitación en las bombas de impulsión del agua.

5. Corrosión interna.

Los economizadores están sujetos a corrosión interna debido al oxígeno disuelto y a la baja concentración de iones de hidrógeno. Como la temperatura del agua de alimentación aumenta al pasar por el economizador, el oxígeno deja de estar en solución y ataca la superficie interior de los tubos. El agua de alimentación es, por tanto, precalentada a 100 °C mediante el uso de un calentador desgasificador para eliminar el oxígeno disuelto. Se mantiene un valor de pH para el agua de alimentación comprendido entre 8 y 9 recirculando agua de la caldera a la entrada del economizador.

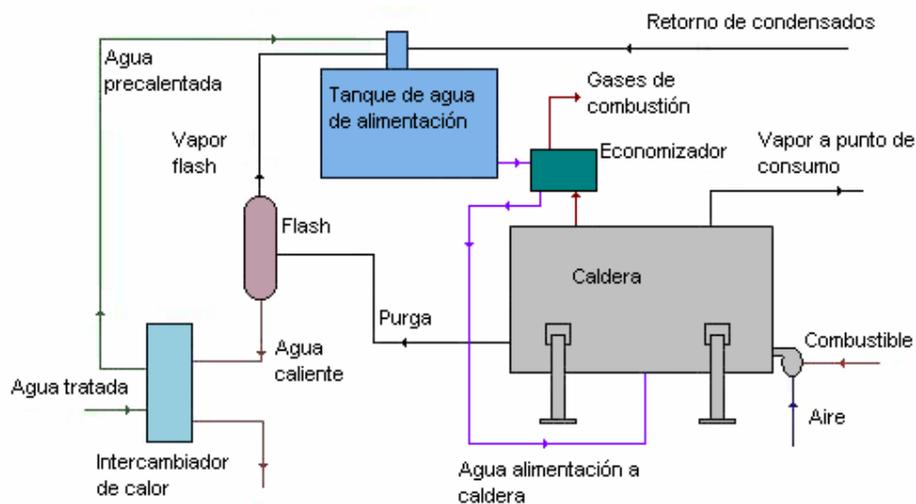


Fig. 2.5. Esquema de sala de calderas

6. Corrosión externa.

Puede ocurrir corrosión en el exterior de los tubos si los gases de combustión alcanzan su temperatura de rocío. Por tanto, el agua de alimentación debe entrar al economizador con una temperatura igual o superior a 100 °C para evitar la posible condensación de los gases.

7. Saltos de temperaturas.

El salto de temperatura del agua en los economizadores suele ser de 5,5 – 7 °C

A tener en cuenta:

- Recuperación y aprovechamiento del calor sensible de los gases de salida de la combustión.
- Esta medida es apropiada tanto para calderas de gas como de fuel.
- Apropiado para calderas pirotubulares de más 2 MW.
- Instalación a cargo de una empresa especializada.
- Consultar a distribuidores/fabricantes sobre información técnica.
- El coste está entre L1500 y L50000 más L5000-L10000 de instalación.
- El periodo de retorno suele sobrepasar los dos años.
- El mantenimiento es similar al de la caldera.
- Existen ayudas y subvenciones para la instalación de economizadores y accesorios a calderas.
- Es una gran inversión, pero reduce el consumo de combustible de la caldera en un 4-7%.

2.1.1.3 Instalación de una compuerta de tiro.

Descripción: Normalmente la eficiencia de las calderas se mide para unas ciertas condiciones de operación. Pero en cambio cuando la caldera se encuentra en stand by la eficiencia suele ser mucho menor. Una compuerta de tiro, cuando está cerrada, previene tanto que se escape calor de la caldera hacia el exterior, así como que se produzcan infiltraciones de aire frío.

Cuando una caldera se encuentra en stand-by hay un continuo flujo de aire a través de la caldera dado que se produce una convección natural proveniente de las superficies calientes en el intercambiador de la caldera. Este calor es

eliminado del producto y por lo tanto se contabiliza como una pérdida, que escapa por el tiro al exterior del edificio.

The Estates Department of Walsall Community Health Trust ha reconocido que el calor perdido por encontrarse una caldera en stand-by es una de las mayores pérdidas que tienen instalaciones en que por las condiciones de suministro y operación las calderas permanezcan mucho tiempo en stand-by.

La única manera de prevenir las pérdidas de calor en calderas debido a la convección natural, cuando estas se encuentran en stand-by, es la instalación de compuertas de tiro automáticas. El concepto de fiabilidad es importante, es decir, ¿podría no abrirse la compuerta cuando la caldera comience a trabajar a plena carga? Existiría la posibilidad de que se produjese un crecimiento de gas inquemado y una mezcla explosiva o una atmósfera tóxica (monóxido de carbono) en la habitación de las calderas.

Estos problemas de seguridad son resueltos mediante una robusta construcción que consiste en la instalación de un doble interruptor que previene el funcionamiento a plena carga a menos que la compuerta se encuentre completamente abierta. El dispositivo ha sido evaluado y certificado por la American Gas Association según las normas ANSI. Actualmente no existen unas especificaciones especiales para las compuertas de tiro en UK.

Estas compuertas fueron introducidas en USA en 1974 y usadas por muchas industrias con aplicaciones de calderas de gas y fuel-oil y también en aplicaciones residenciales. Hay cientos de sitios en UK donde las compuertas han sido instaladas, incluidos edificios públicos, establecimientos comerciales e industriales. La primera instalación en UK se llevó a cabo en 1981.

Instalada directamente en el tiro de la caldera, la compuerta previene las pérdidas de calor cuando el quemador está en stand-by, evitando pérdidas de calor producidas por el tiro natural creado por el calor de la caldera.



Fig. 2.6. Compuerta de tiro electromecánica.

A tener en cuenta:

- Elimina el calor perdido por el tiro cuando la caldera está en stand by.
- El ahorro es muy significativo (12%).
- Apropiado en calderas tanto de fuel como de gas.
- La instalación puede correr a cargo de una subcontrata. No se precisa que la instale el fabricante.
- Reduce las pérdidas de calor y emisiones de CO₂, NO y NO₂.
- Coste L500-L2000.
- Periodo de retorno de 2 años.
- El mantenimiento es mínimo.
- En casos de avería abrir mecanismos de seguridad para evacuar los gases.

2.1.1.4 Uso de CHP

Descripción: Aplicado a la generación de potencia se refiere a la generación de electricidad y vapor (o calor) simultáneamente a partir del mismo combustible, generalmente para satisfacer todas las necesidades de las instalaciones industriales para las cuales ha sido diseñado.

La generación combinada de calor y potencia se realiza en la misma planta. Este método reduce el consumo total de combustible evitando que de otra

manera se pierda calor utilizando la generación de electricidad convencional. Proporciona calentamiento de bajo grado para uso industrial.

A tener en cuenta:

- La instalación de una unidad de CHP tiene un alto coste, pero generalmente suele estar financiada la tercera parte del coste.
- CHP es una tecnología testada con altos niveles de ahorro energético y beneficios medioambientales.
- La eficiencia global de una unidad de CHP puede ser superior al 80%.
- Proporciona una gran seguridad de suministro donde una interrupción es inadmisibile.
- Existen incentivos y subvenciones para la instalación de este tipo de equipos.

2.1.1.5 Recuperar calor de purgas.

Descripción: La recuperación del revaporizado de las purgas tiene dos ventajas. Además de recuperar el calor, el revaporizado condensado es agua 'pura', reduciendo la cantidad de agua tratada y el tratamiento químico. Por término medio, se puede recuperar alrededor del 50% del calor transportado por el agua de purgas.

La recuperación de calor de la purga puede llevarse a cabo con el empleo de un intercambiador, un tanque flash o ambos equipos conjuntamente, empleando el calor recuperado en el intercambiador para precalentar el agua de alimentación.

Cualquier caldera con un sistema de purga continuo que supere el 5 % de la tasa de vapor, es buena candidata para instalar un sistema de recuperación de calor. Los mayores ahorros de energía ocurren en calderas de presión elevada.

La siguiente tabla muestra la recuperación de calor potencial de la purga de la caldera.

Calor recuperado (kW)					
Purga (% alimentación)	Presión de operación (bar)				
	3,5	7	10	17	21
2	132	146	161	190	190
4	264	293	322	380	380
6	380	439	498	556	586
8	498	586	644	761	790
10	644	732	820	937	966
20	1288	1464	1640	1874	1932

Tabla 2.4. Calor recuperado de la purga.

1) Recuperación mediante flash de vapor.

El sistema de recuperación de calor más simple consiste en instalar un tanque flash en el que se separan las fracciones de vapor y agua de la corriente de purga. La corriente bifásica de purga se ha formado al pasar por la válvula de purga como consecuencia de la reducción de la presión. El vapor que se separa es puro y se puede llevar al tanque de agua de alimentación directamente o tras utilizar su contenido energético, recuperando aproximadamente el 50 % del calor contenido en la purga. Para evitar que este vapor arrastre gotas con un contenido elevado de sólido, el tanque flash debe diseñarse de manera adecuada para lo cual se debe tener en cuenta lo siguiente:

1. El diseño debe permitir una caída de velocidad suficiente para permitir una separación del vapor y el condensado por gravedad, normalmente se toma una velocidad menor de 15 m/s.
2. La altura del tanque debe ser adecuada para evitar arrastres de agua en el vapor flash. Normalmente se recomienda una altura mínima de un metro sobre el nivel del agua.

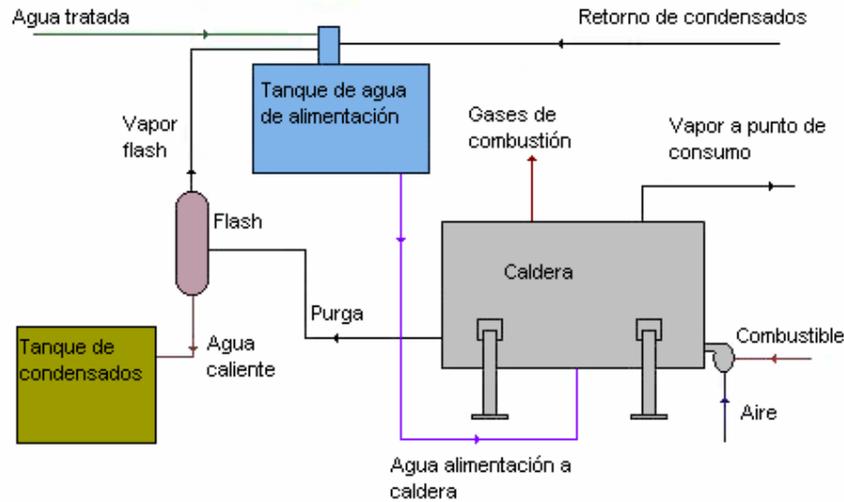


Fig. 2.7. Recuperación mediante flash de vapor.

2) Recuperación mediante intercambiador.

Consiste en precalentar el agua tratada empleando el agua de purga como fluido calefactor. La recuperación de calor mediante el uso de un intercambiador se da cuando es inevitable la contaminación del agua de alimentación por cualquier otro sistema de recuperación y suele ser empleado en calderas de baja presión con cantidades de purga pequeñas. La siguiente figura muestra un esquema de este sistema.

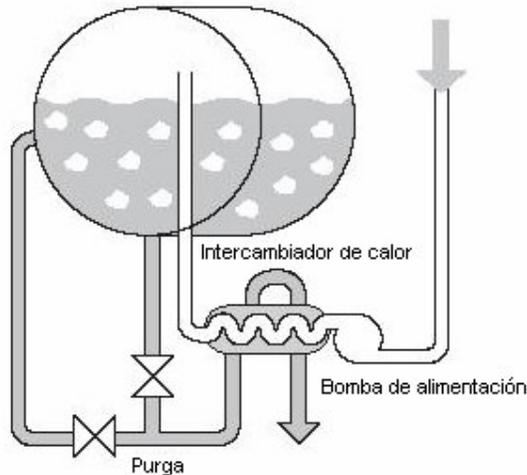


Fig. 2.8. Recuperación del calor de purga con intercambiador.

3) Recuperación mediante vapor flash e intercambiador.

Si se combinan los dos sistemas, tanque flash e intercambiador, de manera que el condensado que se separa en el tanque flash se hace pasar por el intercambiador, se aprovecha además el contenido energético de esta corriente caliente, que suele estar a una temperatura próxima a los 105 °C, para

combustible fósil. Este control persigue dos objetivos: liberar la mayor cantidad de energía posible del combustible, provocando una combustión completa con el adecuado exceso de aire, y minimizar la cantidad de energía perdida por la chimenea con los humos procedentes de la combustión.

El factor más determinante en la combustión de cualquier combustible es el exceso de aire, ya que existe un mínimo teórico necesario para la combustión completa, que normalmente se supera en una cantidad que marca la buena práctica de estos equipos y que depende del tipo de combustible. El exceso de aire debe ser controlado ya que a medida que crece, y una vez conseguida una combustión completa, su aumento sólo provoca que crezcan las pérdidas de energía con los gases expulsados.

En la siguiente tabla se muestra el exceso de aire recomendado y el contenido de oxígeno de los gases de combustión para diferentes combustibles.

Combustible	Exceso de aire (%)		O ₂ en gases (%)	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Gas Natural Fuel oil	10,0	15,0	2,0	2,7
Ligero	12,5	20,0	2,3	3,5
Pesado	20,0	25,0	3,3	4,2
Carbón	30,0	50,0	4,9	7,0

Tabla 2.5. Exceso de aire recomendado para distintos combustibles

En la siguiente gráfica se muestran las relaciones de CO₂ y O₂ que corresponden a diferentes combustibles para distintos excesos de aire. Se observa que el contenido en O₂ es prácticamente igual para todos los combustibles para los distintos valores del exceso de aire, por lo que los equipos de control de la combustión pueden realizar el ajuste de la relación aire combustible midiendo únicamente el O₂ en los gases, evitando la medida combinada de dos compuestos en gases.

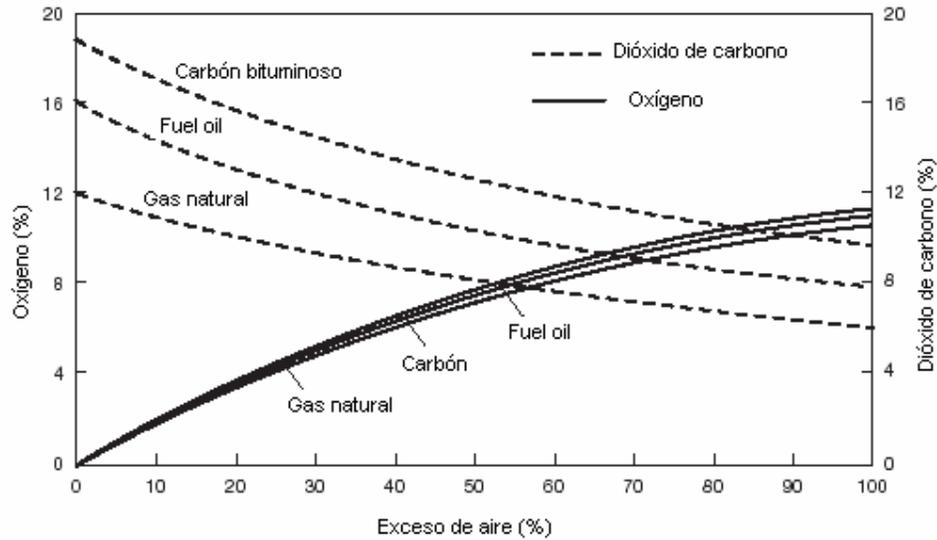


Fig.2.10 . Relación entre O₂, CO₂ y exceso de aire

Si se introduce más oxígeno del necesario para la combustión, además de disminuir la eficiencia, se pueden incrementar las emisiones de NO_x.

Todas las calderas tienen algún equipo para controlar la combustión, sea un sistema de control manual simple o un sistema computarizado altamente sofisticado. La elección del sistema de control se hace en base a lo siguiente:

- Capacidad de generación de vapor.
- Demanda de vapor y fluctuaciones esperadas en el caudal de vapor.
- Niveles de rendimiento esperado que hará necesario sistemas más sofisticados para una eficiencia de operación más elevada.
- Costes.
- Regulación de contaminación que puede necesitar operaciones con pequeño exceso de aire para minimizar las emisiones de NO_x.

El control de la combustión se suele realizar en continuo, para lo que se instalan analizadores en la salida de los gases de combustión que miden el oxígeno contenido en estos y en función de ello regulan la cantidad de aire y de combustible que entra al quemador. Junto al analizador de oxígeno se puede instalar un analizador de monóxido de carbono (CO), ya que este es un indicativo de que la combustión se está llevando a cabo de manera incompleta. Los analizadores de oxígeno pueden ser de distintos tipos:

- Analizadores de oxígeno de absorción química: Son los más comunes y baratos. Se emplean para comprobaciones periódicas y para el ajuste del sistema de control.
- Analizadores con sensores de zirconio: Son analizadores más modernos que proporcionan una lectura directa del porcentaje de oxígeno. Estos analizadores generan un potencial eléctrico, a través de un proceso electroquímico, que es proporcional al nivel de oxígeno presente en el lugar en el que se ha tomado la muestra.



Fig. 2.11. Analizadores de oxígeno de circonio

El controlador, que tiene actuadores independientes para el flujo de aire, recibe la señal del analizador y, en función de la diferencia entre esta y la señal de referencia, actúa sobre la regulación del aire. El punto de referencia dado al controlador es una función de la carga de la caldera y normalmente se encuentra en torno al 10-15% para cargas pequeñas y al 2-3% para carga máxima.

El inconveniente que presenta este control continuo de la combustión basado en la medida del oxígeno en los gases de combustión es que no logra una operación a la máxima eficiencia, sino que establece un nivel de exceso de oxígeno en función de un determinado valor de CO, del que se necesitan ciertos límites. No se consigue la relación aire/combustible más eficiente porque incluye también un margen de seguridad.

Este sistema de control normalmente se aplica a calderas pirotubulares y acuotubulares por encima de los 2 MW y con una producción superior a 4500 kg/h de vapor. Es muy importante en calderas con elevada temperatura de los gases de combustión en chimenea.

El precio de este equipo se sitúa entre 4281 y 7135 € y tiene un periodo de retorno que suele estar comprendido entre 2 y 5 años.

A tener en cuenta.

- Reduce el exceso de aire proporcionando mejores ratios fuel/aire.
- Mantiene los niveles establecidos durante todo el año.
- Apropiado para calderas de gas, pedir información a fabricantes de quemadores para calderas que utilicen otros combustibles.
- Apropiado para calderas pirotubulares de mas de 2 MW.
- La instalación debe correr a cargo del fabricante del quemador.
- El coste es de L3000-L5000.
- El periodo de retorno normalmente esta comprendido entre 2 y 5 años.
- Requiere una calibración anual.
- Existen incentivos y subvenciones para la instalación de este dispositivo.

2.1.1.7 Sistema de control TDS.

Descripción: Al producir vapor este está libre de impurezas y la concentración de sólidos disueltos en el agua de la caldera se eleva a menos que se purgue. Los TDS (total de sólidos disueltos) en la caldera deben controlarse con precisión. Un nivel alto de TDS puede producir arrastres del agua e impurezas de la caldera con el resultado de problemas en la producción y la planta. Un nivel bajo de TDS es debido a una purga excesiva con el consiguiente gasto en fuel y químicos para el tratamiento del agua.

Además es recomendable completar el sistema con un sensor de conductividad. El medidor de conductividad compensada por temperatura es un instrumento esencial a tener en la sala de calderas para verificar los niveles de TDS del agua de caldera y del agua de alimentación y para calibrar los instrumentos de control.



Fig. 2.12. Control de TDS y Sensor de Conductividad.

A tener en cuenta.

- Se tienen completamente controlados los niveles de TDS.
- Reduce las purgas.
- Ahorro de un 1-2% de combustible.
- Apropiado para cualquier tipo de caldera.
- El coste aproximado es de L2000.
- El periodo de retorno típico es de 3 a 5 años.
- Revisión anual y calibrado mensual.
- La instalación debe correr a mano del fabricante.
- Existen subvenciones para la instalación de dichos equipos.

2.1.1.8 Precalentamiento del aire de la combustión.

Descripción: Esta medida de ahorro persigue calentar el aire de combustión, previamente a su entrada en la caldera, con los gases de salida de la caldera, aumentando así el aporte energético a la caldera y disminuyendo el consumo de combustible para la misma potencia a transferir. El rendimiento de la caldera se verá mejorado para cualquier carga como resultado de la disminución de la temperatura de los gases de salida. Otro beneficio adicional sería una mejora de las condiciones de combustión en el quemador al permitir operar con un exceso de aire más bajo.

Los precalentadores de aire pueden ser utilizados, desde el punto de vista económico, en plantas con producciones tan bajas como 11500 kilogramos de

vapor por hora. Normalmente se emplean en calderas de producción de potencia y no se utilizan nunca en las calderas pirotubulares al no estar diseñadas para ello. Esta medida de ahorro será preferiblemente aplicada a aquellos procesos que alcancen unas temperaturas próximas a los 870 °C. Si no se superan los 540 °C, no es muy rentable su aplicación. Para procesos que operen a una temperatura comprendida entre estos dos valores, habrá que estudiar cada caso concreto para conocer la viabilidad.

La elección entre un precalentador de aire y un economizador (para precalentar agua de alimentación) para las unidades más grandes se realiza en base a los siguientes aspectos:

- La temperatura de los gases de combustión.
- Los costes de instalación y operación.
- El tipo de caldera y su colocación.
- La presión del vapor de operación, que puede limitar la temperatura máxima del agua de alimentación y, por tanto, la aplicación de un economizador.
- Las propiedades corrosivas del gas de combustión (tipo de combustible), que va a condicionar la temperatura más baja de estos gases (punto de rocío).
- Las necesidades de mantenimiento.

A veces se incorporan ambos equipos, precalentador y economizador, en las unidades más grandes con presión de vapor alrededor de 28 bar.

Los precalentadores de aire se clasifican como recuperadores o regeneradores.

a) Recuperadores.

En los recuperadores, el calor se transfiere directamente desde el gas, situado a un lado de una superficie de separación estacionaria, al aire, colocado al otro lado de esta superficie. Esta superficie de separación puede ser diseñada como una superficie plana o tubular. También están incluidos en este tipo los intercambiadores de serpentín de vapor que se utilizan a veces para precalentar el aire de combustión antes de entrar al precalentador principal.



Fig. 2.13. Recuperador.

Las ventajas de un recuperador serían las siguientes:

- Se puede colocar en una amplia variedad de posiciones físicas.
- Contaminación limitada entre corrientes.
- No necesita energía externa.
- No contiene partes móviles.

Un inconveniente de este tipo de precalentadores es el efecto que causan los depósitos de hollín en la eficiencia de transferencia de calor debido a la dificultad de limpieza de las zonas ensuciadas.

b) Regenerador.

Transfiere el calor de los gases al aire de combustión a través de un medio de almacenamiento de calor intermedio. Las ventajas de este tipo de unidad incluyen:

- Adaptabilidad a distintas posiciones.
- Son compactas y más ligeras que los recuperadores comparables.
- Pasos de flujo cortos que reducen ensuciamiento.
- Transferencia de calor no afectada por los depósitos de hollín.
- Pueden operar con temperatura de salida de gases más baja que los recuperadores.

Las desventajas que presenta serían:

- Contaminación cruzada.
- Necesidad de energía externa.

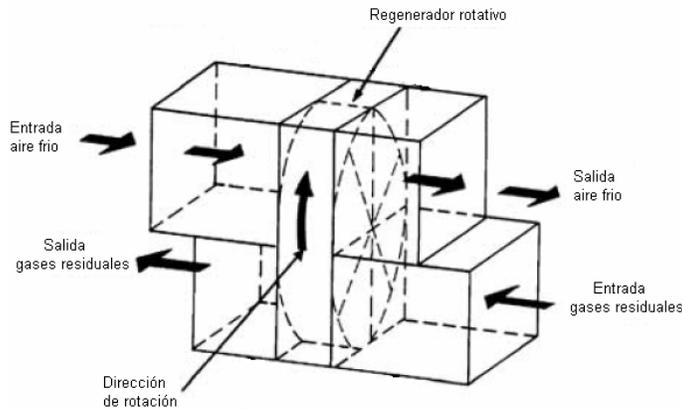


Fig. 2.14. Regenerador rotativo

c) Tubos de calor (Heat pipes).

Un tercer tipo de precalentador de aire consiste en el empleo de un intercambiador de calor que contiene tubos de calor (heat pipe). Este tipo de sistemas se adaptan muy bien a las calderas industriales y ofrecen las siguientes ventajas:

- No hay contaminación cruzada.

- No necesita energía externa o partes móviles.
- Mantenimiento mínimo.

La principal desventaja es una temperatura de operación máxima de 316 °C que limitaría su aplicación. Se recomienda *bypasear* los gases de combustión para evitar una posible corrosión a baja carga y sobrecalentamientos de los elementos de las tuberías de calor a carga elevada.

Los factores a tener en cuenta a la hora del diseño son los siguientes:

a) Impacto sobre emisiones de NO_x.

Es bien conocido que el incremento de la temperatura del aire de combustión afecta a la emisión de óxidos de nitrógeno (NO_x), particularmente para el gas natural. Para el rango de diseño de calderas industriales, el NO_x incrementa de 20 a 100 ppm por cada 38 °C de aumento de la temperatura del aire de combustión. Condiciones de combustión mejoradas en la cámara de combustión, que dan como resultado una menor necesidad de exceso de aire, tenderían a suavizar este incremento en los niveles de NO_x ya que este contaminante disminuye con menores cantidades de aire en exceso.

b) Materiales.

La temperatura más baja de los gases de combustión a la salida del precalentador de aire se limita para prevenir la condensación de la humedad en las superficies de transferencia, que llevaría a una corrosión por ácido sulfúrico y a unas reparaciones caras. Los factores que afectan a este límite inferior de temperatura incluyen:

- Contenido de azufre del combustible.
- Contenido de humedad de los gases de combustión.
- Tipo de combustible.
- Temperatura del aire ambiente.

Esta temperatura inferior de los gases de combustión puede controlarse mediante una o más de las siguientes actuaciones:

- *Bypasar* una porción del aire de entrada alrededor de las superficies de calentamiento, por ejemplo en los arranques.
- Recircular una porción de aire caliente de la salida del precalentador a la entrada de aire del mismo.

- Usar un serpentín de vapor en el conducto del aire colocado aguas arriba del precalentador principal.

La corrosión puede también ser controlada usando materiales resistentes como hierro fundido o aceros inoxidable, o bien recubriendo las superficies metálicas con un esmalte.

Los depósitos de cenizas en las superficies de transferencia de calor también contribuyen a la corrosión. Estas cenizas provocan que la temperatura de la superficie metálica descienda, ocasionando la condensación de la humedad de los gases de combustión sobre estas superficies debido a la porosidad de las cenizas. Este condensado se combina con el ácido de la ceniza y promueve la rápida corrosión. Para eliminar los depósitos de cenizas se utilizan sopladores de hollín que emplean vapor o aire como agente de limpieza.

La vida de las superficies de transferencia de calor en un precalentador de aire depende de la prevención de la corrosión y del contenido de azufre del combustible empleado. La vida media oscila de 4 o 5 años para combustibles con alto contenido de azufre a 20 años para el gas natural.

c) Temperatura máxima de los gases de combustión.

La temperatura a la cual el aire de combustión puede ser precalentado está limitada por la temperatura del gas que entra, el tipo de conducto y equipo de quemado, y por la construcción del horno. La temperatura máxima del aire de combustión suele estar comprendida entre 120-180 °C para quemadores de parrilla y será superior a 370 °C para quemadores de carbón pulverizado.

d) Tamaño del precalentador de aire.

Las dimensiones físicas del precalentador de aire se determinan por el tipo y dimensiones de los pasos de aire y gases, por el espacio disponible para el precalentador, tipo de quemador, la temperatura final deseada del aire de combustión y de los gases, las necesidades de flujo de aire y gases y las necesidades de caída de presión.

e) aspectos adicionales.

Además de la mejora lograda en la eficiencia total de la caldera y el ahorro de combustible, los precalentadores de aire ofrecen las siguientes ventajas:

- Mejora la eficiencia de la combustión, lo cual da como resultado una menor cantidad de aire en exceso necesario para la combustión completa y un caudal de gas menor a través de la unidad.
- Ayuda a estabilizar la ignición del combustible, permitiendo una mayor flexibilidad en la carga mejorando las operaciones a baja carga.

- Aumenta la temperatura de la cámara de combustión y la tasa de absorción de calor originando una capacidad de producción de vapor más elevada pero limitada por la capacidad de separación de vapor del tambor.
- Da como resultado una combustión más completa del combustible produciendo gases más limpios.

Los inconvenientes de los precalentadores de aire incluyen lo siguiente:

- Incrementa los costes de mantenimiento de la cámara de combustión y del alimentador de combustible.
- La acumulación de depósitos puede restringir el paso de los gases en el precalentador, lo cual provoca una mayor pérdida de carga del conducto de humos y puede causar serios problemas en casos extremos.

A tener en cuenta.

- Permite utilizar el aire caliente del ambiente como aire de combustión.
- Se pueden alcanzar ahorros de 1-2%.
- Recomendable para calderas de gran tamaño.
- La instalación puede ir a cargo de un chapista local.
- El coste típico es de L1000-L5000.
- El periodo de retorno típico es mayor de tres años.
- El mantenimiento es mínimo.

2.1.2 Red de distribución de vapor.

En la siguiente tabla se exponen una lista de Medidas de Ahorro Energético referidas a redes de distribución de vapor que muestra un estimado periodo de retorno, ahorro energético típico y el coste de inversión basado en recientes estudios.

MEDIDA	PERIODO DE RETORNO*	POT. AHORRO**	INVERSIÓN***
Reducción de fugas	Corto	2	Bajo
Eficiencia energética a través de conductos y diseño de la instalación	Corto	7	Bajo
Aislar tuberías, válvulas y demás accesorios	Medio	1	Medio
Correcto mantenimiento de trampas de vapor	Medio	4	Ninguno
Elegir correctamente el tipo y tamaño de las trampas de vapor	Medio	5	Medio
Identificar e implementas las posibles recogidas de condensado	Largo	3	Media
Tanques flash y otros procesos de recuperación de calor	Largo	6	Alto
Medición y seguimiento del vapor	Largo	8	Media

*El periodo de retorno esta dado como Corto, Medio o Largo donde: Corto < 1 año, Medio de 1 a 3 años y Largo > 3 años.

**En el ahorro 1 representa la medida que ofrece mayor potencial de ahorro.

***La inversión está dispuesta en diferentes categorías que son: Baja < 3000€, Media entre 3000€ y 15000€ y Alta > 15000€.

Tabla 2.6. Medidas de Ahorro Energético en Redes de distribución de vapor.

2.1.2.1 Reducción de fugas.

Descripción: Un problema de gran importancia con el que sistemáticamente tiene que enfrentarse todo operador de una caldera de vapor a la hora de producir energía es el de aparición de fugas inesperadas en el circuito de generación de vapor de la misma.

Por un lado, el problema aparece de forma inesperada, resultando muy difícil, por no decir imposible, la predicción precisa del mismo.

En segundo lugar, una fuga se caracteriza por ser un problema que, una vez que aparece, siempre crece en magnitud y consecuencias, y nunca se puede esperar que remita por sí solo autocorrigiéndose.

En tercer lugar, se puede dejar de considerar que los efectos de una fuga afectan no solo al punto del circuito en que se produce, sino que con mucha frecuencia causan daños en otros elementos de la caldera que se encuentran en las proximidades.

Una cuarta consideración es la económica. Por un lado la existencia de fugas en el circuito supone una pérdida de rendimiento del sistema, y a su vez la corrección del problema implica una parada de la caldera cuyas repercusiones económicas superan con creces cualquier otra consideración.

Una quinta consideración es la de seguridad para las personas ante los riesgos de una explosión. Dado el nivel de presión que se maneja en el circuito, normalmente se tiene una idea de cómo empieza una fuga, como un pequeño agujero por el que empieza a salir un chorro de vapor, pero sin embargo nunca tenemos tan claro como puede terminar el proceso en caso de que lo dejemos mucho tiempo sin tratar.

Diversos estudios energéticos revelan que reducir las fugas de vapor constituye uno de los mayores potenciales de ahorro energético y económico en las instalaciones industriales. Principalmente hay dos tipos de pérdidas de vapor. Por un lado están las fugas en las tuberías y por otro están las fugas en los purgadores.

Las fugas debidas a fallos en las tuberías pueden ser la mayor fuente de pérdidas de vapor en una instalación. Sin embargo, son fácilmente detectables y se eliminan con rapidez, sobre todo debido al riesgo que provocan para los operarios. En cambio, el mal funcionamiento de los purgadores es más difícil de observar, especialmente en sistemas de condensación cerrados en donde no es fácil acceder al punto de descarga del purgador para hacer una inspección visual.

Un programa de mantenimiento basado en la búsqueda y reparación de las fugas es esencial para una operación eficiente de los sistemas de vapor.



Fig. 2.15. Purgador en mal estado que deja escapar vapor y condensado.

a) Fugas en tuberías.

Los componentes de una red de tuberías de vapor fallan como consecuencia de un diseño inapropiado, factores externos o por efecto de la corrosión.

Desde un punto de vista energético, las fugas en las tuberías deben ser eliminadas porque representan un gasto de la energía suministrada por el combustible, pero generalmente son cuestiones de seguridad las que obligan a suprimirlas

Las reparaciones más efectivas tienen lugar cuando el sistema está fuera de servicio y despresurizado, ya que permiten que el equipo de mantenimiento tenga un buen acceso hacia el componente dañado. De todas formas, a veces surgen situaciones en las que la planta no puede detener su funcionamiento. En estos casos, se suele inyectar un material plástico antitérmico que sella la fuga. Este material puede trabajar con temperaturas de hasta 500 °C y presiones de 150 bar.

Normalmente, el procedimiento de reparación de la fuga se decide basándose en el coste del trabajo a realizar. Si la magnitud de la fuga fuera conocida, esto permitiría aclarar qué forma de reparación es más apropiada.

Un aspecto importante que hay que identificar es la cantidad de vapor fugado. El flujo de vapor que fluye a través de una fisura o hendidura es un problema complejo. Sin embargo, existen tablas que proporcionan, de forma aproximada, la cantidad de vapor que escapa por una fuga. Así, la tabla V15 indica el caudal de vapor (kg/h) que sale por un orificio anguloso en función de la presión del vapor y el diámetro medio del agujero.

Diámetro medio del orificio (mm)	Presión del vapor (bar manométricos)						
	3.5	7	10	14	17	21	24
3	10.3	18.6	26	34.8	43	54	60
6	41	73	106	139	173	216	243
9	93	166	234	314	390	487	547
13	166	296	426	558	693	868	973
19	373	664	960	1258	1560	1952	2189
25	663	1182	1706	2236	2772	3470	3892
32	1036	1846	2665	3494	4332	5420	6081
38	1492	2659	3838	5030	6238	7805	8757

Tabla 2.7. Caudal de vapor (kg/h) que sale por un orificio.

Suponiendo un precio del vapor de 10 €/kg, se obtiene la siguiente tabla en la que muestra la pérdida económica (€/h) producida por una fuga de vapor, en función de la presión del vapor y del diámetro medio del orificio.

Diámetro medio del orificio (mm)	Presión del vapor (bar manométricos)						
	3.5	7	10	14	17	21	24
3	103	186	260	348	430	540	600
6	410	730	1060	1390	1730	2160	2430
9	930	1660	2340	3140	3900	4870	5470
13	1660	2960	4260	5580	6930	8680	9730
19	3730	6640	9600	12580	15600	19520	21890
25	6630	11820	17060	22360	27720	34700	38920
32	10360	18460	26650	34940	43320	54200	60810
38	14920	26590	38380	50300	62380	78050	87570

Tabla 2.8. Pérdida económica (€/h) producida por una fuga de vapor.

b) Fugas en purgadores.

La agencia estadounidense para la protección del medio ambiente (U.S. EPA), tras realizar auditorías energéticas en 104 plantas y analizar unos 17000 purgadores, observó que el 17% de los mismos no cerraban correctamente y dejaban escapar el vapor vivo, y un 7% estaban bloqueados y no drenaban el condensado. Así, las pérdidas medias en las plantas eran de 137.3 toneladas de vapor al año.

Las causas más comunes de un mal funcionamiento de los purgadores suelen ser la existencia de suciedad en el sistema, un tamaño inapropiado o una aplicación no adecuada.

Principalmente hay dos tipos de fallos que causan un importante impacto económico.

Purgador abierto.

El primer fallo se produce cuando el purgador no cierra y se queda abierto dejando salir vapor vivo a la atmósfera.

2. Purgador cerrado.

El segundo fallo ocurre cuando el purgador permanece cerrado y no drena el condensado, impidiendo su salida. Entonces, si el purgador está instalado en un equipo de intercambio, se formará una película de condensado que constituye una barrera a la transferencia de calor, por lo que el producto a calentar no recibirá la energía prevista. Además, el condensado puede ocasionar un golpe de ariete dañando a la tubería por la que circula.

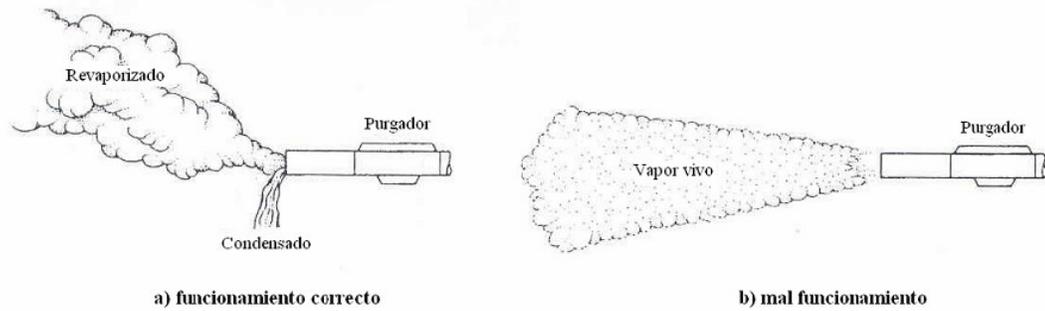


Fig. 2.16. Diferencia entre un purgador funcionando adecuadamente y otro que está abierto y deja escapar el vapor vivo.

Hay varios métodos para comprobar el funcionamiento de los purgadores. Los más empleados son:

1. Inspección visual.

Consiste en observar el efluente que sale del purgador.

En purgadores de descarga intermitente, como por ejemplo los termodinámicos o algunos de flotador y boya, se observa sin dificultad el aspecto del efluente y la frecuencia de las aperturas y cierres. Esta frecuencia suele ser de 2 ó 3 veces por minuto, siendo el tiempo de descarga de 1 ó 2 segundos.

En los purgadores de descarga continua, este tipo de control se ve obstaculizado por el revaporizado que sale junto al condensado. Para distinguir si el vapor que sale es revaporizado o vapor vivo, se analizan dos parámetros. En primer lugar, hay que ver la velocidad con la que sale el efluente, ya que ésta es mucho mayor cuando hay vapor vivo. En segundo lugar se mira el aspecto de la pluma de vapor que sale. Como se aprecia en la figura V19, si el vapor tiende a irse hacia arriba nada más salir del purgador, es revaporizado. Si en cambio sigue la misma dirección que la descarga del purgador, entonces es vapor vivo.

En sistemas cerrados de condensación, es necesario situar válvulas en la tubería de descarga del purgador para aislar la descarga del purgador del resto del sistema de condensación. Además, se precisa una válvula para permitir que el purgador descargue a la atmósfera y poder observar su funcionamiento.

Para que esta técnica sea efectiva, el inspector tiene que estar familiarizado con las condiciones de descarga de los diferentes tipos de purgadores presentes en la instalación.

2. Control por mirillas.

La mirilla es un accesorio que se instala después del purgador para comprobar el funcionamiento del mismo, detectando fácilmente la posible pérdida de vapor sin necesidad de abrir el purgador.

3. Análisis térmico.

Aquí se determina la temperatura aproximada a la que el fluido entra y sale del purgador. Tanto la presión del vapor como la forma de operar del purgador deben ser conocidas para una correcta utilización de este método. Además, en los purgadores termostáticos hay que conocer el grado de subenfriamiento del condensado.

En general, la temperatura medida aguas arriba del purgador debe ser ligeramente superior a la medida aguas abajo del mismo. Una temperatura demasiado baja delante del purgador significa que hay condensado retenido, por lo que debe limpiarse el filtro o sustituir, si fuese necesario, las partes internas del purgador. El purgador está funcionando incorrectamente y deja escapar vapor vivo si la temperatura medida aguas arriba del purgador es próxima a la del vapor vivo y, además, es similar a la medida aguas abajo. Aquí, la solución es cambiar o reparar el purgador.

4. Control acústico.

Es una técnica basada en escuchar el paso de la corriente que atraviesa el purgador. El ruido de fondo y la similitud de sonido entre el vapor vivo y el vapor flash pasando a través del purgador merman la efectividad de este método.

Hoy día se suelen utilizar equipos de ultrasonido que funcionan en base a la distinta frecuencia de ruido que se produce cuando el vapor o el condensado pasa a través de un estrechamiento. Este sistema es muy útil en redes cerradas que no dispongan de mirillas.

En numerosos casos, el uso de estos equipos requiere práctica para discernir con claridad las señales acústicas correspondientes al buen o mal funcionamiento de cada tipo de purgador.

Actualmente se han desarrollado componentes para el control de purgadores que incluyen varios de los métodos antes comentados. Por ejemplo, puede colocarse un dispositivo portátil que determina una señal térmica y otra acústica del purgador, y la compara con una base de datos en donde están contenidos los valores de esas señales cuando el funcionamiento es correcto.

Los intervalos de inspección de los purgadores dependen de la presión de trabajo. Para sistemas que operan en alta presión (más de 10 bar) se recomienda que las inspecciones sean semanal o mensualmente. Para media

presión (entre 2 y 10 bar) deben ser mensual o cuatrimestralmente y en baja presión (menos de 2 bar) anualmente.

La colocación de derivaciones (by-pass) alrededor de los purgadores provoca, habitualmente, fugas importantes de vapor. Si bien una derivación puede ser muy útil, nunca se la debe considerar un buen método para descargar aire o condensado. Algunas veces se instalan derivaciones a los purgadores para mejorar las condiciones de puesta en marcha pero cabe el riesgo de que, voluntaria o involuntariamente, queden abiertas en marcha normal. Una válvula utilizada para aperturas parciales se erosiona fácilmente y deja pasar vapor aún manteniéndola totalmente cerrada. Lo que se debe hacer es dimensionar correctamente los purgadores para evitar la necesidad de instalar derivaciones.

Suponiendo que en algún caso no hubiese más remedio que instalar una derivación, debe tenerse en cuenta que el diámetro de la misma no debe ser el de la tubería a la que se conecta, sino el idóneo para descargar el caudal necesario. Este diámetro es siempre inferior al de la tubería, puesto que el purgador también descarga. Limitando el diámetro de las derivaciones al mínimo exigible, se pueden limitar también fugas cuando aquellas quedan abiertas.

Para minimizar las pérdidas de vapor por fugas en los purgadores, es conveniente desarrollar un programa para controlar al conjunto de purgadores. El programa debe incorporar las siguientes actividades:

- Preparación del personal.
- Localizar e identificar cada purgador.
- Establecer un sistema e control periódico de purgadores.
- Crear un almacén de repuestos.
- Desarrollar una base de datos de los purgadores.

Los análisis de los purgadores deben ser llevados a cabo por personal con conocimientos en la operación y selección de purgadores. A su vez, el programa debería cubrir los siguientes aspectos:

- Operación de los purgadores.
- Selección (tipo y tamaño).
- Instalación.
- Retorno de condensados.

A tener en cuenta:

- Las fugas de vapor son muy costosas.
- Una fuga por un agujero de 3mm de diámetro a una presión de 10 bar puede gastar el equivalente a 180,000kWh de gas.
- Programas efectivos de mantenimiento de la instalación puede producir un ahorro muy significativo.
- La reparación de fugas no siempre implica una parada de la caldera.
- El periodo de retorno suele ser menor de un año.
- La reparación de fugas implica mayor seguridad en la instalación.

2.1.2.2 Eficiencia energética a través del diseño de la instalación.

Descripción: Los puntos más importantes a tener en cuenta a la hora de realizar el diseño de una instalación de producción de vapor son los siguientes.

a) Presión de la generación del vapor.

El vapor debería ser generado a la presión necesaria para ajustarse al máximo a lo requerido por los equipos del sistema. En la práctica la presión se elige estableciendo un compromiso entre los costes de producción y la eficiencia global del sistema.

Los beneficios de la distribución a alta presión se indican a continuación:

- La distribución de vapor a alta presión minimiza el tamaño de las tuberías. A medida que la presión crece, el volumen específico del vapor disminuye. A presión atmosférica 1 kg de vapor ocupa 1.67 m³, pero a 7 bar tan solo ocupa 0.24 m³, por lo que para su transporte se puede seleccionar una tubería de menor tamaño. La reducción del diámetro de los conductos redundará en una disminución de los costes de instalación.
- La distribución de vapor a altas presiones minimiza la cantidad de material aislante requerida. Aunque esto está relacionado con tuberías de pequeño diámetro, este beneficio no siempre se consigue dado que, como se produce un incremento de la temperatura del vapor, el espesor mínimo de aislamiento establecido para esa temperatura puede que sea mayor.

Por otro lado, la distribución a altas presiones también tiene sus desventajas:

- Las pérdidas de vapor por fugas son mayores. En general, las pérdidas crecen proporcionalmente al aumento de la presión.

- El potencial de producir vapor flash aumenta, y esto va a producir una pérdida menos que se tenga una red paralela de menor presión donde se pueda inyectar este vapor flash.
- Las pérdidas caloríficas son mayores. Estas crecen aproximadamente proporcionalmente con la temperatura de saturación del vapor. Por ejemplo, las pérdidas caloríficas por m^2 a 10 bar son alrededor de un 15% mayores que a 5 bar.
- El vapor de baja presión obtenido a partir de una válvula de reducción ha de ser enfriado antes de ser usado en algún proceso. Cuando la presión de un volumen de vapor saturado se reduce, el calor contenido no se pierde. Como la temperatura de saturación a una presión menor también será menor, este exceso de calor se invierte en el recalentamiento del vapor. En procesos donde la temperatura máxima es un parámetro crítico del proceso, este exceso de calor ha de ser eliminado. Por lo tanto este calor se puede cuantificar como una pérdida, reduciendo la eficiencia global de la instalación.

Determinar la presión más apropiada para instalaciones de pequeño tamaño es relativamente simple: bastaría con identificar los requerimientos del equipo que trabaje a menor presión, a menos que se prevean futuras ampliaciones de la instalación, en cuyo caso habría que tenerlas también en cuenta.

Para instalaciones donde solo una pequeña cantidad de vapor a alta presión se requiere pero donde grandes cantidades de vapor a una presión menor es utilizado, la posibilidad de separar las dos líneas debería ser considerada. Un generador de vapor a alta presión dedicado a los equipos que trabajen con vapor de alta presión puede ser la opción energéticamente más eficiente.

ALTA PRESIÓN = Fugas y pérdidas de vapor flash.

BAJA PRESIÓN = Pérdidas de calor en superficies.

b) Tuberías redundantes.

Cualquier sistema de distribución de vapor necesita ser revisado regularmente. Esto no es un requerimiento anual pero debería realizarse al menos cada cinco años.

En cualquier revisión de una red de distribución de vapor, el primer paso sería la eliminación de las tuberías redundantes. En muchas ocasiones, una importante cantidad de conductos nunca transportan vapor o solo lo hacen en raras ocasiones. Esto parece inevitable porque nunca hay suficientes válvulas en la instalación y además, nunca están en las zonas donde es necesario cortar las tuberías que no se usan. Estos conductos redundantes, en cambio, están a la misma temperatura que el resto de la instalación, por lo que se

producen las mismas pérdidas caloríficas. Además, esas líneas tienen muy poca preferencia cuando se realizan tareas de mantenimiento de las instalaciones. Todo este calor, por tanto, escapa de la instalación incrementando la necesidad de ventilación y por tanto, aumentando la carga térmica del lugar.

Las tuberías de gran diámetro transportan pequeños volúmenes de vapor y son muy ineficientes: en muchos casos las pérdidas de calor son mayores que las cargas del proceso.

Investigaciones llevadas a cabo a lo largo de UK han demostrado que, en instalaciones antiguas, se puede reducir la longitud de tuberías en torno a un 10-15%. Además, el coste de instalación de conductos apropiadamente aislados puede ser recuperado en un corto periodo de tiempo

CONDUCTOS REDUNDANTES DESPERDICIAN ENERGÍA.

c) Tamaño de los conductos.

Una vez que la presión del sistema ha sido determinada, las tuberías deben ser dimensionadas correctamente. Si el conducto es demasiado pequeño, una cantidad insuficiente de vapor puede ser suministrada al proceso. Si el conducto es demasiado grande las pérdidas de calor serán muy grandes dado que la superficie de transferencia es mayor. De las dos maneras, la eficiencia global de la instalación disminuye. Dimensionar adecuadamente el diámetro de las tuberías significa seleccionar el diámetro que proporciona la pérdida de presión mínima aceptable entre la caldera y el destino.

Durante mucho tiempo se han usado una serie de simples reglas para determinar el tamaño de las conducciones para una determinada operación. Esos criterios han sido evaluados en situaciones actuales y generalmente todavía proporcionan resultados satisfactorios.

El método más simple conlleva el cálculo de la velocidad del vapor en el interior del conducto para obtener el caudal de vapor. La única información que se requiere es el volumen específico del vapor para la presión de distribución escogida, que puede ser obtenido directamente de las tablas termodinámicas del vapor de agua. El otro factor que es necesario conocer es la calidad del vapor, si es húmedo o sobrecalentado. El vapor húmedo contiene gotitas de agua que pueden causar daños por corrosión cuando estas golpean tuberías y accesorios. El vapor sobrecalentado no contiene gotas de agua por lo que no se producen estos daños de erosión: unas velocidades de transporte mayores pueden ser usadas.

Las directrices principales para el diseño son las siguientes:

- Velocidad del vapor sobrecalentado 50-70 m/s.

- Velocidad del vapor saturado 30-40 m/s.
- Velocidad del vapor húmedo 20-30 m/s.

Otras de las razones para mantener el diámetro de las tuberías al mínimo son el coste y las pérdidas de calor. Usando un conducto de 75 mm de diámetro en vez de uno de 50 mm el capital y costes de aislamiento crecen en aproximadamente el 50%. Las pérdidas de calor también son mayores en aproximadamente la misma proporción.

CONDUCTOS PEQUEÑOS = Requerimientos alta presión = Más pérdidas

CONDUCTOS GRANDES = Mayor superficie → Mayores pérdidas

d) Guía de trazado u puntos de drenado.

El hecho de que el vapor se produce a partir de agua y que ésta es relativamente barata y abundante se define como una ventaja; el hecho de que al enfriar el vapor este se convierte en agua, no lo es. El condensado en una línea de vapor es al menos una molestia, pero puede ser potencialmente desastroso. El condensado que se forma en el fondo de una línea reduce la sección transversal del conducto aumentando la velocidad del vapor así como de la lengua de condensado, y aumenta la caída de presión. Esta corriente de condensado a alta velocidad tiene más dificultad para pasar a través de codos y accesorios de la instalación en casos extremos esta agua puede causar fallos de accesorios, como válvulas, así como la ruina de algunos conductos.

Si el condensado avanza hasta el interior de los equipos del proceso seguramente causará diversos daños en estas. El vapor húmedo forma una capa de agua en las superficies de transferencia de calor reduciendo la efectividad de los equipos. Esto también provoca un aumento de la corrosión y del coste de mantenimiento tanto de la red de distribución como de los equipos. El exceso de condensado ha de ser eliminado mediante las trampas de vapor.

Un buen trazado de la red de distribución de vapor asegura que habrá una correcta eliminación del condensado en la instalación antes de que cause algún daño. Para que esto se produzca es necesario que las tuberías estén instaladas de manera que permitan conducir el condensado a los puntos de drene.

Las líneas generales para un efectivo drenado del condensado y un buen trazado de la red de vapor se muestran a continuación.

- La conducción principal de vapor no debe tener una caída en dirección del flujo menor de 125 mm por cada 30 m. con esto se asegura que el condensado siempre discurre hasta el próximo punto de drenado.

- Los puntos de drenado deben de estar dispuestos a intervalos de 35 – 45 m a lo largo de la línea de reparto principal. Estas distancias pueden variar en función de las condiciones características de cada instalación.
- El condensado siempre debe ser recogido en un punto bajo de la instalación.
- Se deben instalar colectores en cada punto de drenado de la línea principal. El método más simple es la instalación de un conector en forma de “T”, la rama inferior hará de colector.
- La elección de la trampa de vapor adecuada es uno de los factores más importantes.
- Todas las ramas deben salir de la zona superior de la línea de distribución, para impedir así la evacuación de condensado por dichas ramas.
- Las tuberías junto con su aislamiento son muy pesadas, por lo que deben ser soportadas a intervalos regulares. Si esto no se realiza, las conducciones se pueden combar formando zonas bajas donde se acumula en condensado.
- Al comienzo de la operación y cuando se realiza una parada los conductos se dilatan y se contraen, si esto no se tiene en cuenta, las tensiones que se generan en las líneas pueden causar que algunas se rompan o aparezcan grietas. También es importante realizar un estudio de la fatiga que sufren estas líneas.
- Todos los equipos de vapor funcionan mejor si el vapor es seco, por lo que en ocasiones un equipo de secado es esencial.

DRENADO INSUFICIENTE =

- **Golpe de agua**
- **Aumento del mantenimiento**
- **Mala transferencia de calor**
- **Desperdicio de energía**

A tener en cuenta.

- El diseño de conductos afecta considerablemente a la eficiencia de la instalación.

- Conductos menores de los necesarios provocan grandes descensos de presión.
- Conductos sobredimensionados suponen grandes pérdidas de calor y aumentan el coste de instalación y aislamiento.
- La elección de los niveles óptimos de presión ahorra energía y dinero.
- Un diseño pobre puede afectar a la calidad del vapor y al correcto funcionamiento del proceso.
- El condensado puede reducir la transferencia de calor y reduce la eficiencia global del proceso.
- Un diseño pobre puede afectar a la seguridad.
- Conductos redundantes gastan energía y dinero.

2.1.2.3 Aislar conductos, válvulas y demás accesorios.

Descripción: Las razones por las cuales se viene utilizando el aislamiento térmico en la industria se pueden resumir en:

- Necesidades de proceso.
- Seguridad de personas y bienes.
- Reducción de pérdidas energéticas.
- Reducción de la contaminación ambiental.

Una instalación mal aislada representa un peligro para el personal, pudiendo llegar a producir averías a otros aparatos e incluso incendios.

Una instalación deficientemente aislada reporta pérdidas cuantiosas de energía, o lo que es lo mismo, económicas.

Se consigue la amortización del material aislante en periodos de tiempo muy cortos.

El cálculo del espesor óptimo de aislante se corresponde con un problema de minimizar el coste de su instalación. Por un lado, mientras mayor sea el espesor, menores serán las pérdidas de calor, por lo que la cantidad de vapor que condensa también será menor. Sin embargo, cuanto mayor sea la cantidad de aislante que se coloca, más grande será el coste de su instalación.

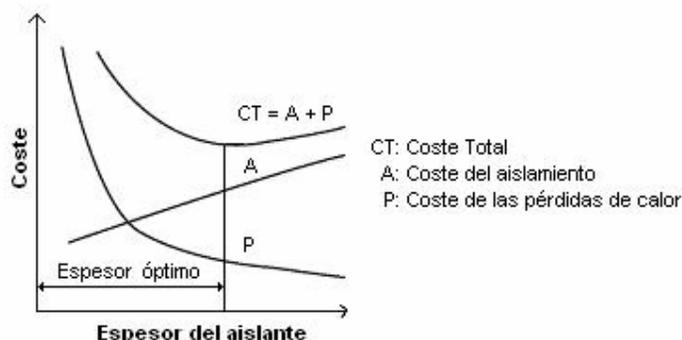


Fig. 2.17. Obtención del espesor de aislante óptimo.

Las pérdidas energéticas debidas a la falta de aislamiento o a su deterioro dependen de la diferencia de temperatura entre el vapor que circula por el interior y el aire exterior, de las velocidades de ambas corrientes, del material, espesor, diámetro, longitud y color exterior de la tubería, de su ubicación y de las condiciones térmicas del exterior.

La tabla V17 muestra las pérdidas térmicas (W/m lineal de tubería) en tuberías horizontales desnudas con temperaturas ambiente entre 10 y 21 °C y aire encalmado.

Diferencia de temperatura entre el vapor y el aire (°C)	Diámetro de la tubería (mm)								
	15	20	25	32	40	50	65	80	100
56	54	65	79	103	108	132	155	188	233
67	68	82	100	122	136	168	198	236	296
78	83	100	122	149	166	203	241	298	360
89	99	120	146	179	205	246	289	346	434
100	116	140	169	208	234	285	337	400	501
111	134	164	198	241	271	334	392	469	598
125	159	191	233	285	321	394	464	555	698
139	184	224	272	333	373	458	540	622	815
153	210	255	312	382	429	528	623	747	939
167	241	292	357	437	489	602	713	838	1093
180	274	329	408	494	556	676	808	959	1190
194	309	372	461	566	634	758	909	1080	1303

Tabla 2.9. Pérdidas térmicas (W/m lineal de tubería) en tuberías horizontales desnudas.

Frecuentemente, en las operaciones de reparación, el aislante queda dañado o se quita y no se repone. Además, como consecuencia de fugas en válvulas, tuberías o purgadores, el aislante absorbe humedad. Todo esto debe evitarse ya que reduce, sensiblemente, la efectividad del calorifugado.

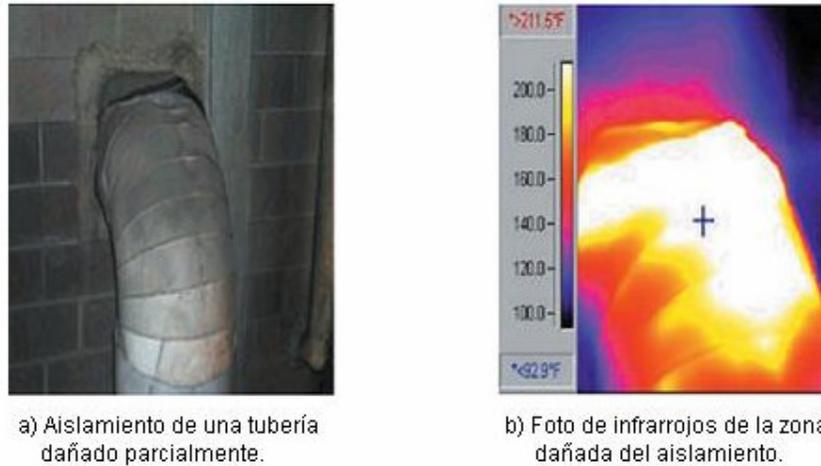


Fig. 2.18. Foto de infrarrojos de un aislamiento dañado.

En las válvulas, juntas y demás accesorios es conveniente colocar un aislante reutilizable, es decir, que se pueda quitar y volver a colocar denominado “envoltura aislante”. Generalmente, este tipo de calorifugado es una lámina gruesa compuesta por un cubrimiento interior no combustible, una capa de aislante y un cubrimiento exterior no combustible que es también resistente a la abrasión y a la rotura. Los materiales utilizados son resistentes al agua y al aceite, y pueden ser diseñados para aguantar temperaturas de hasta 870 °C. Como consecuencia de la geometría irregular y compleja de las válvulas, purgadores y demás accesorios, las láminas se colocan mediante cables amarrados o bien utilizando correas y hebillas.



Fig. 2.19. Aislamiento de accesorios con envoltura aislante.

Cada unión no aislada equivale aproximadamente a 0.6 m de tubería desnuda. En particular, una única unión de 0.15 m sin calorifugar tiene unas pérdidas de casi 21.6 GJ/año. Suponiendo un coste del vapor de 10 €/kg, esta pérdida energética representa un coste de 100 €/año aproximadamente

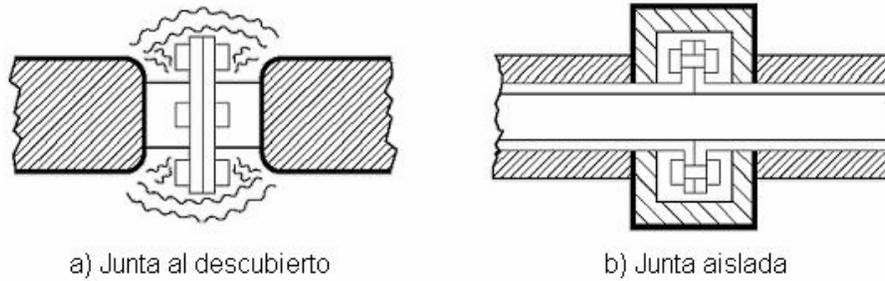


Fig. 2.20. Diferencia entre junta aislada y junta desnuda.

A continuación se van a describir las características básicas de los materiales más usuales que se utilizan como aislantes.

1. Silicato de calcio: Es un material denso y rígido que trabaja con temperaturas comprendidas entre 380 y 650 °C. Está compuesto por cal y silicio, y se refuerza con fibras orgánicas e inorgánicas. Posee una buena resistencia a la flexión y a la compresión. Absorbe el agua, aunque puede ser secado sin que deteriorarse. Es un material no combustible y suele utilizarse en tuberías a altas temperaturas. Su conductividad es 0.063 W/m·K a 150°C, y su densidad varía entre 85 y 215 kg/m³.



Fig. 2.21. Medias cañas de silicato de calcio.

2. Vidrio celular: Es un material denso y rígido que trabaja con temperaturas comprendidas entre -260 y 205 °C. Posee una dureza estructural buena y una pobre resistencia a impactos. Es un material no combustible y resistente a la corrosión por bastantes productos químicos. Debido a su estructura de células cerradas, se suele emplear en superficies de baja temperatura. Como no absorbe fluidos, es idóneo para aplicaciones en donde la absorción de líquidos por el aislante sea un problema. Su conductividad es 0.08 W/m·K a 150°C, y su densidad varía entre 125 y 150 kg/m³.



Fig. 2.22. Medias cañas de vidrio celular.

3. Lana mineral: Es un material compuesto por numerosas fibras unidas en capas. Puede adoptar diversas formas. Trabaja con temperaturas de hasta 850 °C. Tiene un pH neutro, es no combustible y posee buenas cualidades para el aislamiento acústico. Su conductividad térmica es 0.037 W/m·K a 20°C, y su densidad varía entre 8 y 300 kg/m³.



Fig. 2.23. Cañas de lana mineral.

4. Perlita expandida: Está hecha a partir de una roca volcánica silíceo e inerte, combinada con agua. La roca es expandida mediante un calentamiento, provocando que el agua se evapore y que el volumen de la roca aumente. Esto crea una estructura celular compuesta por diminutas células de aire rodeadas de producto vitrificado. Se le añade un inhibidor de agua para que no absorba la humedad ambiental, y fibras inorgánicas para reforzar la estructura. Opera con temperaturas medias y altas (hasta 650 °C), tiene una baja contracción y una alta resistencia a la corrosión, es no combustible y suele estar disponible en formas rígidas prefabricadas o en bloques. Su conductividad térmica depende, además de la temperatura, de la densidad de la perlita. Por ejemplo, a 20°C y con una densidad de 60 kg/m³ su conductividad es 0.035 W/m·K.

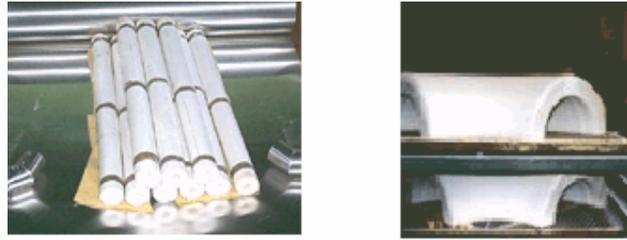


Fig. 2.24. Bloques y medias cañas de perlita expandida.

5. Elastómeros: Consiste en un material celular flexible hecho a partir de espuma de resinas combinadas con elastómeros. Solo sirve para aplicaciones de baja temperatura puesto que su máxima temperatura de trabajo es 105 °C. Posee una alta flexibilidad y una baja permeabilidad al agua y al vapor. Se le suele poner una capa de material ignífugo para aumentar su resistencia al fuego. Su conductividad térmica es 0.04 W/m·K a 20°C, y su densidad varía entre 15 y 150 kg/m³.

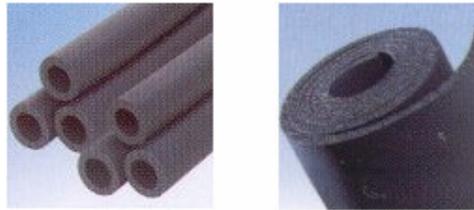


Fig.2.25. Tubos y rollos de elastómeros.

6. Cemento aislante: Consiste en una mezcla de fibras y capas de aislante combinadas con agua y cemento. Esto forma una masa plástica suave que se aplica en superficies irregulares. Posee unas características aislantes moderadas (conductividad térmica: 0.12 W/m·K) y se suele emplear en aplicaciones de media y alta temperatura (hasta 650 °C).
7. Aislantes cerámicos: Estos materiales son una efectiva barrera a la transferencia de calor, se pueden colocar directamente sobre las superficies calientes sin necesidad de parar la instalación, su mantenimiento y reparación son sencillos, pueden ser recubiertos por capas de poliuretano o resina epoxi, son resistentes a la corrosión por productos químicos, pueden aislar superficies con temperaturas comprendidas entre 1 y 177 °C, su adhesión a las superficies y su flexibilidad son excelentes, así pueden colocarse en tuberías, depósitos, purgadores, juntas y válvulas. La principal limitación que poseen es que no pueden utilizarse en zonas donde la temperatura ambiente sea inferior a 0 °C.



Fig. 2.26. Ejemplo de instalación recubierta con aislante cerámico.

A tener en cuenta.

- Los principales conductos de retorno de vapor y condensado no suelen estar aislados.
- Juntas, válvulas y demás accesorios no suelen estar aislados.
- El calor perdido por purgadores no aislados o poco aislados pueden reducir la eficiencia global en un 10%.
- El aislamiento de todo tipo de accesorios es una de las medidas más económicas de obtener un importante ahorro económico.
- Estudios termográficos pueden ser la clave para la identificación de elementos que deben ser aislados.
- Pérdidas de calor pueden suponer pérdidas de miles de euros.
- El periodo de retorno típico es inferior a un año.
- Invertir en el aislamiento de líneas de vapor es invertir en seguridad.

2.1.2.4 Correcto mantenimiento de las trampas de vapor.

Descripción: Una trampa de vapor es un dispositivo que permite eliminar: condensado, aire y otros gases no condensables, además de prevenir pérdidas de vapor.

- *Eliminación de condensado:* El condensado debe pasar siempre, rápido y completamente a través de la trampa de vapor para obtener un mejor aprovechamiento de la energía térmica del vapor.
- *Eliminación de aire y otros gases no condensables:* El aire y los gases disminuyen el coeficiente de transferencia de calor. Además, se debe tener presente que el O₂ y el CO₂ provocan corrosión.
- *Prevención de pérdidas de vapor:* No deben permitir el escape de vapor sino hasta que este ceda la mayor parte de energía que contiene, también las pérdidas de vapor deben ser mínimas mientras la trampa libera vapor condensado, aire y gases incondensables.

A continuación se van a describir las características de la descarga, los fallos típicos y sus posibles soluciones para los purgadores más utilizados comúnmente.

1. Purgador termodinámico.
 - Características de la descarga: Súbita e intermitente. Cierre total entre descargas.
 - Síntoma: el purgador pierde vapor.

Ver si se trata de suciedad, limpiar el filtro, el disco y el asiento. Si no mejora, es probable que se hayan deteriorado las superficies del asiento y del disco. En este caso se puede:

1. Mandar el purgador al fabricante para que lo repare.
2. Lapear asiento y disco según instrucciones del fabricante.
3. Cambiar asiento y disco si el purgador es del tipo de asiento recambiable.

Si la estadística dice que los purgadores termodinámicos en un punto determinado se desgastan con rapidez, hay que sospechar que o bien está sobredimensionado, o la tubería en que va montado tiene diámetro insuficiente, o la contrapresión es excesiva.

- Síntoma: el purgador no descarga condensado.

Puede ser debido a un bloqueo por aire, particularmente si el problema se presenta en un arranque. Hay que verificar la desaireación de la planta en general. En casos extremos, puede ser necesario instalar un eliminador de aire en paralelo con el purgador o utilizar, por ejemplo, un purgador de boya cerrada con elemento termostático en lugar de un purgador termodinámico.

2. Purgador termostático de presión equilibrada.

- Características de la descarga: Súbita e intermitente. Cierre total entre descargas.
- Síntoma: el purgador pierde vapor.

Aislar el purgador y dejar que se enfríe antes de verificar si se ha depositado suciedad en la válvula. Si el asiento se ha erosionado, cambiar todas las partes interiores, incluido el elemento termostático, puesto que el original se puede haber distendido por el paso continuo de vapor.

Si la válvula y el asiento están en buen estado, hay que ensayar el elemento termostático. Una vez frío no se le puede comprimir; si se observa blandura es señal de que está roto. Si las ondulaciones están algo aplanadas indica que ha habido daño por golpes de ariete. Si estos no se pueden eliminar, hay que instalar un purgador de otro tipo más robusto.

- Síntoma: el purgador no descarga condensado.

Probablemente el elemento se habrá extendido excesivamente, por una presión interior muy alta, y no puede levantar la válvula de su asiento. La deformación se puede haber producido por sobrecalentamiento o por apertura del purgador aún muy caliente y antes de que haya condensado el vapor contenido por el fuelle.

3. Purgador termostático de expansión líquida.

- Características de la descarga: Descarga continua cuando las cargas son estacionarias, altas y medias. Tendencia a la descarga súbita cuando las cargas son pequeñas.
- Síntoma: el purgador pierde vapor.

Verificar si hay suciedad o erosión en válvula y asiento. Si hay erosión, se deben cambiar todos los componentes interiores. Se ha de recordar que este tipo de purgador no se autoajusta cuando hay variaciones de presión. Si ha sido tarado para que cierre a presión alta no lo hará a presiones bajas. Por esto, si el purgador pierde vapor hay que tratar de tararlo para presiones más bajas vigilando que no se produzcan retenciones excesivas de condensado. Si no reacciona con la temperatura, hay que cambiar todos los componentes interiores.

- Síntoma: el purgador no descarga condensado.

Verificar que el ajuste del cierre no se haya realizado para una temperatura demasiado baja.

4. Purgador termostático bimetálico.

- Características de la descarga: Descarga continua variando según la tasa de formación de condensado. Tendencia a la descarga súbita cuando las cargas son pequeñas o muy variables.
- Síntoma: el purgador pierde vapor.

Como en los otros casos, se debe revisar que no haya suciedad ni erosiones en la válvula. Puesto que la presión que puede ejercer el bimetálico es limitada, el esfuerzo puede no ser suficiente para apretar la válvula contra su asiento si hay suciedad depositada.

Este tipo de purgador se suministra con un ajuste determinado que se puede ver afectado si la tuerca de ajuste se mueve. Verificar que este defecto no se ha producido.

Si las actuaciones anteriores no tienen ningún efecto, hay que cambiar todos los elementos internos.

- Síntoma: el purgador no descarga condensado+

Los purgadores bimetálicos tienen la válvula en el lado de salida por lo que si a algo tienden es a averiarse en posición de apertura. Si no descargan condensado es que o están muy descalibrados o hay obstrucción en la válvula o en el filtro.

5. Purgador de boya cerrada.

- Características de la descarga: Descarga continua variando según la cantidad de condensado que se forma, si bien tienden a tener un funcionamiento pulsante cuando las cargas son pequeñas.
- Síntoma: el purgador pierde vapor.

Ver si hay suciedad que impide el cierre correcto en la válvula o en el termostato. Si hay válvula antibloqueo por vapor, verificar que no haya quedado excesivamente abierta (un cuarto de vuelta es, en general, más que suficiente).

Comprobar que no se ha desalineado la palanca que lleva la válvula por funcionamiento brusco o golpes de ariete, lo cual podría impedir el cierre correcto. Verificar que la boya baja hasta su posición inferior sin rozar

con el cuerpo del purgador; si no fuese así, podría quedar la válvula abierta. La comprobación del elemento termostático debe efectuarse como en los purgadores de este tipo.

Los elementos interiores deben cambiarse todos de una vez tal como están agrupados en los recambios suministrados por el fabricante.

- Síntoma: el purgador no descarga condensado.

Verificar que la presión diferencial máxima de funcionamiento, marcada en el purgador, no sea inferior que la presión diferencial a la que está funcionando en realidad. Si es así, la válvula no puede abrir y hay que instalar el asiento del diámetro adecuado. Comprobar que los caudales que deseamos descargar coinciden con los que son posibles en la nueva situación.

Si la boya esta agujereada o deformada, no flota y la válvula permanece cerrada. El problema puede ser debido a golpes de ariete y hay que buscar su origen para remediarlo.

Verificar si trabajan correctamente el eliminador de aire y el antibloqueo por vapor, cuando lo hay.

6. Purgador de cubierta invertida.

- Características de la descarga: Súbita e intermitente con cierre total entre descargas, excepto cuando las cargas son pequeñas en que tiene tendencia a gotear.
- Síntoma: el purgador pierde vapor.

Comprobar que no se haya perdido el sello de agua. Aislar el purgador, esperar que se acumule condensado y ponerlo de nuevo en servicio. Si funciona bien, buscar el origen de la pérdida de sello. Puede ser debido a vapor muy sobrecalentado, a fluctuaciones súbitas de presión o a una defectuosa instalación del purgador que permite que el condensado salga por gravedad. Instalar una válvula de retención antes del purgador.

Si persiste la fuga, comprobar que no haya suciedad o erosiones en la válvula y sus enlaces. Reemplazar asiento, válvula y palanca.

Inspeccionar la cubeta. Si está alabeada o desalineada con la palanca significa que hay golpes de ariete. Buscar el origen del problema para eliminarlo.

- Síntoma: el purgador no descarga condensado.

Comprobar que la presión diferencial máxima marcada en el purgador no es inferior a la de servicio. Si fuese así, la válvula no puede abrir y hay que cambiar el asiento para que el diámetro del mismo sea el correcto. Se debe verificar que la capacidad de descarga en la nueva situación es la adecuada. Verificar también que el orificio de eliminación de aire no está obstruido con lo que se produciría bloqueo por aire.

A tener en cuenta.

- Tener fugas en las trampas puede suponer una disminución en la eficiencia superior al 15%.
- Programas eficientes de mantenimiento pueden producir importantes ahorros energéticos.
- Los ajustes de las trampas de vapor pueden ser rápidamente y efectivamente revisados.
- Test de ultrasonidos, conductividad y temperatura de coste efectivo son aplicables.
- Existen sistemas de monitorización automática.
- El periodo de retorno típico es menor que un año.

2.1.2.4 Correcta selección del tipo y tamaño de las trampas de vapor.

Descripción: Existen trampas de vapor de muy diversos tipos, de las que podemos destacar las siguientes.

- GRUPO MECÁNICO.
- GRUPO TERMODINÁMICO.
- GRUPO TERMOSTÁTICO.

Grupo Mecánico.

Las trampas de vapor del tipo mecánico trabajan con la diferencia de densidad entre el vapor y el condensado. Estas trampas trabajan mediante un flotador, el cual hace de válvula, en la que, cuando se acumula condensado ésta se abre descargándolo. Entre las trampas de este tipo tenemos:

- *Trampa de Flotador Libre.*
- *Trampa de Flotador y Palanca.*
- *Trampas de Balde.* De entre las que se pueden distinguir dos tipos.

- Trampa de Balde Abierto.
- Trampa de Balde Invertido.



Fig. 2.27. Trampas de Flotador libre y de Balde Invertido.

Grupo Termodinámico.

Este tipo de trampas de vapor opera con el principio de diferencia entre flujo de vapor sobre la superficie comparado con el flujo del condensado. Al entrar el vapor este viene con una velocidad mayor y el disco que usan como válvula se cierra, y este disco se abre al presentarse la baja velocidad del condensado.

Su funcionamiento es relativamente simple, ya que en su interior solo poseen una pieza en movimiento, un disco flotante.



Fig. 2.28. Trampa termodinámica en corte y disco.

Grupo Termostático.

Estas trampas operan mediante un sensor de temperatura, el que identifica la temperatura del vapor y del condensado. Como el vapor se condensa adquiere una temperatura menor que la del vapor, cuando ésta temperatura del condensado llega a un valor específico, la trampa abrirá para drenar el condensado. Entre algunas de este tipo se tiene:

- Trampa de Presión Balanceada.
- Trampa Tipo Bimetálico.



Fig. 2.29. Trampas de tipo Bimetálico y de Presión Balanceada.

A continuación se expone una tabla comparativa con los diferentes tipos de trampas.

TIPO DE TRAMPA	DESCARGA DE CONDENSADO	RESISTENCIA A CAMBIOS DE PRESIÓN	CAPACIDAD AL SOBRECALENTAMIENTO
Flotador Libre	Continua	Excelente	Sí
Termodinámica	Intermitente	Mediana	Sí
Termostática (Bimetal)	Intermitente	Mediana	Sí, si es pequeña
Termostática (Presión Balanceada)	Intermitente	Buena	No

Tabla 2.10. Diferencias entre las diferentes trampas de vapor.

Debido a la variedad de trampas presentes en el mercado es muy importante seleccionar para cada instalación la más apropiada, de acuerdo con las necesidades y condiciones de operación de la misma.

A tener en cuenta.

- Existen diferentes tipos de trampas para cada aplicación específica.
- Es muy importante elegir las trampas más apropiadas.

- El ahorro energético es tanto mayor cuanto mejor hayan sido dimensionadas y seleccionadas las trampas de vapor.
- Trampas de vapor sobredimensionadas suponen un gasto excesivo de energía, y por tanto, de dinero.
- Un correcto ajuste de las trampas de vapor puede reducir el gasto energético.
- Una correcta gestión de las trampas de vapor reduce gastos y ahorra dinero.

2.1.2.5 Identificar e implementar las posibles recogidas de condensado.

Descripción: El condensado que se forma en una red de vapor se puede recoger a dos niveles, a presión y a presión atmosférica.

a) Recuperación de condensado a presión.

El calor sensible del condensado se puede recuperar mediante la instalación de un depósito de condensado presurizado.

El calor sensible del condensado presurizado suele ser en torno al 25 % del calor total que posee el vapor saturado a su misma presión, por lo que es un recurso de gran valía y cuyo aprovechamiento es casi siempre rentable económicamente.

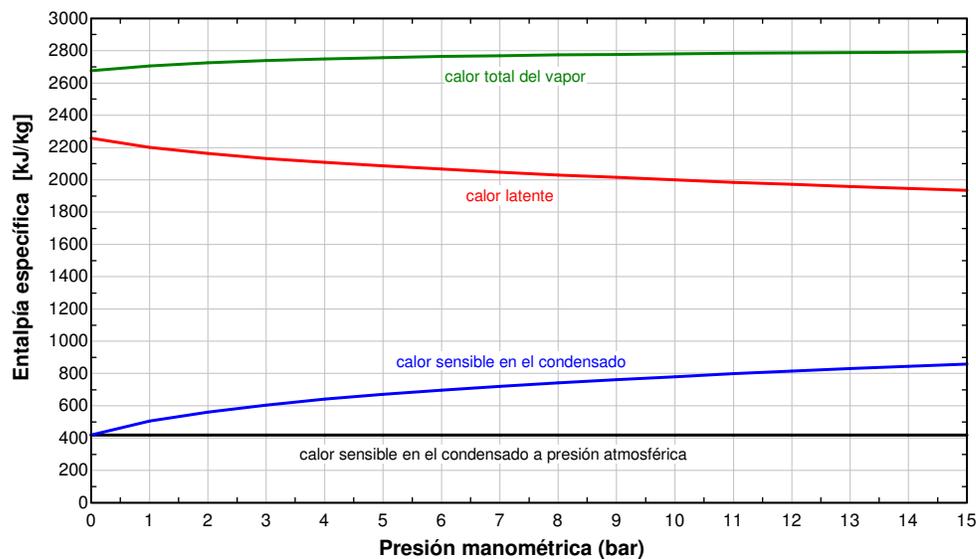


Fig. 2.30. Calores latente, sensible y total del vapor a diferentes presiones.

Como se aprecia en las figuras 2.30 y 2.31, cuanto mayor sea la presión del condensado, mayor será su calor sensible y mayor, por tanto, el interés de recuperarlo. Además, cuanto mayor sea la presión del depósito de condensado, menor será la cantidad de revaporizado formado, por lo que se reducen las pérdidas ya que este revaporizado se tira a la atmósfera.

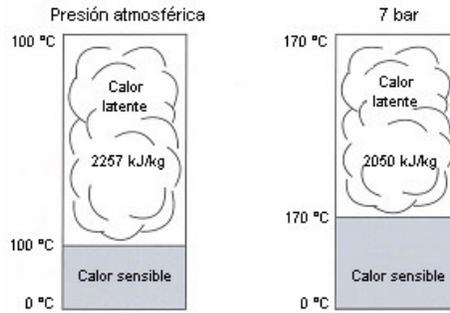


Fig. 2.31. Diferencia entre los calores latente y sensible a presión atmosférica y a 7 bar.

La instalación de recuperación de condensados a presión persigue retornar los condensados, a la mayor temperatura posible, hacia el generador de vapor, con el consiguiente ahorro económico que ello supone. En primer lugar, se reduce el consumo de agua de la red, con lo que se evita el coste energético de calentarla. Por otro lado, como los condensados están a una temperatura superior a 100 °C, no es necesario aplicarles ningún tratamiento químico para la eliminación del oxígeno, ya que a partir de dicha temperatura el agua no es capaz de retener ningún gas en disolución, como se aprecia en la figura V5. Si además el condensado es de gran pureza, también se reducen las purgas en la caldera, disminuyendo las pérdidas de energía asociadas a ellas.

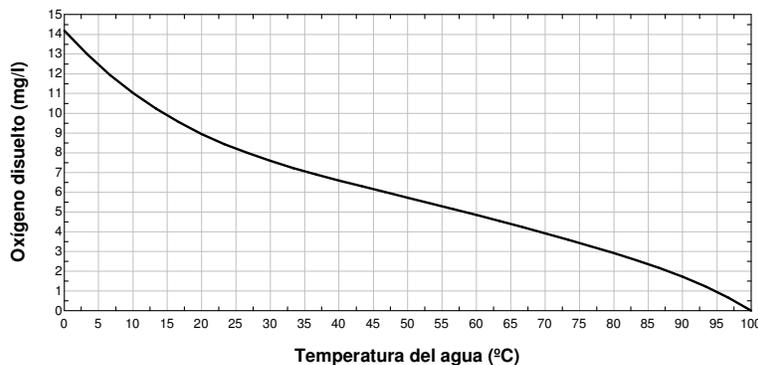


Fig. 2.32. Cantidad de oxígeno disuelto en el agua en función de la temperatura.

La instalación de recuperación de condensados a presión consiste en una red de tuberías para recoger los condensados liberados por los purgadores, y transportarlos hacia un depósito presurizado de almacenamiento, con el fin de reintroducirlos en el generador de vapor con la ayuda de una bomba. El revaporizado que viaja junto con el condensado por las tuberías de retorno, al

Llegar a este depósito es venteado a la atmósfera, o bien se aprovecha para utilizarlo como vapor de baja presión en otras aplicaciones del proceso. En este último caso, para facilitar la separación del revaporizado, se coloca un tanque flash antes del depósito de condensados.

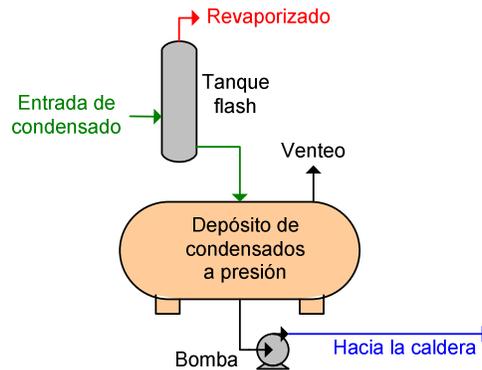


Fig. 2.33. Instalación de un tanque flash antes del depósito de condensados.

Por tanto, el tanque de condensados a presión desempeña tres funciones. En primer lugar almacena los condensados recolectados, por otro lado alimenta de condensado a las bombas, y por último ventea el revaporizado a la atmósfera.

El funcionamiento de los purgadores se ve penalizado como consecuencia de la contrapresión aplicada en ellos por el depósito de condensado. Al estar este depósito a una presión superior a la atmosférica, la línea de retorno de condensado está a su misma presión, lo que reduce la presión diferencial con la que trabajan los purgadores. Por tanto, ha de verificarse el correcto funcionamiento de los purgadores con estas nuevas condiciones de presión.

Como se observa en la siguiente figura, el depósito de condensados a presión alimenta a la caldera, en paralelo, junto con el depósito de alimentación a presión atmosférica.

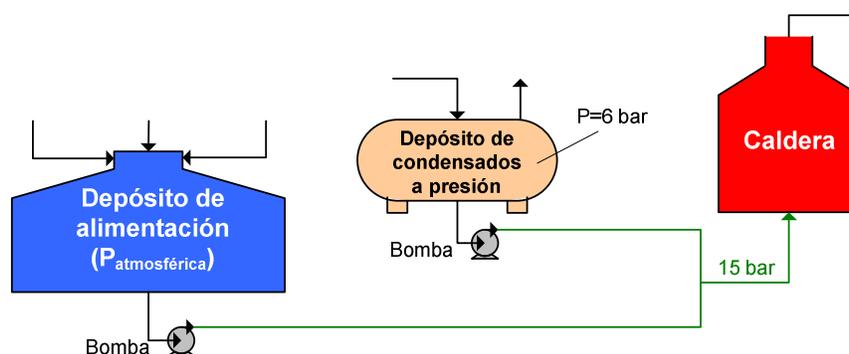


Fig. 2.34. Instalación con depósito de condensados a presión.

Las bombas que se utilicen para transportar el condensado desde el depósito presurizado hasta la caldera, deben ser bombas especiales para agua caliente,

ya que la probabilidad de que caviten, en caso de emplear bombas convencionales, es alta.

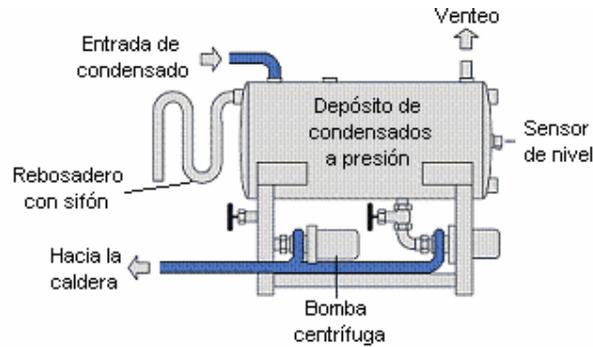


Fig. 2.35. Instalación con bombas centrífugas.

Una alternativa a las bombas eléctricas centrífugas son los denominados purgadores bombeadores o bombas mecánicas de desplazamiento positivo. Éstas utilizan la propia presión del vapor para impulsar el condensado. La figura V9 muestra el mecanismo de un purgador bombeador. El condensado entra en el cuerpo y va acumulándose hasta que se activa una válvula conectada a la boya, la cual permite la entrada de vapor dentro de la cámara. Una válvula de control evita que el condensado retroceda al orificio de entrada, y otra válvula deja que el vapor lo obligue a dirigirse hacia la salida. Cuando el nivel de condensado desciende hasta una posición predeterminada, la válvula de vapor se cierra, empezando un nuevo ciclo de bombeo.

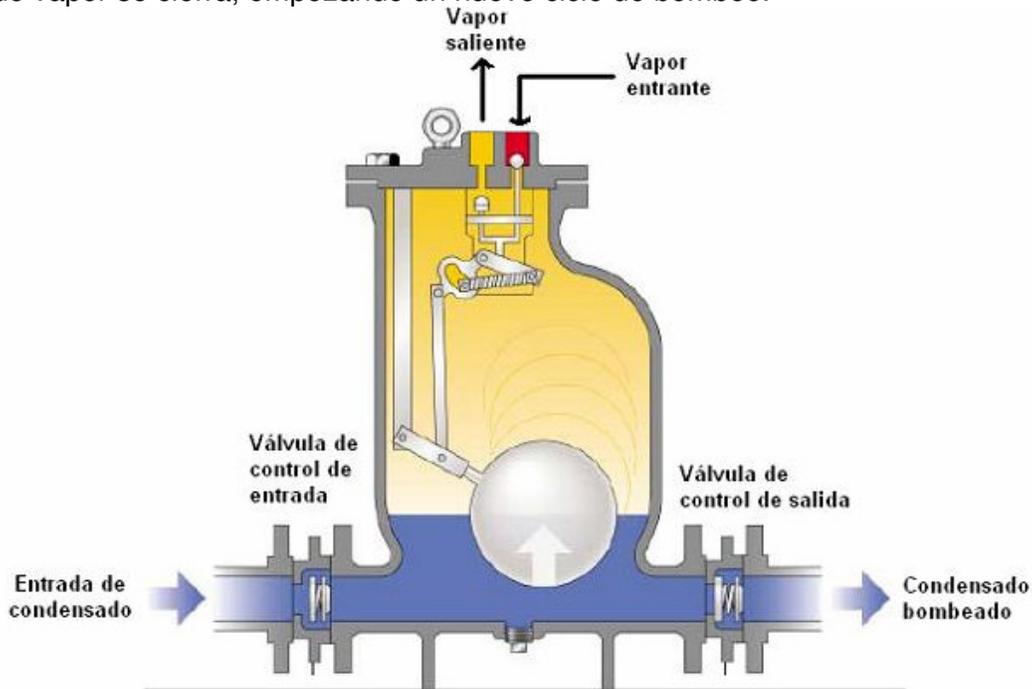


Fig. 2.36. Purgador bombeador.

Debido a su funcionamiento, estas bombas no necesitan una altura neta en la succión, por lo que no presentan problemas de cavitación. Son autorregulables y no necesitan controles electrónicos, ya que es el propio nivel de condensado el que determina cuándo se bombea. Pueden ser utilizadas en zonas donde exista riesgo de explosión, como en refinerías y plantas químicas. El principal inconveniente que tienen es su complejidad mecánica, lo que puede ocasionar problemas de mantenimiento. Además, por lo general trabajan con menores caudales que las bombas centrífugas.

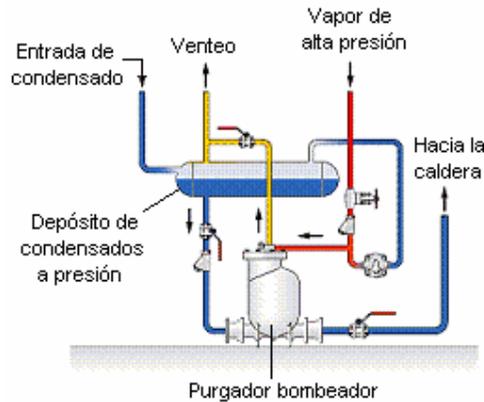


Fig. 2.37. Instalación con bomba mecánica.

b) Recuperación de condensado a presión atmosférica.

Si por razones técnicas o económicas el condensado no puede ser recuperado a presión, existe la posibilidad de aprovecharlo a presión atmosférica, e introducirlo en el tanque de alimentación de la caldera.

Como se vio en la figura 2.30, el calor sensible del condensado es menor a presión atmosférica que si estuviese presurizado, ya que tiene una temperatura de saturación inferior (100 °C). Además la cantidad de revaporizado que se forma es mayor. Por tanto, la energía que puede recuperarse es menor, pero sigue siendo valiosa. En concreto, el condensado atmosférico posee aproximadamente el **15%** de la energía del vapor producido en la caldera. La principal ventaja que se tiene es que la instalación es más sencilla y el espesor de los depósitos y tuberías es más pequeño, lo que reduce el coste de la instalación.

La instalación de recuperación de condensados a presión atmosférica consiste en una red de tuberías para recoger los condensados liberados por los purgadores, y transportarlos hacia el depósito de alimentación. Normalmente, a este depósito le llegan tres corrientes, por un lado el agua de reposición de red, a una temperatura de unos 15 °C, por otro el revaporizado procedente de las purgas de la caldera, a una temperatura aproximada de 100 °C, y en último lugar los condensados, a una temperatura de unos 90 °C. Por tanto, retornando los condensados a este depósito se consigue precalentar el agua allí contenida. Además, se reduce el oxígeno disuelto en la misma, puesto que

cuanto mayor sea la temperatura del agua, menor será la cantidad de oxígeno disuelto, como se aprecia en la siguiente figura. Por tanto, el coste del tratamiento químico necesario para la completa eliminación del oxígeno y de otros gases es menor. Otros efectos beneficiosos que produce el retorno de condensados son la reducción del caudal de agua de red y la mejora de la eficiencia de la caldera.

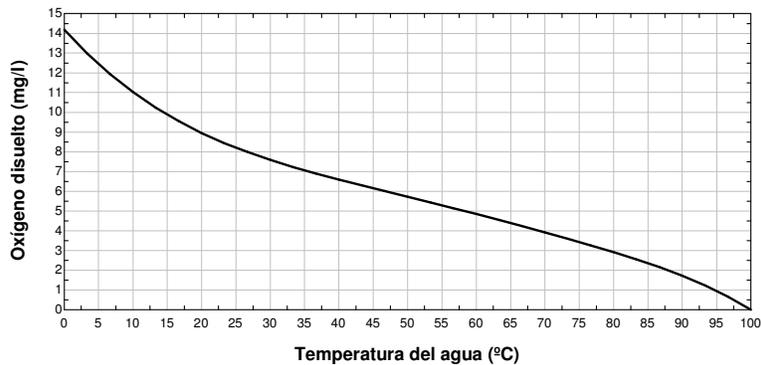


Fig. 2.38. Cantidad de oxígeno disuelto en el agua en función de la temperatura.

A diferencia que en la recuperación de condensados a presión, en este caso no se penaliza el funcionamiento de los purgadores, pues siguen descargando a presión atmosférica.

El revaporizado que llega junto con el condensado al depósito de alimentación es venteado a la atmósfera a través de una válvula. Para aprovechar esta corriente y expulsar la menor cantidad de revaporizado posible, existen, en general, tres soluciones.

1. Serpentín interior.

Para reducir la cantidad de revaporizado formado, la línea de retorno por la que circulan condensado y revaporizado, puede enfriarse haciéndola pasar por un serpentín sumergido en el depósito de alimentación. A este depósito se le introduce el agua de reposición de la red, lo que hace que el líquido contenido en él esté a una temperatura inferior a la de saturación, lo que se aprovecha para condensar parte del revaporizado con el serpentín. La corriente de salida de este serpentín se introduce en el tanque y el revaporizado que no haya condensado se descarga a la atmósfera. Con esto se aprovecha parte del calor del revaporizado para calentar el agua de alimentación, y se reduce la cantidad de revaporizado venteado.

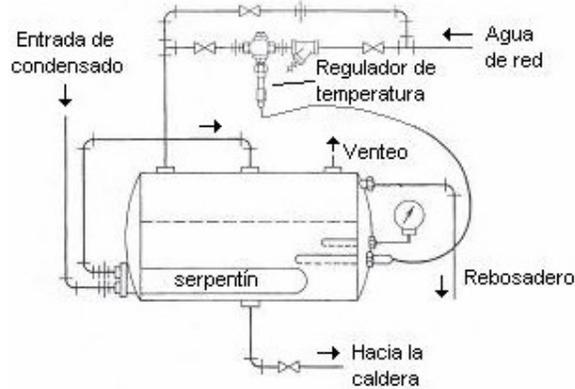


Fig. 2.39. Instalación de serpentín en el interior del depósito de la alimentación.

2) Inyección directa en agua.

Otra posible solución para aprovechar el revaporizado consiste en introducir una tubería perforada en la zona inferior del depósito para que el condensado y el revaporizado se mezclen con el agua de alimentación, calentándola al mismo tiempo. Con esto, parte del revaporizado cede su calor al agua y condensa, mientras que el revaporizado que no condensa se ventea a la atmósfera.

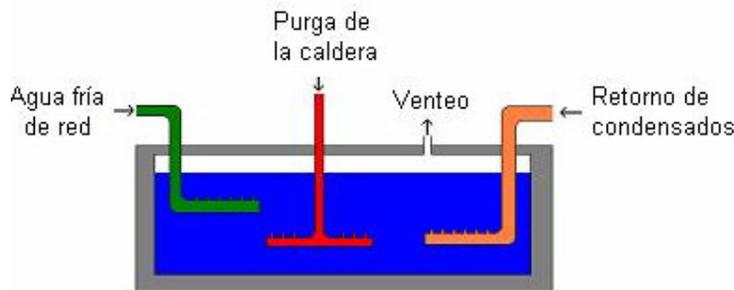


Fig. 2.40. Depósito de alimentación con aprovechamiento del revaporizado.

3. Cabezal mezclador.

Por último, se puede instalar en la zona superior del depósito un cabezal mezclador. En este cabezal concurren el agua de reposición de red, el retorno de los condensados, el revaporizado de las purgas del generador y agua de recirculación del depósito. Esta recirculación de agua del propio tanque tiene como objetivo el homogeneizar las temperaturas en su interior.

Como se muestra en la siguiente figura, el agua de recirculación y el agua de red son rociadas para que entren en contacto con el revaporizado. Con esto se consigue aprovechar el calor latente del revaporizado para calentar ese agua. Este calentamiento, junto con la disgregación en gotas pequeñas del agua,

facilita la eliminación del oxígeno y de otros gases disueltos, que salen por la válvula de venteo. La mezcla de las corrientes se introduce en el depósito por medio de un tubo inmerso en él.

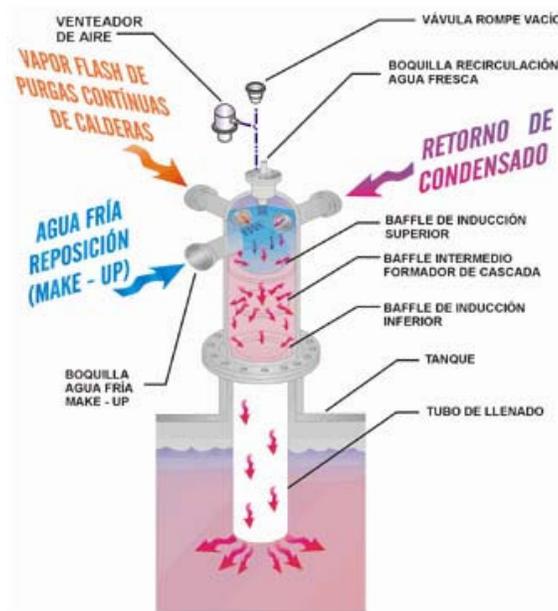


Fig. 2.41. Cabezal mezclador.

Los tanques que no dispongan de cualquiera de estos tres dispositivos tendrán mayores pérdidas, puesto que dejan escapar más revaporizado y desgasifican menos el agua.

A tener en cuenta.

- El condensado es un recurso muy valioso.
- El ahorro potencial es muy fácilmente calculado.
- Las recogidas de condensado de purgadores, generalmente, no es costoso.
- El aumento de la recogida de condensado puede reducir las pérdidas en conductos y costes de operación.
- Los depósitos de condensado requieren un tratamiento del agua adicional y por lo tanto mas costes.
- La recogida de condensado puede aumentar la vida de la caldera.

2.1.2.6 Depósitos Flash y otros procesos de recuperación de calor.

Descripción: Como ya se ha comentado, el condensado que se va formando en la red de distribución debido a las pérdidas térmicas, se elimina a través de los purgadores. Este condensado, junto con el que se produce en un proceso de calentamiento en donde el vapor cede su calor latente aun producto, posee una gran cantidad de energía susceptible de ser aprovechada. En concreto, a una presión manométrica de 7 bar, el líquido saturado tiene 721.4 kJ/kg, que es aproximadamente el 26% de la entalpía contenida en el vapor a la misma presión.

Normalmente se suele diseñar una red de tuberías para recoger los condensados y transportarlos a un depósito para reintroducirlos en la caldera. Debido a que los purgadores provocan una pérdida de carga en el fluido, al comunicar el equipo del que drenan con la red de condensado que está a una presión inferior, se produce un revaporizado que viaja junto con el condensado por la red de recogida. Así, estas tuberías deben diseñarse teniendo en cuenta la formación de revaporizado, ya que el flujo que circula por ellas es bifásico.

Siguiendo con el ejemplo anterior, si un condensado a 7 bar manométricos pasa a través de un purgador que descarga a presión atmosférica, el revaporizado que se forma posee un 49.7 % de la energía que tenía dicho condensado, y casi el 13% de la energía contenida en el vapor del que procede el condensado (vapor saturado a 7 bar).

Para que el aprovechamiento del revaporizado sea factible, es indispensable que la planta posea un proceso donde se requiera vapor a una presión inferior a la que se genera en la caldera. Así, en lugar de tomar vapor producido en el generador y pasarlo por la estación reductora de presión, lo que se hace es aprovechar el revaporizado formado para utilizarlo en dicho proceso. Entonces, todo el revaporizado formado es vapor que deja de producirse en la caldera, por lo que se ahorra combustible.

En caso de que el revaporizado no pueda usarse en ningún proceso de la instalación, en lugar de descargarlo a la atmósfera, puede introducirse en el depósito de alimentación a la caldera para precalentar el agua.

a) Recuperación mediante depósitos flash.

Los depósitos en donde se recoge el condensado se denominan depósitos flash y es en ellos donde se separa el condensado del revaporizado. Suelen ser tanques verticales en donde el vapor sale por la parte superior, mientras que el condensado cae por gravedad al fondo del depósito, siendo drenado a través de un purgador. La entrada del condensado está normalmente a un tercio de la altura del depósito. Las dimensiones del depósito dependen del caudal de condensado, pero debe tener una altura tal que se garantice la separación de las gotas arrastradas por el revaporizado. Su diámetro se selecciona de forma que la velocidad del vapor no supere los 3 m/s. Además,

este diámetro tiene que ser suficientemente grande para evitar que la corriente de condensado sea demasiado turbulenta. La conexión de salida del revaporizado se diseña para que la velocidad del vapor no sobrepase los 15 m/s. En caso de sobrepresión en el depósito, existe una válvula de seguridad.

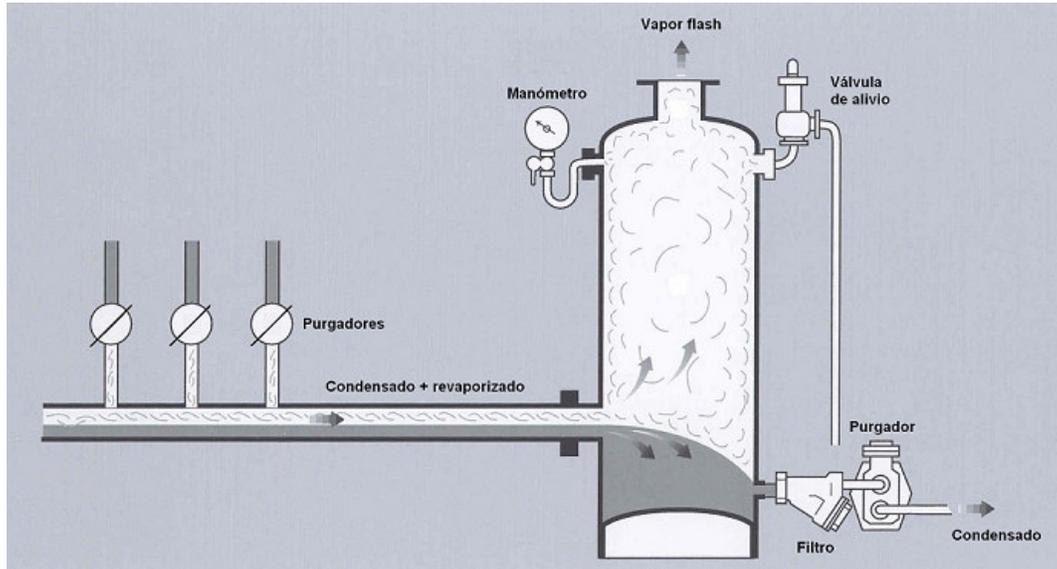


Fig. 2.42. Esquema de un tanque flash.

No obstante, para usar adecuadamente el revaporizado deben cumplirse una serie de requisitos básicos:

- Ha de existir un suministro suficiente de condensado a alta presión para que pueda generarse una cantidad de revaporizado que haga la recuperación económicamente viable.
- Los purgadores y el equipo del que están drenando el condensado, tienen que ser capaces de funcionar correctamente con la contrapresión aplicada a ellos por los sistemas de recuperación. Si en una instalación se introduce un tanque flash, colocará toda la red de condensado a una presión mayor que la anteriormente existente, reduciendo la presión diferencial con la que trabajan los purgadores, lo que dificulta la salida del condensado. Este hecho puede observarse en la siguiente figura, en donde un purgador trabaja inicialmente con un salto de presiones de 12 bar y, tras la instalación de un tanque flash, pasa a trabajar con un salto de 7 bar.

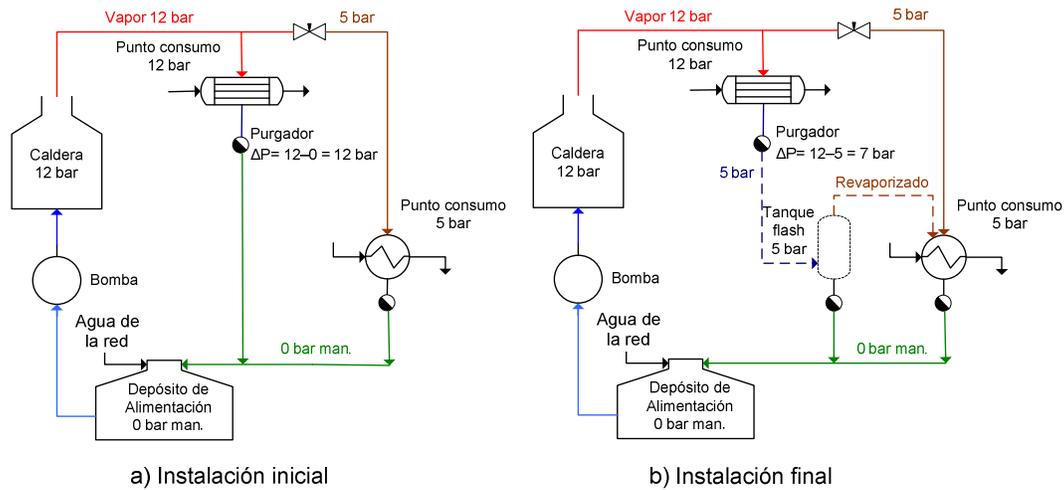


Fig. 2.43. Instalación con un tanque flash.

- Debe existir una aplicación apropiada para utilizar el revaporizado a baja presión.
- El proceso donde se use el revaporizado debería estar próximo al lugar en donde se produce, ya que la tubería para el vapor a baja presión es de un diámetro relativamente grande, lo que hace aumentar el coste de la instalación y las pérdidas de calor.

b) Recuperación mediante un intercambiador.

Consiste en precalentar el agua tratada empleando el agua de purga como fluido calefactor. La recuperación de calor mediante el uso de un intercambiador se da cuando es inevitable la contaminación del agua de alimentación por cualquier otro sistema de recuperación y suele ser empleado en calderas de baja presión con cantidades de purga pequeñas. La siguiente figura muestra un esquema de este sistema.

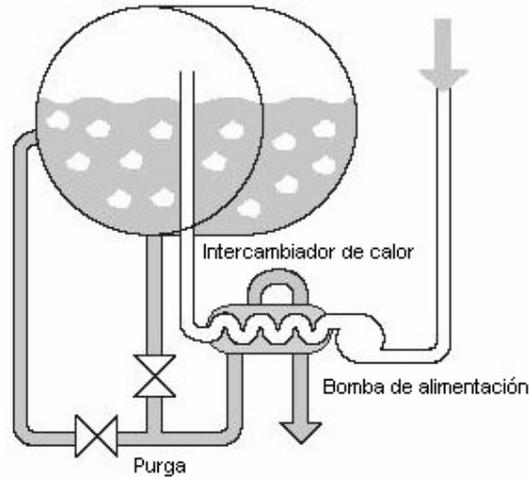


Fig.. Recuperación de calor de purga con intercambiador.

c) Recuperación mediante vapor flash e intercambiador.

Si se combinan los dos sistemas, tanque flash e intercambiador, de manera que el condensado que se separa en el tanque flash se hace pasar por el intercambiador, se aprovecha además el contenido energético de esta corriente caliente, que suele estar a una temperatura próxima a los 105 °C, para precalentar el agua de alimentación de la caldera. Este sistema se emplea en unidades de gran capacidad que operan a presión elevada y da como resultado un ahorro adicional de aproximadamente un 25 % de la energía de la purga. La siguiente figura muestra un esquema de este sistema combinado.

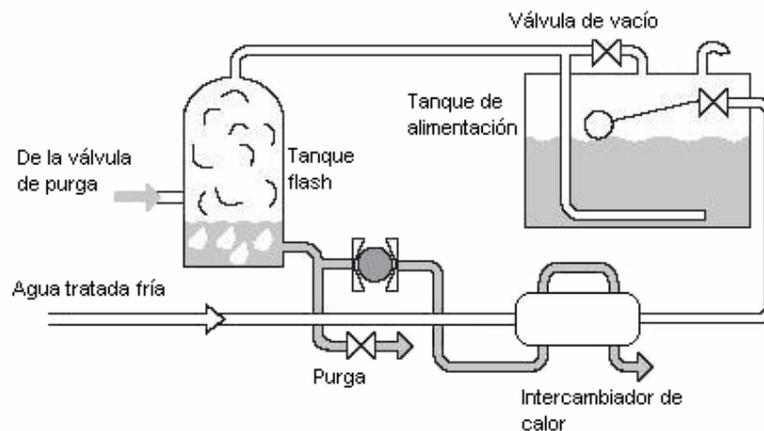


Fig. 2.44. Recuperación de calor de purga con tanque flash e intercambiador.

Los sistemas de purga continuos facilitan la recuperación de calor del agua de purga en cualquiera de los sistemas anteriormente mencionados.

El precio de estos equipos ronda los 14270 € y suelen tener un periodo de retorno comprendido entre 3 y 5 años.

A tener en cuenta:

- El vapor flash es “vapor vivo útil” generado en el proceso.
- La cantidad de vapor flash crece con la presión del vapor.
- Típicamente el 15% del condensado se pierde como vapor flash.
- En grandes redes de vapor, la recuperación del vapor flash puede significar un valioso recurso de vapor de baja presión.
- La recuperación de flash puede suponer una valiosa fuente para el precalentamiento del agua de alimentación.
- La recuperación de vapor flash puede mejorar la operación del proceso.
- La recuperación de vapor flash no necesita de una tecnología complicada.

2.1.2.7 Medición y seguimiento del vapor.

Descripción: Los medidores de vapor generalmente están formados por dos componentes:

- Un elemento primario, la unidad de medición que se coloca en el flujo de vapor.
- Un elemento secundario, un transductor, que convierte los datos que manda el elemento primario a un lenguaje comprensible por el usuario.

El vapor es transportado desde la caldera hasta el proceso a través de un sistema de tuberías. Pero como el calorifugado no puede tener una eficiencia del 100% aparecen pérdidas de calor. Esta pérdida de calor se manifiesta como condensado en el interior de los conductos. Este condensado es necesario eliminarlo del sistema mediante las trampas de vapor, ubicadas estratégicamente por la instalación.

El objetivo de realizar un seguimiento de la producción de vapor es la de medir la energía disponible en el flujo (solo de vapor, no vapor más condensado). Un kg de vapor puede producir un kilogramo de condensado, pero la intención es medir solamente el vapor. Así, un sistema de medida que mida la masa total del flujo es un pobre valor cuando lo que se busca es medir la energía disponible, ya que esto incluye el condensado. Dado que este no dispone de calor latente, su inclusión solo añade una cantidad de energía artificial al flujo.

Un sistema cuyo principio de operación se basa en la medida del flujo volumétrico ofrecerá resultados mucho más interesantes porque el condensado presente es ignorado. El condensado ocupa una muy pequeña fracción del

volumen del vapor; por ejemplo, en una red de vapor de 10 bar, un kg de vapor ocupa 177 litros mientras que su condensado ocupa solamente un litro. La pequeña proporción de condensado tiene un mínimo efecto en la precisión de la medida del flujo volumétrico.

Sin embargo, el flujo volumétrico necesita ser convertido a unidades de flujo másico (kg/hora) porque el calor contenido en el vapor es directamente proporcional a la masa. Además, muchas redes de vapor cuentan con válvulas reductoras de presión (PRV). En dichas redes, es impracticable establecer un flujo volumétrico porque, para un flujo másico dado, el flujo volumétrico varía de una sección de la red a otra.

Muchos contadores de vapor miden el flujo volumétrico. Este dato se convierte, generalmente, a su equivalente flujo másico mediante el transductor de flujo, que calcula el correspondiente flujo másico a partir del flujo volumétrico medido y la presión de operación de la red. Si la presión no se mide conjuntamente con el flujo, es necesaria la instalación de un transductor de presión.

La medición de la temperatura también proporciona una precisión óptima, pero añade un coste extra y no siempre está justificado en instalaciones de vapor saturado. Sin embargo, es un buen dato a tener en cuenta en instalaciones de vapor sobrecalentado, donde esta medida puede ser una entrada más al transductor de flujo.

Muchos transductores solo muestran la medida del flujo másico instantáneo. Los datos obtenidos pueden ser mandados a un sistema de gestión de datos o a un sistema de seguimiento y control (monitoring & mettering). Esto permite realizar una base de datos sobre la demanda de vapor en un periodo de tiempo tal como días, semanas o años.

A la hora de elegir los sistemas de medidas hay que tener en cuenta las siguientes características.

- Precisión. Para obtener los resultados más precisos de un instrumento de medida de vapor, es necesario asegurarse de que:
 - El vapor ha de tener la calidad adecuada.
 - El instrumento de medida debe ser instalado siguiendo las instrucciones del fabricante.

Existen dos maneras de describir la precisión de un instrumento de medida de vapor y es importante distinguir entre ellas. La precisión puede ser expresada como:

- Porcentaje del valor actual de la medida.
- Porcentaje de la escala del instrumento.

- Repetibilidad. Esta es la cualidad que tiene un instrumento de medida para indicar el mismo valor para flujos idénticos en dos o más ocasiones sucesivas. Dado que el vapor es un medio corrosivo puede ocurrir que con el paso del tiempo un contador pierda esta propiedad.
- Rango de funcionamiento. Todo instrumento de medida tiene un máximo y un mínimo por encima de los cuales no se garantiza la exactitud y repetibilidad de la medida realizada. Se ha de tener en cuenta que el instrumento que se instale tenga un rango de funcionamiento que abarque las condiciones de operación de la instalación.
- Frecuencia de recalibrado. Muchos instrumentos de medida requieren ser recalibrados periódicamente. Otros diseños se calibran en su fabricación y no necesitan ser revisados. Este no debe de ser una de las razones más importantes a la hora de elegir un aparato de medida.
- Facilidad de instalación. No todos los instrumentos son apropiados para todas las instalaciones. El tamaño o peso de algunos equipos puede hacer que su instalación en determinados lugares no sea la más apropiada.
- Coste de instalación y mantenimiento. No siempre el dispositivo más barato es la mejor opción. Además del propio equipote medida es necesario considerar la necesidad de instalar sensores adicionales de presión y temperatura, transductores y otros equipos de registro. El coste de un equipo también incluye el conste de personal necesario para su instalación.

A continuación se indican los diferentes equipos de medida de flujo.

- Contador turbina. Es uno de los dispositivos más simples. A medida que aumenta el flujo, aumenta la velocidad de giro del rotor.

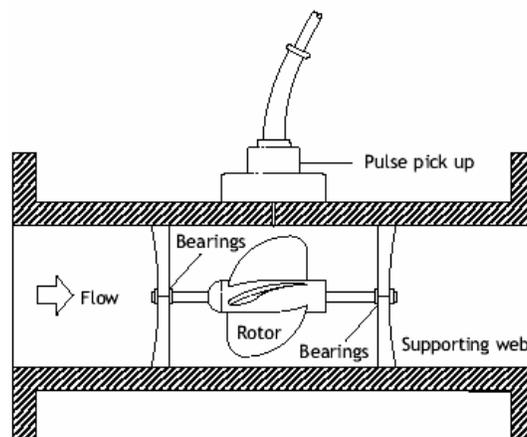


Fig. 2.45. Contador turbina.

- Bypass. Este tipo fue diseñado como una simple alternativa al contador turbina. Aunque está obsoleto, en algunos sitios está en uso. El dispositivo usa un orificio en la chapa para asegurar que una proporción del flujo pase a través del bypass y atraviere el rotor. Este rotor está conectado mecánicamente a un contador, que mide el flujo total en un determinado periodo de tiempo.

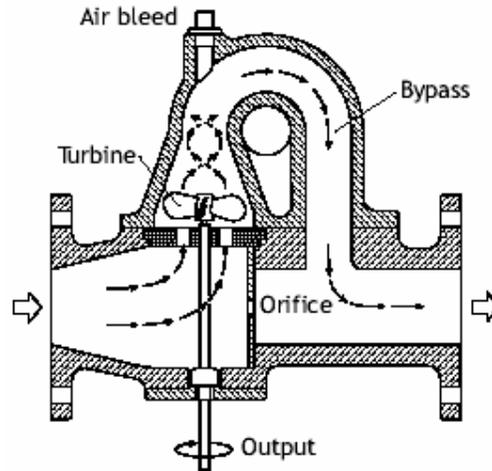


Fig. 2.46. Contador de bypass.

- Contador orificio-placa. Este es probablemente el contador de vapor más usado.

El sistema de funcionamiento está basado en que el flujo se produce gracias a la existencia de un gradiente de presiones. Mediante la introducción de la placa con el orificio se produce una pérdida de carga localizada a partir de la cual se puede calcular el flujo.

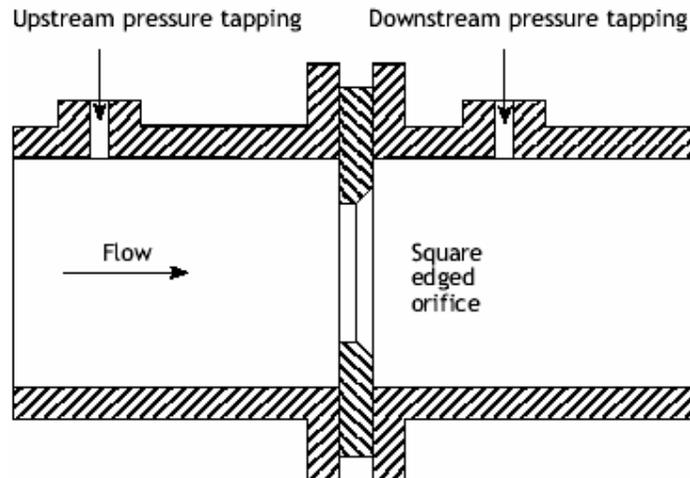


Fig. 2.47. Contador orificio-plato.

- Contador de área variable. Consiste en una sección en forma de cono en la que hay un flotador. A medida que varía el flujo varía la posición de dicho flotador. Mediante una señal magnética un dispositivo recoge la posición del flotador y la transforma en un caudal.

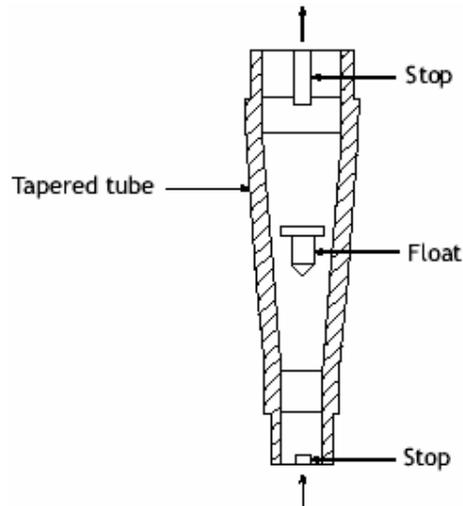


Fig. 2.48. Contador de área variable.

- Contador de área variable cargado con resorte. El principio de funcionamiento es igual que el anterior solo que al no estar en vertical no se cuenta con la fuerza de gravedad para reposicionar el flotador. Esto se resuelve mediante la fuerza de un resorte.

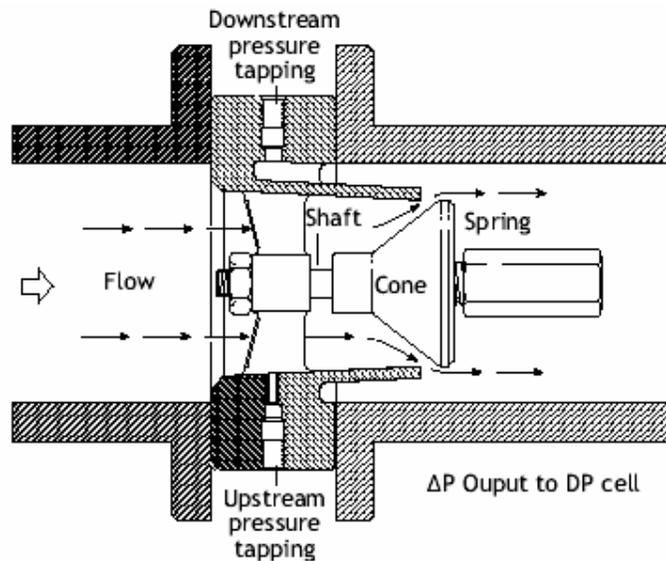


Fig. 2.49. Contador de área variable cargado con resorte.

- Tubo pitot. El tubo pitot consiste en un tubo formado por dos tubos coaxiales. El tubo interior contacta directamente con el flujo, mientras

que el exterior tiene el final sellado y tiene una perforación para fijar un punto en el exterior.

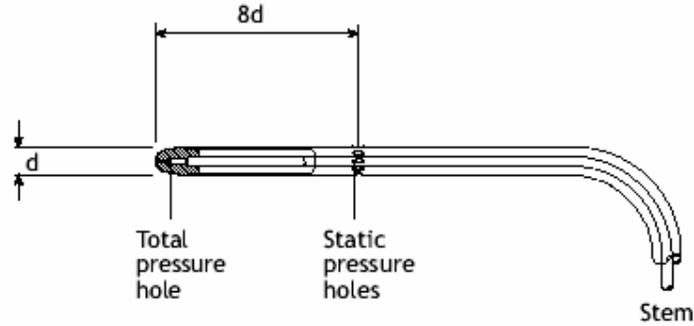


Fig. 2.50. Contador de tubo pitot.

- Tubo pitot promediado. Este es un desarrollo del tubo pitot, donde una pequeña barra montada diametralmente en la tubería. Esta barra tiene dos conductos internos. Estos conductos tienen un número de puertos para realizar el promediado de la presión.

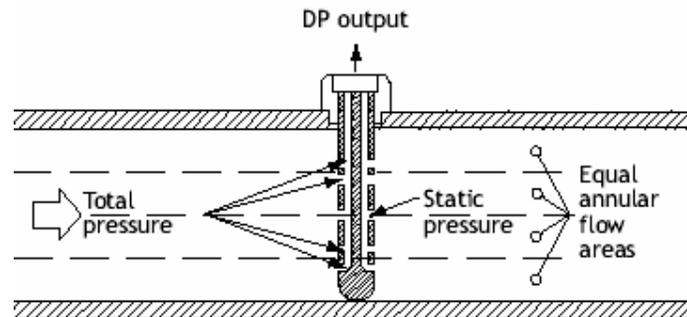


Fig. 2.51. Tubo pitot promediado.

- Contador de emisión de vórtices. Cuando un flujo se encuentra con un obstáculo, al atravesarlo se forman vórtices. Estos vórtices se forman siguiendo un determinado patrón. Cada vórtice tiene una presión ligeramente menor que el flujo circundante. La frecuencia con que los vórtices se forman es proporcional al flujo que atraviesa el contador.

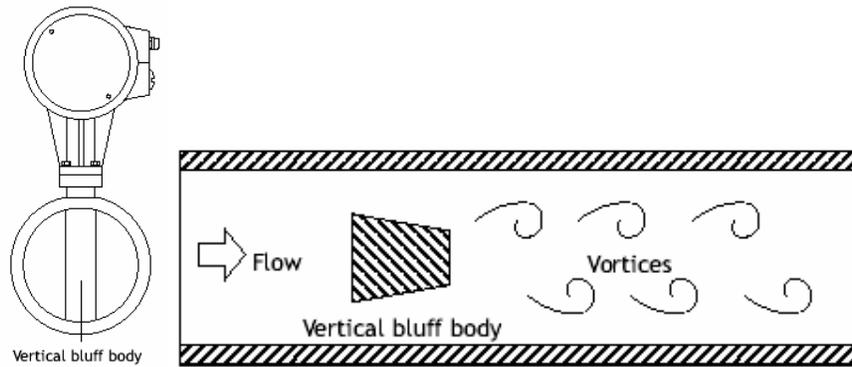


Fig. 2.52. Contador de emisión de vórtices y principio de funcionamiento.

A tener en cuenta:

- La medición puede ahorrar costes.
- Las mediciones permiten que la eficiencia del sistema sea entendida.
- Las mediciones permiten el mantenimiento la implantación de medidas más eficientes.
- Las mediciones permiten cuantificar los ahorros obtenidos.
- Diferentes sistemas de medición están disponibles para cada tipo de aplicación.
- Las mediciones son requeridas para una efectiva monitorización y seguimiento.
- Los sistemas de monitorización pueden detectar fallos en la instalación y evitan pérdidas en la producción.

2.1.3 Calderas de agua caliente.

En la siguiente tabla se exponen una lista de Medidas de Ahorro Energético referidas a calderas de agua caliente que muestra un estimado periodo de retorno, ahorro energético típico y el coste de inversión basado en recientes estudios.

MEDIDA	PERIODO DE RETORNO*	POT. AHORRO*	INVERSIÓN***
Correcto mantenimiento de la caldera	Corto	3	Medio
Instalación de compuerta de tiro	Medio	2	Bajo
Usar CHP	Largo	1	Alto
Uso de contador de oxígeno	Largo	4	Medio
Precalear el aire de combustión	Largo	5	Medio

*El periodo de retorno esta dado como Corto, Medio o Largo donde: Corto < 1 año, Medio de 1 a 3 años y Largo > 3 años.

**En el ahorro 1 representa la medida que ofrece mayor potencial de ahorro.

***La inversión está dispuesta en diferentes categorías que son: Baja < 3000€, Media entre 3000€ y 15000€ y Alta > 15000€.

Tabla 2.11. Medidas de Ahorro Energético en Calderas de Agua Caliente.

2.1.3.1 Correcto mantenimiento de las calderas.

Descripción: Los problemas más frecuentes presentados en calderas pueden dividirse en dos grandes grupos:

- 1.- Problemas de corrosión.
- 2.- Problemas de incrustación.

Aunque menos frecuente, suelen presentarse ocasionalmente:

- 3.- Problemas de ensuciamiento y/o incrustación.

Para un buen mantenimiento es necesario tratar el agua de entrada a la caldera. Los principales fines perseguidos con el tratamiento del agua de alimentación son los siguientes:

- 1.- Quitar materias solubles o en suspensión.
- 2.- Eliminación de gases.

Todo esto es necesario, entre otras cosas, para:

- 1.- Evitar la formación de incrustaciones sobre las superficies de calentamiento de agua.

2.- Proteger contra la corrosión los metales de la caldera, recuperadores y tuberías.

Se debe decir que no existe ningún procedimiento simplista ni producto químico apropiado para todas clases de aguas. Cada caso debe considerarse individualmente.

El proceso del tratamiento del agua incluye la separación de los detritos mediante unas cubas móviles o fijas, filtrado, separación de lodos y limos en depósitos de decantación, calentamiento, vaporización o destilación, desaireación, tratamiento con cal apagada, tratamiento con carbonato sódico, tratamientos con ambos productos, con hidróxidos sódico y bórico, con fosfato trisódico, coagulantes, zeolitas (descalcificadotes) y por osmosis inversa.

Existen dos principales formas de tratamiento del agua, llamadas interno y externo.

El tratamiento externo de agua generalmente se realiza tratando el agua previamente de su entrada a la caldera. El propósito es eliminar (completamente o parcialmente) una o más tipos de impurezas. Los principales métodos de tratamiento externo incluyen:

- Pretratamiento. Esto puede incluir sedimentación, clarificación, flotación y filtración.
- Eliminación de la dureza del agua.
- Desalcalinización del agua, para eliminar los sólidos disueltos mediante la eliminación de la alcalinidad.
- Desmineralización, para eliminar sólidos disueltos y sílice mediante el intercambio iónico.
- Osmosis inversa, para eliminar los sólidos disueltos mediante un proceso de membrana.
- Desaireación, para eliminar los gases disueltos (oxígeno y dióxido de carbono)

Estos métodos producen calidades variables del agua tratada y son usadas en consonancia a la composición del agua, de la caldera y de la calidad/uso que se requiera del vapor.

El tratamiento interno del agua también hace referencia al acondicionamiento del agua. El tratamiento interno del agua no es aconsejable por sí mismo y el agua de alimentación debe ser procesada tanto como sea posible antes de entrar a la caldera. El tratamiento interno consiste en la adición de sustancias químicas, en la caldera, para evitar la corrosión y la formación de lodos. La

corrosión se minimiza usando una estrategia para mantener un entorno no agresivo. Un entorno no agresivo se consigue mediante la eliminación del oxígeno disuelto, manteniendo una reserva de oxígeno químico corrosivo y manteniendo una reserva de alcalinidad. El tratamiento interno generalmente incluye la adición de sustancias químicas en los circuitos de baja y alta presión de la instalación de vapor.

En el lado de los gases de combustión, el ensuciamiento se dará principalmente en las calderas que queman combustibles sólidos y será provocado por los inquemados sólidos y cenizas de estos combustibles que se adhieren a las paredes de la caldera y pueden llegar a sinterizar debido a las elevadas temperaturas.

El ensuciamiento formado en las superficies de la caldera aporta una resistencia extra a la transferencia de calor a través de las paredes, aumentando la temperatura de los gases de salida y de las superficies metálicas, las cuales pueden verse sometidas a una tensión térmica elevada. Todo esto conduce a una reducción de la eficiencia del equipo y a la necesidad de aumentar el consumo de combustible, así como a una reducción del ciclo de vida del equipo.

La siguiente tabla muestra la conductividad térmica de distintos materiales que pueden depositarse en las superficies de las calderas o formar parte de las mismas.

Material	Conductividad Térmica (W/mk)
Fosfato cálcico	2
Sulfato cálcico	1.282
Fosfato de magnesio	1.202
Óxido de hierro	1.602
Silicato	0.048
Aislante	0.056
Acero de caldera	24.84

Tabla 2.12. Conductividad térmica de sustancias en calderas.

La siguiente gráfica representa el incremento sufrido por la temperatura de la superficie metálica de la caldera y la pérdida de eficiencia en función del espesor de los depósitos.

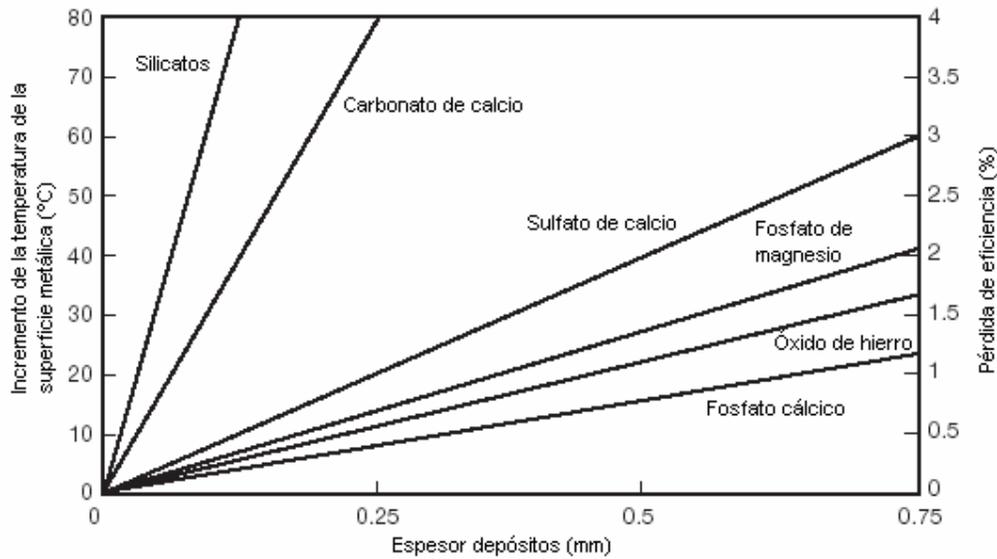


Fig. 2.53. Efecto del ensuciamiento en la eficiencia de la caldera.

Una vez que ya se han formado estos depósitos existen dos métodos para eliminarlos: limpieza mecánica y limpieza química.

El método mecánico se utiliza en calderas acuatubulares e inyecta agua a presión sobre las paredes sucias de la caldera. También puede utilizar otros aparatos de limpieza. La limpieza química o ácida se emplea tanto en calderas acuatubulares como pirotubulares y se centra en disolver los depósitos formados. Ambos métodos han de realizarse cuando la caldera está fuera de servicio y deben llevarse a cabo por personal cualificado.

Para eliminar el ensuciamiento formado en el lado de los gases en calderas acuatubulares se suele emplear un "soplador de hollín" que emplea vapor a elevada presión y lo inyecta sobre las paredes de la caldera donde se han acumulado los inquemados. Esto puede ser un método de limpieza muy efectivo que se realiza con la caldera en servicio. Algunas calderas utilizan aire comprimido como medio de limpieza. Este aparato puede ser localizado en cualquier zona propensa a ensuciarse. Para verificar la efectividad de esta operación se debe monitorizar la temperatura de los gases a la salida del soplador antes y después de que ocurra la operación. El cambio de dicha temperatura es el principal factor para indicar esta efectividad. Así, si se necesita la operación de limpieza, la temperatura de salida tendrá que disminuir una vez se haya realizado. Se tendrán que usar termómetros para asegurar la monitorización adecuada.



Fig. 2.54. Limpieza de la caldera.

A tener en cuenta:

- Mejora los ratios fuel/aire y por consiguiente mejora la eficiencia.
- Superficies más limpias, lo que reduce las pérdidas en conductos.
- Disminución de las pérdidas por radiación.
- Mejor funcionamiento del quemador → Ahorro de fuel.
- Periodo de retorno menor de un año.

2.1.3.2 Instalación de una compuerta de tiro.

Descripción: Normalmente la eficiencia de las calderas se mide para unas ciertas condiciones de operación. Pero en cambio cuando la caldera se encuentra en stand by la eficiencia suele ser mucho menor. Una compuerta de tiro, cuando está cerrada, previene tanto que se escape calor de la caldera hacia el exterior, así como que se produzcan infiltraciones de aire frío.

Cuando una caldera se encuentra en stand-by hay un continuo flujo de aire a través de la caldera dado que se produce una convección natural proveniente de las superficies calientes en el intercambiador de la caldera. Este calor es eliminado del producto y por lo tanto se contabiliza como una pérdida, que escapa por el tiro al exterior del edificio.

The Estates Department of Walsall Community Health Trust ha reconocido que el calor perdido por encontrarse una caldera en stand-by es una de las

mayores pérdidas que tienen instalaciones en que por las condiciones de suministro y operación las calderas permanezcan mucho tiempo en stand-by.

La única manera de prevenir las pérdidas de calor en calderas debido a la convección natural, cuando estas se encuentran en stand-by, es la instalación de compuertas de tiro automáticas. El concepto de fiabilidad es importante, es decir, ¿podría no abrirse la compuerta cuando la caldera comience a trabajar a plena carga? Existiría la posibilidad de que se produjese un crecimiento de gas inquemado y una mezcla explosiva o una atmósfera tóxica (monóxido de carbono) en la habitación de las calderas.

Estos problemas de seguridad son resueltos mediante una robusta construcción que consiste en la instalación de un doble interruptor que previene el funcionamiento a plena carga a menos que la compuerta se encuentre completamente abierta. El dispositivo ha sido evaluado y certificado por la American Gas Association según las normas ANSI. Actualmente no existen unas especificaciones especiales para las compuertas de tiro en UK.

Estas compuertas fueron introducidas en USA en 1974 y usadas por muchas industrias con aplicaciones de calderas de gas y fuel-oil y también en aplicaciones residenciales. Hay cientos de sitios en UK donde las compuertas han sido instaladas, incluidos edificios públicos, establecimientos comerciales e industriales. La primera instalación en UK se llevó a cabo en 1981.

Instalada directamente en el tiro de la caldera, la compuerta previene las pérdidas de calor cuando el quemador está en stand-by, evitando pérdidas de calor producidas por el tiro natural creado por el calor de la caldera.



Fig. 2.55. Compuerta de tiro electromecánica.

A tener en cuenta:

- Elimina el calor perdido por el tiro cuando la caldera está en stand by.
- El ahorro es muy significativo (12%).
- Apropiado en calderas tanto de fuel como de gas.
- La instalación puede correr a cargo de una subcontrata. No se precisa que la instale el fabricante.
- Reduce las pérdidas de calor y emisiones de CO₂, NO y NO₂.
- Coste L500-L2000.
- Periodo de retorno de 2 años.
- El mantenimiento es mínimo.
- En casos de avería abrir mecanismos de seguridad para evacuar los gases.

2.1.3.3 Uso de CHP

Descripción: Aplicado a la generación de potencia se refiere a la generación de electricidad y vapor (o calor) simultáneamente a partir del mismo combustible, generalmente para satisfacer todas las necesidades de las instalaciones industriales para las cuales ha sido diseñado.

La generación combinada de calor y potencia se realiza en la misma planta. Este método reduce el consumo total de combustible evitando que de otra manera se pierda calor utilizando la generación de electricidad convencional. Proporciona calentamiento de bajo grado para uso industrial.

A tener en cuenta:

- La instalación de una unidad de CHP tiene un alto coste, pero generalmente suele estar financiada la tercera parte del coste.
- CHP es una tecnología testada con altos niveles de ahorro energético y beneficios medioambientales.
- La eficiencia global de una unidad de CHP puede ser superior al 80%.
- Proporciona una gran seguridad de suministro donde una interrupción es inadmisibile.

- Existen incentivos y subvenciones para la instalación de este tipo de equipos.

2.1.3.4. Uso de un compensador de oxígeno.

Descripción: El control de la combustión es una medida de ahorro energético de gran importancia en cualquier equipo que realice la combustión de un combustible fósil. Este control persigue dos objetivos: liberar la mayor cantidad de energía posible del combustible, provocando una combustión completa con el adecuado exceso de aire, y minimizar la cantidad de energía perdida por la chimenea con los humos procedentes de la combustión.

El factor más determinante en la combustión de cualquier combustible es el exceso de aire, ya que existe un mínimo teórico necesario para la combustión completa, que normalmente se supera en una cantidad que marca la buena práctica de estos equipos y que depende del tipo de combustible. El exceso de aire debe ser controlado ya que a medida que crece, y una vez conseguida una combustión completa, su aumento sólo provoca que crezcan las pérdidas de energía con los gases expulsados.

En la siguiente tabla se muestra el exceso de aire recomendado y el contenido de oxígeno de los gases de combustión para diferentes combustibles.

Combustible	Exceso de aire (%)		O ₂ en gases (%)	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Gas Natural Fuel oil	10,0	15,0	2,0	2,7
Ligero	12,5	20,0	2,3	3,5
Pesado	20,0	25,0	3,3	4,2
Carbón	30,0	50,0	4,9	7,0

Tabla 2.13. Exceso de aire recomendado para distintos combustibles

En la siguiente gráfica se muestran las relaciones de CO₂ y O₂ que corresponden a diferentes combustibles para distintos excesos de aire. Se observa que el contenido en O₂ es prácticamente igual para todos los combustibles para los distintos valores del exceso de aire, por lo que los equipos de control de la combustión pueden realizar el ajuste de la relación aire combustible midiendo únicamente el O₂ en los gases, evitando la medida combinada de dos compuestos en gases.

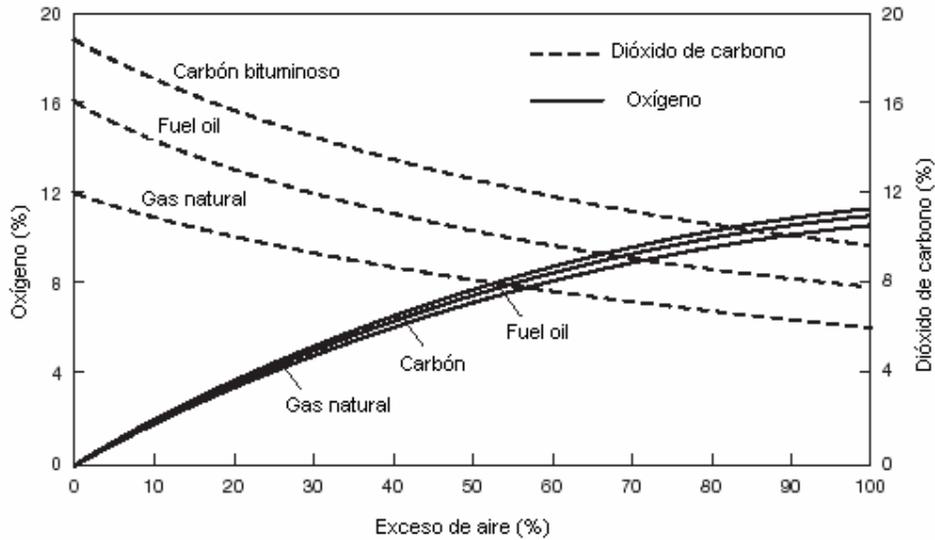


Fig.2.56 . Relación entre O₂, CO₂ y exceso de aire

Si se introduce más oxígeno del necesario para la combustión, además de disminuir la eficiencia, se pueden incrementar las emisiones de NO_x.

Todas las calderas tienen algún equipo para controlar la combustión, sea un sistema de control manual simple o un sistema computarizado altamente sofisticado. La elección del sistema de control se hace en base a lo siguiente:

- Capacidad de generación de vapor.
- Demanda de vapor y fluctuaciones esperadas en el caudal de vapor.
- Niveles de rendimiento esperado que hará necesario sistemas más sofisticados para una eficiencia de operación más elevada.
- Costes.
- Regulación de contaminación que puede necesitar operaciones con pequeño exceso de aire para minimizar las emisiones de NO_x.

El control de la combustión se suele realizar en continuo, para lo que se instalan analizadores en la salida de los gases de combustión que miden el oxígeno contenido en estos y en función de ello regulan la cantidad de aire y de combustible que entra al quemador. Junto al analizador de oxígeno se puede instalar un analizador de monóxido de carbono (CO), ya que este es un indicativo de que la combustión se está llevando a cabo de manera incompleta. Los analizadores de oxígeno pueden ser de distintos tipos:

- Analizadores de oxígeno de absorción química: Son los más comunes y baratos. Se emplean para comprobaciones periódicas y para el ajuste del sistema de control.
- Analizadores con sensores de zirconio: Son analizadores más modernos que proporcionan una lectura directa del porcentaje de oxígeno. Estos analizadores generan un potencial eléctrico, a través de un proceso electroquímico, que es proporcional al nivel de oxígeno presente en el lugar en el que se ha tomado la muestra.



Fig. 2.57. Analizadores de oxígeno de circonio

El controlador, que tiene actuadores independientes para el flujo de aire, recibe la señal del analizador y, en función de la diferencia entre esta y la señal de referencia, actúa sobre la regulación del aire. El punto de referencia dado al controlador es una función de la carga de la caldera y normalmente se encuentra en torno al 10-15% para cargas pequeñas y al 2-3% para carga máxima.

El inconveniente que presenta este control continuo de la combustión basado en la medida del oxígeno en los gases de combustión es que no logra una operación a la máxima eficiencia, sino que establece un nivel de exceso de oxígeno en función de un determinado valor de CO, del que se necesitan ciertos límites. No se consigue la relación aire/combustible más eficiente porque incluye también un margen de seguridad.

Este sistema de control normalmente se aplica a calderas pirotubulares y acuotubulares por encima de los 2 MW y con una producción superior a 4500 kg/h de vapor. Es muy importante en calderas con elevada temperatura de los gases de combustión en chimenea.

El precio de este equipo se sitúa entre 4281 y 7135 € y tiene un periodo de retorno que suele estar comprendido entre 2 y 5 años.

A tener en cuenta.

- Reduce el exceso de aire proporcionando mejores ratios fuel/aire.
- Mantiene los niveles establecidos durante todo el año.
- Apropiado para calderas de gas, pedir información a fabricantes de quemadores para calderas que utilicen otros combustibles.
- Apropiado para calderas pirotubulares de mas de 2 MW.
- La instalación debe correr a cargo del fabricante del quemador.
- El coste es de L3000-L5000.
- El periodo de retorno normalmente esta comprendido entre 2 y 5 años.
- Requiere una calibración anual.
- Existen incentivos y subvenciones para la instalación de este dispositivo.

2.1.3.5 Precalentamiento del aire de alimentación.

Descripción: Esta medida de ahorro persigue calentar el aire de combustión, previamente a su entrada en la caldera, con los gases de salida de la caldera, aumentando así el aporte energético a la caldera y disminuyendo el consumo de combustible para la misma potencia a transferir. El rendimiento de la caldera se verá mejorado para cualquier carga como resultado de la disminución de la temperatura de los gases de salida. Otro beneficio adicional sería una mejora de las condiciones de combustión en el quemador al permitir operar con un exceso de aire más bajo.

Los precalentadores de aire pueden ser utilizados, desde el punto de vista económico, en plantas con producciones tan bajas como 11500 kilogramos de vapor por hora. Normalmente se emplean en calderas de producción de potencia y no se utilizan nunca en las calderas pirotubulares al no estar diseñadas para ello. Esta medida de ahorro será preferiblemente aplicada a aquellos procesos que alcancen unas temperaturas próximas a los 870 °C. Si no se superan los 540 °C, no es muy rentable su aplicación. Para procesos que operen a una temperatura comprendida entre estos dos valores, habrá que estudiar cada caso concreto para conocer la viabilidad.

La elección entre un precalentador de aire y un economizador (para precalentar agua de alimentación) para las unidades más grandes se realiza en base a los siguientes aspectos:

- La temperatura de los gases de combustión.

- Los costes de instalación y operación.
- El tipo de caldera y su colocación.
- La presión del vapor de operación, que puede limitar la temperatura máxima del agua de alimentación y, por tanto, la aplicación de un economizador.
- Las propiedades corrosivas del gas de combustión (tipo de combustible), que va a condicionar la temperatura más baja de estos gases (punto de rocío).
- Las necesidades de mantenimiento.

A veces se incorporan ambos equipos, precalentador y economizador, en las unidades más grandes con presión de vapor alrededor de 28 bar.

Los precalentadores de aire se clasifican como recuperadores o regeneradores.

a) Recuperadores.

En los recuperadores, el calor se transfiere directamente desde el gas, situado a un lado de una superficie de separación estacionaria, al aire, colocado al otro lado de esta superficie. Esta superficie de separación puede ser diseñada como una superficie plana o tubular. También están incluidos en este tipo los intercambiadores de serpentín de vapor que se utilizan a veces para precalentar el aire de combustión antes de entrar al precalentador principal.



Fig. 2.58. Recuperador.

Las ventajas de un recuperador serían las siguientes:

- Se puede colocar en una amplia variedad de posiciones físicas.
- Contaminación limitada entre corrientes.
- No necesita energía externa.
- No contiene partes móviles.

Un inconveniente de este tipo de precalentadores es el efecto que causan los depósitos de hollín en la eficiencia de transferencia de calor debido a la dificultad de limpieza de las zonas ensuciadas.

b) Regenerador.

Transfiere el calor de los gases al aire de combustión a través de un medio de almacenamiento de calor intermedio. Las ventajas de este tipo de unidad incluyen:

- Adaptabilidad a distintas posiciones.
- Son compactas y más ligeras que los recuperadores comparables.
- Pasos de flujo cortos que reducen ensuciamiento.
- Transferencia de calor no afectada por los depósitos de hollín.
- Pueden operar con temperatura de salida de gases más baja que los recuperadores.

Las desventajas que presenta serían:

- Contaminación cruzada.
- Necesidad de energía externa.

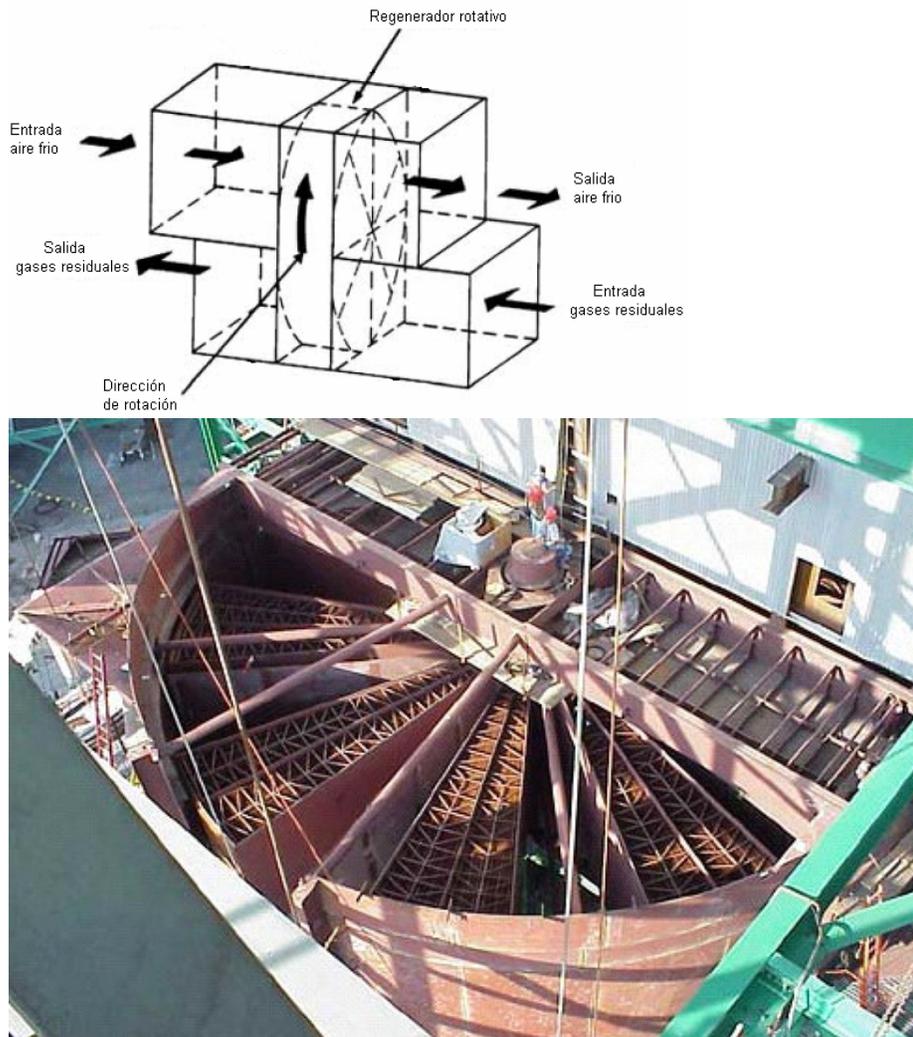


Fig. 2.59. Regenerador rotativo

c) *Tubos de calor (Heat pipes).*

Un tercer tipo de precalentador de aire consiste en el empleo de un intercambiador de calor que contiene tubos de calor (heat pipe). Este tipo de sistemas se adaptan muy bien a las calderas industriales y ofrecen las siguientes ventajas:

- No hay contaminación cruzada.
- No necesita energía externa o partes móviles.
- Mantenimiento mínimo.

La principal desventaja es una temperatura de operación máxima de 316 °C que limitaría su aplicación. Se recomienda bypassar los gases de combustión

para evitar una posible corrosión a baja carga y sobrecalentamientos de los elementos de las tuberías de calor a carga elevada.

Los factores a tener en cuenta a la hora del diseño son los siguientes:

a) Impacto sobre emisiones de NO_x.

Es bien conocido que el incremento de la temperatura del aire de combustión afecta a la emisión de óxidos de nitrógeno (NO_x), particularmente para el gas natural. Para el rango de diseño de calderas industriales, el NO_x incrementa de 20 a 100 ppm por cada 38 °C de aumento de la temperatura del aire de combustión. Condiciones de combustión mejoradas en la cámara de combustión, que dan como resultado una menor necesidad de exceso de aire, tenderían a suavizar este incremento en los niveles de NO_x ya que este contaminante disminuye con menores cantidades de aire en exceso.

b) Materiales.

La temperatura más baja de los gases de combustión a la salida del precalentador de aire se limita para prevenir la condensación de la humedad en las superficies de transferencia, que llevaría a una corrosión por ácido sulfúrico y a unas reparaciones caras. Los factores que afectan a este límite inferior de temperatura incluyen:

- Contenido de azufre del combustible.
- Contenido de humedad de los gases de combustión.
- Tipo de combustible.
- Temperatura del aire ambiente.

Esta temperatura inferior de los gases de combustión puede controlarse mediante una o más de las siguientes actuaciones:

- Bypasar una porción del aire de entrada alrededor de las superficies de calentamiento, por ejemplo en los arranques.
- Recircular una porción de aire caliente de la salida del precalentador a la entrada de aire del mismo.
- Usar un serpentín de vapor en el conducto del aire colocado aguas arriba del precalentador principal.

La corrosión puede también ser controlada usando materiales resistentes como hierro fundido o aceros inoxidable, o bien recubriendo las superficies metálicas con un esmalte.

Los depósitos de cenizas en las superficies de transferencia de calor también contribuyen a la corrosión. Estas cenizas provocan que la temperatura de la superficie metálica descienda, ocasionando la condensación de la humedad de los gases de combustión sobre estas superficies debido a la porosidad de las cenizas. Este condensado se combina con el ácido de la ceniza y promueve la rápida corrosión. Para eliminar los depósitos de cenizas se utilizan sopladores de hollín que emplean vapor o aire como agente de limpieza.

La vida de las superficies de transferencia de calor en un precalentador de aire depende de la prevención de la corrosión y del contenido de azufre del combustible empleado. La vida media oscila de 4 o 5 años para combustibles con alto contenido de azufre a 20 años para el gas natural.

c) Temperatura máxima de los gases de combustión.

La temperatura a la cual el aire de combustión puede ser precalentado está limitada por la temperatura del gas que entra, el tipo de conducto y equipo de quemado, y por la construcción del horno. La temperatura máxima del aire de combustión suele estar comprendida entre 120-180 °C para quemadores de parrilla y será superior a 370 °C para quemadores de carbón pulverizado.

d) Tamaño del precalentador de aire.

Las dimensiones físicas del precalentador de aire se determinan por el tipo y dimensiones de los pasos de aire y gases, por el espacio disponible para el precalentador, tipo de quemador, la temperatura final deseada del aire de combustión y de los gases, las necesidades de flujo de aire y gases y las necesidades de caída de presión.

e) aspectos adicionales.

Además de la mejora lograda en la eficiencia total de la caldera y el ahorro de combustible, los precalentadores de aire ofrecen las siguientes ventajas:

- Mejora la eficiencia de la combustión, lo cual da como resultado una menor cantidad de aire en exceso necesario para la combustión completa y un caudal de gas menor a través de la unidad.
- Ayuda a estabilizar la ignición del combustible, permitiendo una mayor flexibilidad en la carga mejorando las operaciones a baja carga.
- Aumenta la temperatura de la cámara de combustión y la tasa de absorción de calor originando una capacidad de producción de vapor más elevada pero limitada por la capacidad de separación de vapor del tambor.
- Da como resultado una combustión más completa del combustible produciendo gases más limpios.

Los inconvenientes de los precalentadores de aire incluyen lo siguiente:

- Incrementa los costes de mantenimiento de la cámara de combustión y del alimentador de combustible.
- La acumulación de depósitos puede restringir el paso de los gases en el precalentador, lo cual provoca una mayor pérdida de carga del conducto de humos y puede causar serios problemas en casos extremos.

A tener en cuenta.

- Permite utilizar el aire caliente del ambiente como aire de combustión.
- Se pueden alcanzar ahorros de 1-2%.
- Recomendable para calderas de gran tamaño.
- La instalación puede ir a cargo de un chapista local.
- El coste típico es de L1000-L5000.
- El periodo de retorno típico es mayor de tres años.
- El mantenimiento es mínimo.

2.2 Aire comprimido

2.2.1 Instalación e Instrumentación de aire comprimido.

En la siguiente tabla se exponen una lista de Medidas de Ahorro Energético referido a la instalación de aire comprimido que muestra un estimado periodo de retorno, ahorro energético típico y el coste de inversión basado en recientes estudios.

MEDIDA	PERIODO DE RETORNO*	POT. AHORRO**	INVERSIÓN***
Desconectar compresores y secadores cuando no estén en uso	Inmediato	5	Baja
Asegurarse de que los filtros de aspiración estén limpios	Inmediato	6	Baja
Asegurarse de que postenfriadores estén limpios	Inmediato	7	Baja
Establecer una política de aire comprimido, manteniendo un historial y personal cualificado	Corto	1	Baja
Promover un programa de control de fugas, focalizado a la reducción de las mismas.	Corto	4	Medio
Usar sistemas de control de compresores.	Corto	9	Baja
Generar el aire a la presión mínima requerida mejor que regularla en el punto de uso	Corto	10	Baja
Filtrar y secar el aire lo mínimo que sea aceptable.	Largo	9	Media
Asegurarse de que los filtros no estén excesivamente obturados.	Corto	13	Baja
Tomar purgas en todos los tipos de secadores	Corto	17	Baja
Ajustar sistemas de recuperación de calor perdido en compresores.	Medio	8	Media
Aumentar la capacidad de almacenamiento para reducir bajadas de presión	Medio	14	Media
Usar secadores por refrigeración con bombas de calor	Medio	15	Baja
Si es posible, evitar secadores de regeneración sin aporte de calor	Medio	16	Baja
Instalar sistemas de control del punto de rocío en los secadores	Medio	18	Media
Considerar el vapor como regenerador del desecante	Medio	19	Alta
Instalar el conducto de dimensiones apropiadas para la distribución	Largo	2	Alta
Medir y minimizar las pérdidas de presión en toda la red	Largo	3	Media

*El periodo de retorno esta dado como Corto, Medio o Largo donde: Corto < 1 año, Medio de 1 a 3 años y Largo > 3 años.

**En el ahorro 1 representa la medida que ofrece mayor potencial de ahorro.

***La inversión está dispuesta en diferentes categorías que son: Baja < 3000€, Media entre 3000€ y 15000€ y Alta > 15000€.

Tabla 2.14. Medidas de Ahorro Energético en Instalación e Instrumentación de Aire Comprimido.

2.2.1.1 Desconectar compresores y secadores cuando no estén en uso.

Descripción: En muchas ocasiones las necesidades de producción de aire comprimido no son las de la capacidad total de la instalación, o en muchos casos, la instalación de aire comprimido se encuentra sobredimensionada. Esta medida consiste simplemente en la desconexión de los equipos cuando el funcionamiento de estos no es necesario.

A tener en cuenta.

- Casi todas las empresas se aseguran de que los compresores están desconectados. Sólo unas pocas se aseguran de que los secadores estén desconectados.

2.2.1.2 Asegurarse de que los filtros de entrada estén limpios.

Descripción: Los filtros de aspiración cumplen una función de protección a la contaminación por impurezas que pueda contener el aire aspirado, asegurando siempre, de este modo, un funcionamiento eficiente y seguro de los equipos. Es por este motivo que se vuelve de vital importancia el revisar que los filtros se encuentren lo suficientemente limpios. De este modo se consigue que los compresores funcionen de forma óptima.



Fig. 2.60. A) Filtro de partículas. B) Filtro coalescente. C) Filtro de carbón activado.

A tener en cuenta:

- Filtros obstruidos aumentan el trabajo realizado por el compresor.
- Filtros obstruidos producen un excesivo calentamiento de los compresores.

2.2.1.3 Asegurarse de que postenfriadores estén limpios.

Descripción: El objetivo de este accesorio es disminuir la temperatura del aire después de la compresión, ya que el aire después de ser comprimido queda 100% saturado, al tener lugar una disminución brusca de temperatura se presentan condensados, por lo cual podemos decir que este equipo sirve

también para disminuir la cantidad de agua contenida en el aire; esto implica que siempre que se utilice un postenfriador es necesario instalar algún medio para retirar los condensados que este genera, tales como separadores centrífugos (separadores de mezcla).

Esencialmente un postenfriador es un intercambiador de calor en el cual el elemento que pierde calor es el aire comprimido, mientras que el medio que lo gana es algún refrigerante, usualmente aire o agua.

Existen muchas formas posibles para un postenfriador, las más comunes son concha y tubo, tubos aleteados y radiadores.

1.- Postenfriadores AIRE-AIRE.

En lugares donde el aire tiene alta presencia de contaminantes, la utilización de este equipo es cuestionable, ya que aunque el fluido de trabajo es gratuito (menor costo de operación), la cantidad de mantenimiento aumenta los costos.



Fig. 2.61. Postenfriador AIRE-AIRE.

2.- Postenfriadores AIRE-AGUA.

Tiene alta eficiencia, menor necesidad de espacio y mayor costo de operación por el fluido de trabajo y la instalación.



Fig. 2.62. Postenfriadores AIRE-AGUA.

Dado que, al fin y al cabo, se trata de intercambiadores de calor, es obvio que cuanto más limpios estén menor será la resistencia de ensuciamiento, y por tanto la transferencia de calor será mayor.

A tener en cuenta:

- Postenfriadores limpios reducen costes energéticos de los compresores y caudal de refrigerante en los intercambiadores.

2.2.1.4 Establecer una política de aire comprimido, manteniendo unas pautas de trabajo y utilizando personal cualificado.

Descripción: Realizar medidas de ahorro para reducir los costes de producción de aire comprimido no concierne solamente a los compresores. Esto conlleva estudiar la eficiencia y funcionamiento del sistema de manera global, teniendo en cuenta todos los elementos de la instalación.

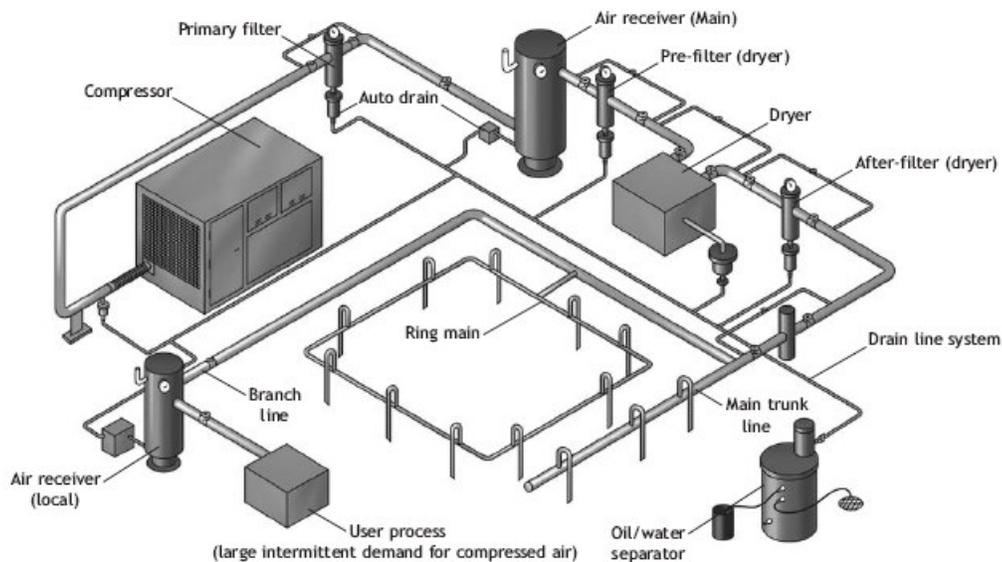


Fig. 2.63. Típica instalación de aire comprimido.

En la evolución de un sistema de aire comprimido, los departamentos que normalmente se ven involucrados son:

- Producción.
- Mantenimiento/dirección de instalaciones.
- Cuentas/departamento de ventas.
- Energía/medioambiente.

Cada estructura, que no tiene un responsable global, frecuentemente conduce a una propuesta descoordinado para mejorar la instalación, como por ejemplo la aparición de conflictos entre varios departamentos.

Por tanto, formular una política de aire comprimido es la clave para mejorar la eficiencia energética de una instalación. Mediante esta política se consigue mejorar el rendimiento de la producción de aire comprimido y cumplir con la legislación.

Una política de aire comprimido debería:

- Designar un director con responsabilidad para asegurar la coordinación de la dirección de la instalación.
- Marcar objetivos que consideren:
 - La labor de cada departamento y su responsabilidad.
 - Concienciación de todos los usuarios de aire comprimido.
 - Establecer los costes de la producción de aire comprimido.
 - Colocar contadores que identifiquen gastos evitables de energía.
 - Implementar un programa de mantenimiento.
 - Definir unas guías de buena conducta y usarla para entrenar a los operarios.
 - Definir una política para el departamento de compras.

Esta propuesta para la dirección de una red de aire comprimido tiene los mismos principios que cualquier dirección energética. Esta propuesta es esencial para obtener la máxima reducción del consumo energético en la instalación. Típicamente se puede conseguir una reducción del 30%.

A tener en cuenta:

- Implementar y cumplir una cierta política de trabajo requiere poco capital y potencialmente ofrece grandes recompensas.
- Con esta medida se identifican los costes.
- Proporciona ahorro.
- Otorga poderes y crea responsabilidades entre el personal.

2.2.1.5 Promover un programa de control de fugas, focalizado a la reducción de las mismas.

Descripción: Las fugas son unas de las causas principales y más comunes de pérdidas energéticas en los equipos de aire comprimido.

El objetivo principal de una planta de compresores es suministrar aire comprimido, de manera que la pérdida de parte de este aire puede traducirse como la pérdida de la energía requerida para su producción y a su vez del coste operacional que ha supuesto.

En las instalaciones en las que no se realiza un mantenimiento adecuado las pérdidas de aire por fugas y escapes pueden alcanzar un 30 % de la capacidad instalada, llegando incluso al 50 % en las instalaciones con menor mantenimiento.

Los puntos donde comúnmente se producen más problemas de fugas son:

- Conexiones, mangueras, tubos y accesorios.
- Reguladores de presión.
- Válvulas de purgadores o de cierre que permanecen abiertas o no funcionan adecuadamente.
- Uniones de tuberías, conexiones de equipos y sellado de roscas.
- Herramientas que permanecen desconectadas.

En la siguiente tabla se muestra el coste energético medio que supone una fuga en función del diámetro del orificio, supuesto circular, a través del que se produce:

Orificio (mm)	Caudal fugado de aire ($P_{man.} = 6 \text{ bar}$) (l/s)	Pérdidas de energía (kWh)
1	1,24	0,3
3	11,14	3,1
5	30,95	8,3
10	123,80	33,0

Tabla 2.15. Costes energéticos originados por fugas en función del diámetro del orificio.

Para evitar las fugas es necesario llevar a cabo una vigilancia especial, un mantenimiento planificado y el correspondiente mantenimiento.

En este sentido es útil establecer un programa de prevención de fugas. Existen dos tipos básicos de programas:

- 1) Programa de etiquetado de fugas.
- 2) Programa de búsqueda y reparación de fugas.

El programa de búsqueda y reparación es el más sencillo de los dos y como su propio nombre indica consiste en localizar la fuga y repararla inmediatamente. Pero en muchos otros casos este programa no es el más indicado, ya sea por el tamaño de la instalación, por la complejidad de la fuga o por motivos de optimización de tiempo.

Para estos casos se emplea el programa de etiquetado, que consiste en la búsqueda, etiquetado y registro de la fuga para su posterior reparación por parte del departamento de mantenimiento.

En la mayoría de los casos la mejor solución es una combinación de ambas técnicas, que consta de una serie de fases claves:

- 1) Estimar la cuantía de las fugas en el sistema, para ello pueden emplearse dos métodos sencillos:

Método 1:

Este método se emplea con los compresores que cuenten con sistema de control por arranque/parada o de carga/descarga. Su interés radica en la sencillez del ensayo que hay que realizar, para el que solo se necesita conocer la capacidad de suministro de aire libre del compresor y un cronómetro.

En primer lugar se cierran las líneas de alimentación de todos los equipos conectados a la red. Se arranca el compresor hasta que el sistema alcanza la presión de trabajo, en este momento el compresor se para automáticamente. En ese mismo instante se pone en funcionamiento el cronómetro. Debido a las fugas la presión del sistema irá disminuyendo hasta alcanzar la presión de arranque del compresor, en el momento en que el compresor arranque se para el cronómetro y se toma nota del tiempo transcurrido.

De igual forma se cronometrará y anotará el tiempo de funcionamiento del compresor. Para obtener unos tiempos representativos se medirán los tiempos de funcionamiento y parada (carga y descarga) de 8 a 10 veces continuadas.

El caudal fugado y el tanto por ciento de la capacidad del compresor que representan las fugas vienen dados por las siguientes ecuaciones:

$$Q_f = \left(\frac{T}{T+t} \right) \cdot Q$$

$$\%Fugas = \left(\frac{T}{T+t} \right) \cdot 100$$

Q_f : caudal fugado (Nm³/min)

Q : caudal suministrado por el compresor (Nm³/min)

T : tiempo medio de funcionamiento (min)

t : tiempo medio de parada (min)

Método 2:

Este método se emplea en aquellos sistemas en los que sus compresores empleen otras estrategias de control. Al igual que el anterior proporciona una medida cuantitativa de las pérdidas que existen en el sistema. Para su realización es necesario que el sistema cuente con un manómetro aguas abajo del depósito y conocer el volumen total del sistema de distribución. El procedimiento es similar al del método anterior. Se aumenta la presión en el sistema hasta la presión de trabajo, entonces se para el compresor y se cierran las válvulas. Se toma nota de la presión y temperatura en ese momento y se activa el cronómetro. A partir de éste momento pueden seguirse dos metodologías diferentes: se especifica un tiempo para el ensayo (mínimo 10 minutos) y pasado este tiempo se anotan los valores de presión y temperatura o se especifica la presión final y se anota el tiempo que se tarda en alcanzarla y la temperatura en ese momento.

El caudal fugado viene dado por la siguiente expresión:

$$Q_f = \frac{V \cdot 293}{t \cdot T} \cdot (P_1 - P_2)$$

$$T = \frac{T_1 + T_2}{2}$$

Q_f : caudal fugado (Nm³/min)

V : volumen de las tuberías (m³)

T : temperatura media del aire (K)

T_1 : temperatura inicial (K)

T_2 : temperatura final (K)

t : tiempo de duración de la prueba (min)

P_1 : presión inicial (bar) (absolutos)

P_2 : presión final (bar) (absolutos)

2) Determinar el coste que suponen las fugas:

A partir del tanto por ciento de la capacidad del compresor que suponen, del consumo específico de la planta de compresión y del coste de la energía. El calculo de los costes generados por las fugas no solo se emplea para comprobar posteriormente la eficacia del programa, sino que también da una idea de la cantidad de recursos que pueden ser destinados a este.

3) Identificación de fugas:

Para ello pueden emplearse métodos rudimentarios pero eficaces como pueden ser la localización de las fugas de mayor envergadura por el sonido que generan y de las de menor tamaño aplicando agua jabonosa con una brocha en aquellos sitios en los que se prevea que pueden generarse fugas. Existen métodos más sofisticados como es el empleo de detectores de fugas por ultrasonidos. Estos equipos reconocen los sonidos de alta frecuencia asociados a las fugas sin que existan interferencias con el ruido generado por el resto de la maquinaria de la planta. Estos detectores son capaces de localizar fugas de medio y gran tamaño. Las ventajas que presentan son: una gran versatilidad, velocidad, facilidad de uso, posibilidad de realizar la detección mientras funcionan el resto de equipos y la capacidad que tiene para detectar una gran variedad de fugas; además apenas requiere formación para su correcto manejo.

4) Documentación de las fugas:

Documentar la localización, el tipo, tamaño y el coste estimado de la fuga. Para identificar las fugas se emplean etiquetas, además se registran en una lista de fugas. Si se está empleando el método de detección y reparación de fugas deben de documentarse igualmente para poder cuantificar la eficacia del programa.

5) Organizar por prioridades la reparación de las fugas:

Reparar las fugas de mayor tamaño en primer lugar, así se obtendrán los mayores ahorros. Reparar una fuga puede ser tan sencillo como apretar una conexión o cerrar una válvula o tan complicado como remplazar un equipo dañado o algún componente del sistema.

6) Ajustar el sistema de control:

Una vez que las fugas han sido reparadas será necesario reajustar los parámetros de control del sistema para alcanzar el ahorro potencial del programa.

7) Documentar las operaciones:

Reparando en las fugas que se han reparado y en el ahorro conseguido. Esta información será útil para comprobar la eficacia del programa e identificar problemas de fugas recurrentes en determinados equipos. Cuando esto ocurra, tendrá que revisarse el proceso para identificar la raíz del problema y encontrar una solución permanente para acabar con la fuga definitivamente.

8) Comparar consumos iniciales y publicar los resultados:

La eficacia del programa y el ahorro que supone puede determinarse mediante la comparación del consumo de energía antes y después de haberse llevado a cabo. Después se publican el programa seguido y los resultados que puedan obtenerse.

9) Repetir el programa:

Para que el programa sea realmente útil tendrá que realizarse periódicamente.

Como medidas adicionales para la prevención de fugas pueden seguirse sencillas pautas, como:

- Emplear accesorios, conexiones, mangueras, abrazaderas de mangueras y tuberías de buena calidad, cuidando su correcta instalación y utilizando los sellantes o juntas adecuadas.
- Desconectar equipos ociosos. No mantener conectados a la red de distribución equipos que no se encuentren en funcionamiento, ya que pueden ser una fuente adicional de fugas. Estos equipos deben ser aislados mediante una válvula de cierre del sistema de distribución.
- Mantener la presión media del sistema cerca del valor mínimo requerido, ya que el caudal fugado a través de un orificio será mayor cuanto mayor sea la diferencia de presiones a ambos lados del mismo.
- Reducir la presión de aire para usos de soplado, a fin de ahorrar aire y aumentar la seguridad.

A tener en cuenta:

- Alrededor de un 50% de las fugas son detectadas.

- Las fugas representan una importante reducción de los beneficios.
- Las fugas son molestas, asociadas a niveles de sonido que aumentan imperceptiblemente.

2.2.1.6 Usar sistemas de control de compresores.

Descripción: Muchos compresores funcionan la mayor parte de su vida a carga máxima incluso no siendo esto necesario. Un control eficiente de los compresores a carga parcial, y desconectándolos cuando no se necesiten, pueden proporcionar un ahorro del 5 al 20% en los costes totales de generación. Hay tres aspectos del control de compresores considerar:

- Control individual de compresores.
- Control múltiple de compresores.
- Control de todo el sistema.

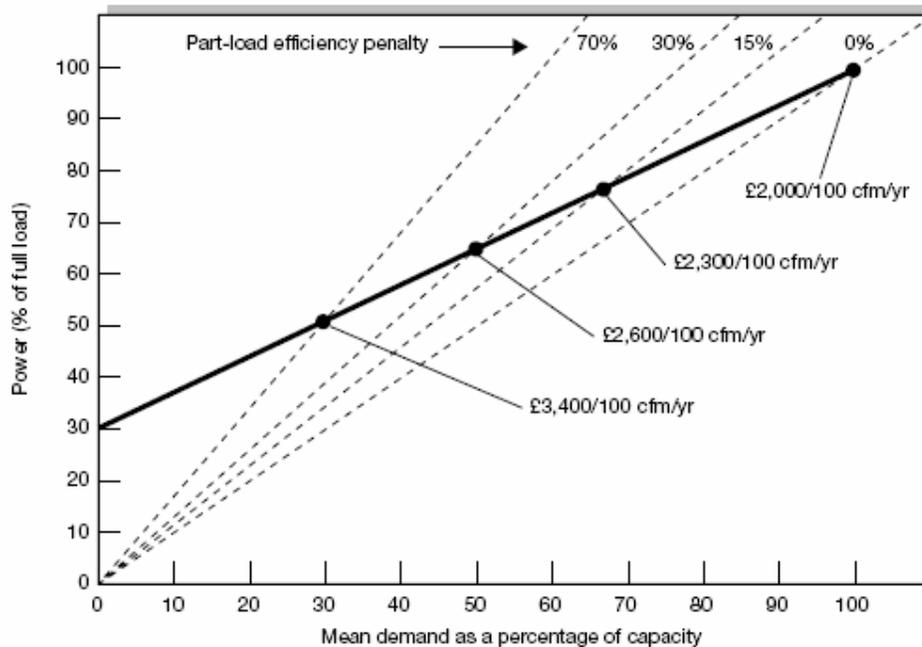


Fig. 2.64. Coste de una mala eficiencia a carga parcial.

a) Control individual de compresores.

Existen muchas configuraciones para los compresores, y muchos métodos de control. Los métodos más comunes de control son los siguientes:

- Stop/Start (solo para pequeños compresores).
- On -line/off-line.

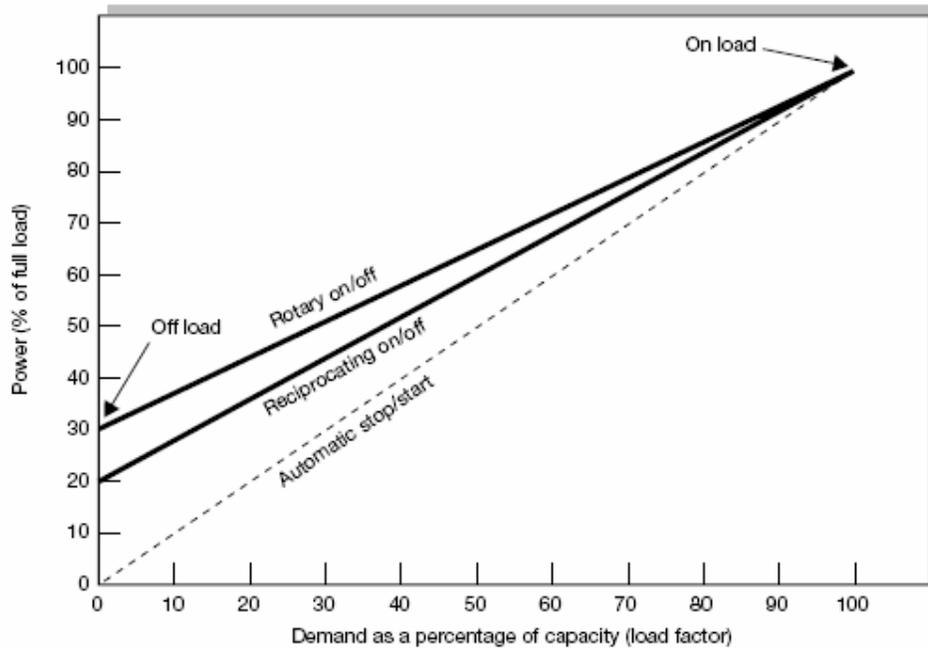


Fig. 2.65. Funcionamiento a carga parcial usando un controlador on-line/off-line.

- Cilindro fuera de carga (solo para compresores de pistón).
- Modulación.

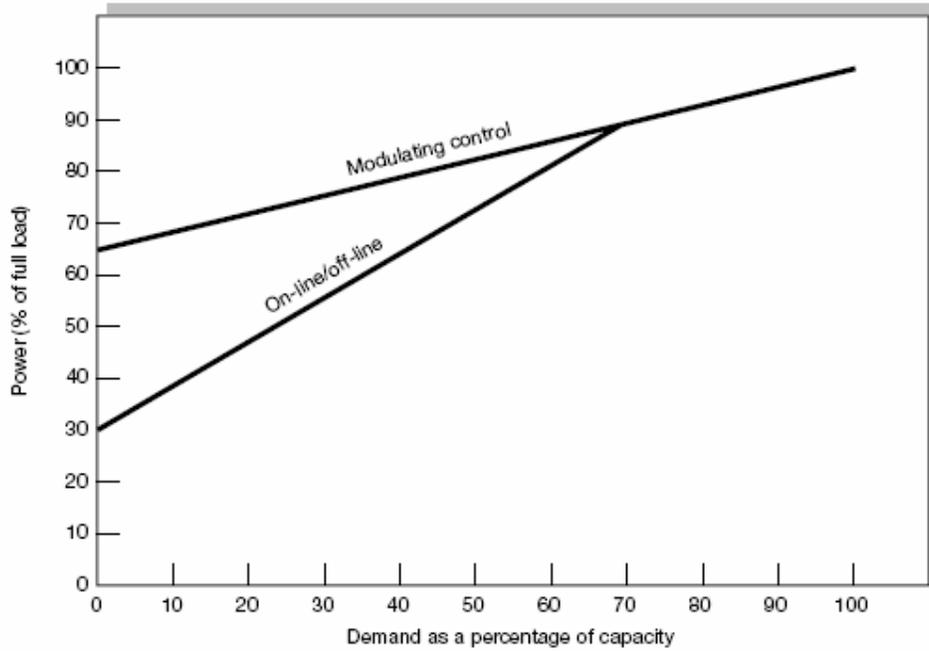


Fig. 2.66. Funcionamiento a carga parcial con control de modulación.

- Control de velocidad variable.

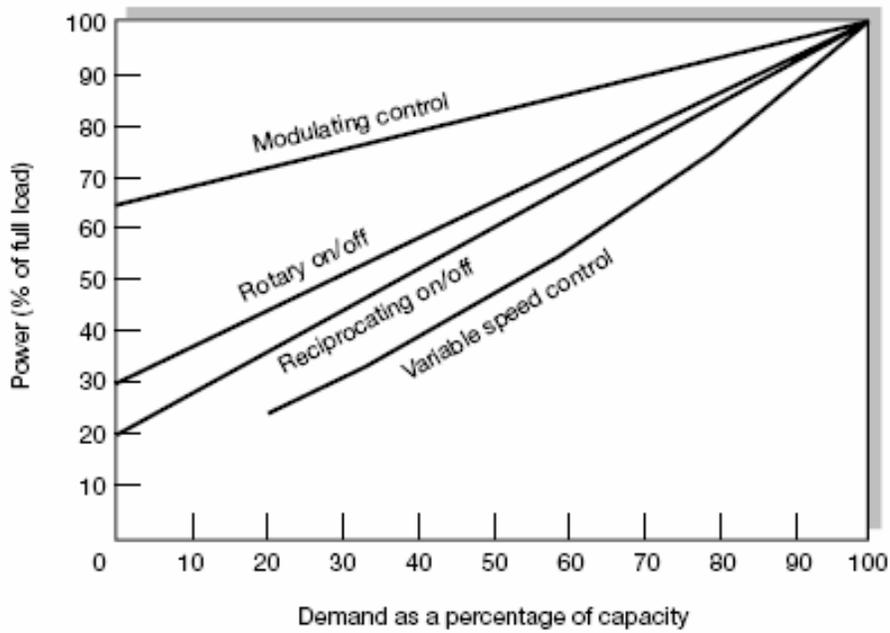


Fig. 2.67. Comparación del funcionamiento a carga parcial de un compresor con variador de velocidad con los demás sistemas de control.

b) Control múltiple de los compresores.

En muchas instalaciones se cuenta con más de un compresor, permitiendo una variación de capacidad para ajustarse lo más posible a la demanda. Controladores de secuencia automáticos pueden elegir la mejor combinación para ajustar la demanda basándose en la presión, o en algunos casos, en la medida del flujo. Existen muchos sistemas de control automático para optimizar el funcionamiento de múltiples compresores. Las dos más famosas se describen a continuación.

1) Control de la presión en cascada.

Esta simple forma de control está basada en interruptores mecánicos accionados por presión que conectan máquinas cuando la presión cae.

En la siguiente figura se muestra el compresor No. 1 fijado a la más alta presión para bajas demandas. A medida que la demanda crece, la presión cae, conectándose la siguiente máquina en línea, y así hasta que se alcance la máxima producción de los cuatro compresores.

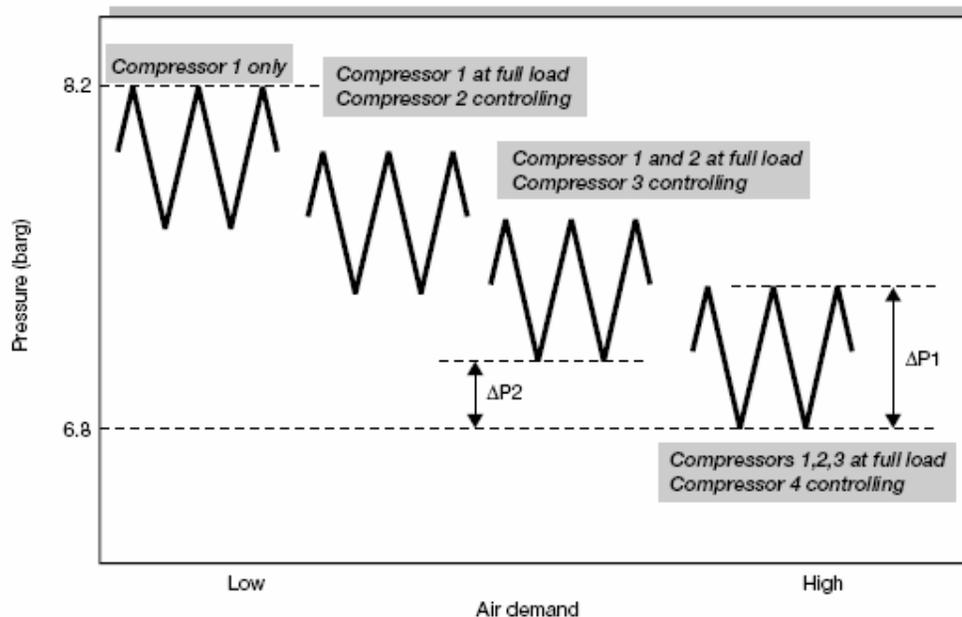


Fig. 2.68. Situación típica de un control de presión en cascada.

2) Control electrónico.

Los controladores electrónicos pueden ser usados en un control secuencial basado en una combinación de señales de presión y demanda. Esto evita la necesidad de fijar determinados niveles de

presión a cada compresor, y elimina el ancho de banda del control de presión inherente al control de cascada.

Evitando unas presiones prefijadas a cada compresor se permite que la presión en la generación pueda ser variada de acuerdo a la demanda. La presión puede ser menor en el fin de semana y durante la noche.

El funcionamiento de este tipo de controladores se puede observar en la siguiente figura.

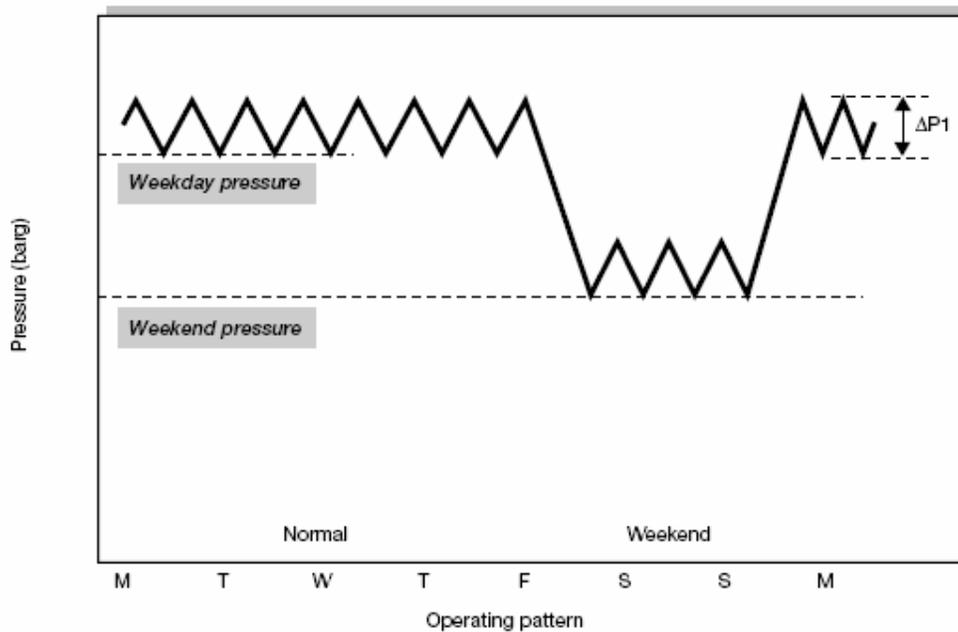


Fig. 2.69. Reducción de la presión para ajustarse a los requerimientos usando control electrónico.

c) Control total del sistema.

Los sistemas de control varían extensamente en complejidad. En general, los sistemas de control más complejos proporcionan mayor flexibilidad y beneficios, pero requieren de una muy delicada puesta en marcha. Todos los sistemas requieren de un grado de seguimiento para asegurar un correcto funcionamiento.

1) Control Simple.

El sistema solo requiere una relativamente simple zona de control que permitan aislar zonas cuando estas no se encuentren en so. Hay que hacer notar que todo sistema de control que se tenga pensado instalar ha de ser consultado con el proveedor de los compresores para asegurar de que la instalación es apropiada y no compromete el funcionamiento ni las garantías del producto.

Un interruptor con un temporizador es el método más simple para fijar un control temporal que puede ser usado para parar la planta cuando no se requiera aire comprimido, en orden de ahorrar energía.

2) Control integrado.

Un control integrado puede formar parte del sistema de control de la industria y controlar los compresores y sus zonas. Los controladores integrados también pueden ser usados para realizar un seguimiento de la operación de la planta, demanda de aire, consumo eléctrico, etc, y puede indicar cuando la planta requiere operaciones de mantenimiento basándose en las horas de funcionamiento.

Se pueden usar alarmas para detectar los fallos más importantes de la instalación. En la siguiente figura se muestra una instalación típica de un control integrado.

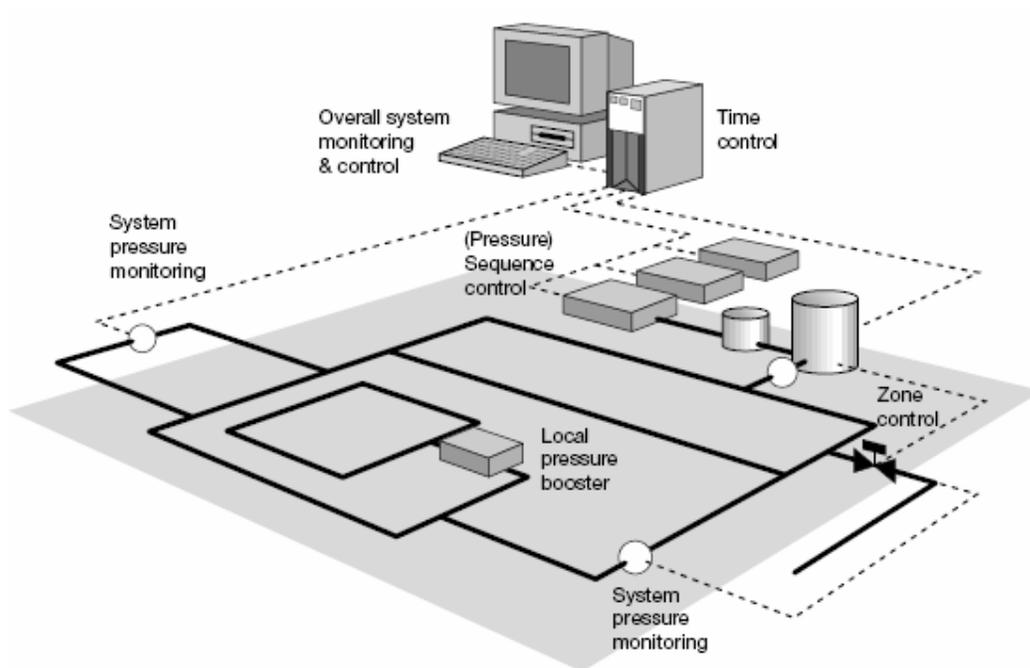


Fig. 2.70. Típica instalación de un sistema de control integrado.

A tener en cuenta.

- Múltiples compresores sin un sistema de control apropiado compiten entre ellos en vez de trabajar juntos.
- Instalar controles basados en transductores de presión en vez de detectores de variación de presión.

- Instalar controladores “inteligentes”.

2.2.1.7 Generar el aire a la presión mínima requerida mejor que regularla en el punto de uso.

Descripción: En un sistema de aire comprimido la presión de suministro del compresor tiene que ser superior a la requerida por los equipos y herramientas conectados al sistema, ya que el aire tendrá que vencer una pérdida de carga en su trayecto desde el compresor hasta el equipo en cuestión. Estas pérdidas de carga o presión se dividen entre las originadas en el sistema de tratamiento del aire (refrigeradores posteriores, secador, separadores, filtros...) y las generadas durante su circulación a lo largo del sistema de distribución.

La misión del sistema de control de la planta de aire comprimido es acomodar el suministro de aire a la demanda de los equipos. Los sistemas de aire comprimido se diseñan normalmente para operar dentro de un rango de presiones fijo y para descargar un volumen de aire que varía con la demanda, lo cual se consigue mediante la monitorización de la presión del sistema y la acción del sistema de control que disminuye la descarga del compresor cuando la presión aumenta más allá de un valor máximo determinado (ejemplos típicos: sistema de control individual mediante arranque/parada o carga/descarga y sistema de control generales –para plantas con varios compresores- en cascada).

La diferencia entre el nivel de presión superior (donde el suministro es nulo) e inferior (donde el compresor trabaja a plena carga) se conoce como rango de control. Dependiendo del patrón de demanda del sistema y del tipo de sistema de control empleado, el rango de control se moverá entre 0,1-1,4 bar. En las instalaciones antiguas los sistemas de control individuales y generales son lentos e imprecisos y por este motivo se producían grandes oscilaciones de presión. Como consecuencia de estas oscilaciones, las presiones de consigna (límite inferior y superior del rango de control) debían ser mayores a las inicialmente necesarias para evitar que la presión en el sistema cayera por debajo de la requerida por los equipos durante las oscilaciones. Por este motivo la presión media en el sistema era generalmente superior a la requerida por los equipos, con el consiguiente desperdicio de energía.

La medida de ahorro energético a la que se refiere este apartado consiste básicamente en variar el rango de control del compresor. Para ello es necesario determinar la presión mínima de suministro requerida para que todos los equipos conectados a la red de distribución trabajen dentro del rango de presiones para el que están diseñados. Una vez determinada, basta con ajustar el rango de control del compresor bajando las presiones de consigna.

Esta medida puede aplicarse fácilmente en compresores alternativos y rotativos de tornillo. El ahorro energético obtenido dependerá de la potencia del compresor, del factor de carga y funcionamiento, del factor de reducción de

potencia, de la reducción de la presión de descarga, de la presión de alimentación y del tipo de compresor.

Solo debe considerarse cuando la diferencia entre la presión de suministro del compresor y la presión de trabajo de los equipos sea mayor o igual a 0,7 bar (excepcionalmente puede emplearse en aquellos sistemas en los que la red de distribución es muy larga o las caídas de presión muy altas).

Actualmente existen sistemas de control basados en microprocesador más rápidos y exactos que los sistemas de control antiguos, y compresores de velocidad variable con estrechos rangos de control que permiten reducir las presiones de consigna del sistema. En definitiva los sistemas de control actuales son capaces de mantener una presión media baja sin rebasar la mínima presión requerida para el funcionamiento adecuado de todos los equipos.

Independientemente de la calidad de control del sistema, ya sea de nueva adquisición o cuente con cierta antigüedad, es necesario ajustar el rango de control a las necesidades de cada planta en particular.

La obtención de la presión mínima de suministro requerida por el sistema puede llevarse a cabo experimentalmente de forma eficaz y sencilla. Para ello es necesario conocer inicialmente la presión actual de suministro del compresor o rango de control.

Una vez conocido se avisa a todos los operarios de los equipos de que se procederá a bajar la presión del sistema, de forma que cada semana se baja 0,1 bar la presión de consigna inferior (presión de arranque o funcionamiento a plena carga). Esta nueva presión de consigna inferior se mantendrá constante durante toda la semana o hasta que se detecten problemas en el funcionamiento de algún equipo, en cuyo caso se procederá a subir la presión de consigna inferior 0,1 bar dándose por concluida la búsqueda de la presión mínima requerida por el sistema. Una vez establecida la presión de consigna inferior es necesario reducir la superior, para que el rango de control sea lo más estrecho posible. De igual forma y en el caso en el que no se disponga de un patrón de la demanda del sistema, puede procederse experimentalmente bajando periódicamente la presión de consigna superior. Este caso es más complejo, puesto que hay que llegar a un compromiso entre los ahorros obtenidos por la reducción de la presión de suministro del compresor y el aumento de la potencia consumida por el compresor que puede generarse al funcionar durante más tiempo a carga parcial. En el caso de compresores con control arranque/parada no existirá este problema y el parámetro de control será el número de arranques máximos por hora que pueda realizar el motor.

La modificación del rango de control puede considerarse como la medida activa mediante la cual se reduce la presión media de trabajo del compresor. Sin embargo, existen otros factores y medidas desde el punto de vista del diseño y el mantenimiento destinado a reducir las caídas de presión en el sistema que

afectan directamente a la presión mínima de suministro requerida como pueden ser por el sistema, como pueden ser:

- 1) Selección de equipos de tratamiento (refrigeradores posteriores, separadores de humedad, secadores y filtros) que originen menores pérdidas de presión al trabajar con el caudal máximo de operación. Una vez instalados los equipos deben seguirse las recomendaciones de mantenimiento del fabricante de forma estricta.
2. Un diseño adecuado del sistema de distribución. Por ejemplo puede diseñarse de forma que la velocidad de circulación del aire sea relativamente baja; en los colectores principales puede considerarse una velocidad máxima de 6 m/s, en ramales menores a 15 m pueden admitirse velocidades más altas.
3. Operación y mantenimiento de los filtros de aire y los equipos de secado en condiciones óptimas para evitar los efectos de la humedad, como puede ser la corrosión de las tuberías.
4. Diseño del sistema de distribución de forma que se minimice el recorrido realizado por el aire hasta llegar al equipo.
5. Selección de los reguladores de presión, lubricadores, mangueras y acoplamientos que presenten las mejores características de funcionamiento con la menor presión diferencial, ya que en estos elementos se dan las caídas de presión más importantes. Estos componentes deberán de ser seleccionados utilizando el valor real de caudal, no el valor medio. Por ejemplo: con un consumo de aire de 80 l/s a 6 bar, la caída de presión pasa de 0,2 a 0,1 bar, en 5 m, si el diámetro interno del acoplamiento de manguera se aumenta de 15 a 17 mm.
6. Evitar las reducciones grandes en la sección de la red de distribución, ya que originan pérdidas de presión.
7. Las salidas de la red deben realizarse desde la parte superior del colector y no en línea recta hacia abajo.
8. Las mangueras de conexión a herramientas deben ser suaves, flexibles y lo más cortas posible, tratando de no exceder una longitud de 5 m.

En función de las características de los equipos alimentados por el sistema, pueden realizarse las siguientes recomendaciones:

- 1) Empleo de quipos que trabajen a bajas presiones en aquellas aplicaciones que utilicen cantidades significativas de aire comprimido. El incremento en los costes de adquisición, debido al empleo de

componentes específicos (p.e.:pistones de mayor diámetro), se amortiza con facilidad con el ahorro energético obtenido.

2. Si una aplicación individual requiere mayor presión que el resto de equipos de una planta, puede ser recomendable remplazar o modificar esta aplicación en lugar de aumentar la presión del sistema. En el caso de no poderla remplazar puede ser igualmente interesante estudiar la posibilidad de utilizar un sistema de aire comprimido individual para esa aplicación o compresores pequeños de alta presión.
3. Cuando la demanda de aire a baja presión sea considerable, será recomendable generar aire a baja presión y aire a alta presión en sistemas separados en lugar de generar aire a alta presión y emplear válvulas de regulación para reducirla.
4. Emplear soplantes en lugar de sistemas de aire comprimido para aquellas aplicaciones en las que se requiere aire a baja presión como: agitación, transporte neumático, aire de combustión.
5. Depurar el aire hasta la calidad demandada. Los equipos de depuración del aire introducen grandes pérdidas de presión en el sistema, mayores cuanto mayor sea su rendimiento de separación. No es recomendable utilizar aire de menor calidad a la requerida aunque se obtuviera un ahorro energético porque provocaría un descenso del rendimiento de operación de los equipos y de su vida útil.

A tener en cuenta.

- ¿Por qué generar aire a 10 bar para luego regular la presión a 6.5 bar?
- Generar aire comprimido a 6.5 bar en vez de a 10 bar puede producir un ahorro del 23% en costes de operación.

2.2.1.8 Filtrar y secar el aire al mínimo permitido.

Descripción: Aunque casi toda la atención en la instalaciones de aire comprimido se centra en los propios compresores, el equipo de tratamiento del aire consume energía y debería ser revisado para obtener el potencial ahorro energético. Este equipamiento incluye secadores, filtros y drenes de condensado.

La aplicación que se le va a dar al aire comprimido es la impone el nivel de calidad que ha de tener dicho aire y de ahí se ha de sacar el tipo de tratamiento que ha de establecerse.

Por ejemplo, la necesidad de que la calidad del aire sea mucho mayor es mucho más importante en aplicaciones de pintado por spray, ensamblaje

electrónico y la producción farmacéutica que en otras como el montaje de herramientas.

La primera etapa de extracción de agua ocurre en el postenfriador y en el depósito de almacenamiento. Sin embargo, muchos sistemas requieren un tratamiento adicional. El alto grado de filtración y de secado requerido aumenta los costes energéticos. Esos costes se ven afectados por las caídas de presión producidas en los filtros y secaderos y también la electricidad usada por los secaderos refrigerados y otras fuentes de energía utilizados para regenerar el desecante.

Sin embargo, solo una pequeña parte del aire comprimido necesita ser tratada a un alto nivel. Se pueden conseguir importantes ahorros energéticos mediante el tratamiento de todo el aire comprimido al nivel mínimo permitido, y proporcionando una calidad especial en solo aquellos puntos donde sea necesario. En cambio, la calidad del producto y el rendimiento del proceso no deberían ser comprometidos por el propósito de obtener un cierto ahorro energético.

A tener en cuenta.

- Secadores por refrigeración tienen menos coste de operación que otros secadores.
- Conseguir mejor calidad de aire para aplicaciones específicas.
- Filtrar mejor el aire para aplicaciones que así lo requieran.

2.2.1.9 Asegurarse de que los filtros no estén excesivamente obturados.

Descripción: La filtración se requiere para eliminar los contaminantes que contiene el aire comprimido. Los filtros deben ser situados antes y después de los secaderos y, por supuesto, en el punto de uso.

A medida que realizan su función, los filtros se van bloqueando paulatinamente. Esto puede causar:

- Disminución del rendimiento.
- Puede comprometer la calidad del producto.
- Provocará un aumento del consumo de energía.

Por tanto, los filtros deben ser revisados periódicamente como parte del programa de mantenimiento. Muchos filtros tienen un nivel que indican el grado de ensuciamiento sin necesidad de desmontar el elemento, que funciona indicando la caída de presión que se produce cuando el flujo del aire atraviesa el filtro.

A tener en cuenta.

- Uno de los mayores costes asociados a la filtración es la energía necesaria para suplir las grandes pérdidas de carga del sistema.
- Tener un registro en cada filtro.

2.2.1.10 Tomar purgas en todos los tipos de secadores.

Descripción: El vapor de agua siempre se encuentra presente en el aire de alimentación del compresor. Mediante un descenso de la temperatura del aire o un aumento de la presión, este vapor condensa. Este condensado está normalmente contaminado con otras partículas sólidas. Todos los condensados deben de ser eliminados de filtros, secadores y acumuladores de aire para cumplir con Water Resources Act 1998 para prevenir la contaminación del aporte de agua pública.

El condensado se recoge mediante la instalación de trampas de condensado. Éstas se suelen colocar en componentes donde el vapor suele condensar, por ejemplo:

- Postenfriadores.
- Acumuladores.
- Secadores.
- Filtros.

El mantenimiento y los costes energéticos difieren considerablemente entre los diferentes tipos de trampas de condensado. Las principales se muestran a continuación:

- Trampas de nivel: este tipo consta con un sistema de control inteligente que detecta y descarga el condensado solo cuando está presente y sin pérdida del valioso aire comprimido. Este tipo de trampas tienen un alto rendimiento y precisan de un bajo mantenimiento.
- Trampas temporizadas: Estas trampas requieren frecuentes ajustes del temporizador para acomodar los cambios de carga en el sistema. Cuando están ajustados incorrectamente puede producirse la descarga de aire comprimido. La frecuencia y duración del drenaje varía de una instalación a otra.
- Drene manual: el drenaje manual requiere una constante revisión y vaciado. Como resultado este tipo de trampas suelen estar parcialmente abiertas para facilitar la descarga del condensado. No es una buena

solución dado que a la vez se está descargando aire comprimido a la atmósfera por lo que se reduce la presión de operación.

- Trampa de flotador mecánico: estas trampas son sensibles al ensuciamiento y suelen estar abiertas, descargando aire permanentemente, o cerradas, permitiendo la acumulación del condensado contaminado.
- Trampa de disco y vapor: En condiciones normales de operación, esta válvula está constantemente descargando aire si no hay condensado presente. También consigue emulsionar el condensado, previniendo la separación in situ.

El uso de trampas ineficientes es la mayor causa de pérdidas y por tanto una manera de desperdiciar energía. Aunque trampas manuales y con temporizador son las más baratas, tienen por el contrario unos costes de operación muy altos. En la siguiente tabla se muestra una comparativa de las trampas mencionadas anteriormente.

Tipo de trampa de condensado	Aire perdido (litros/s)	Gasto energético (kWh/día)	Gasto energético (€/año)
Trampa temporizada	1.0	0.41	64.25
Trampa manual (medio abierta)	43.3	17.3	2,730
Trampa de flotador mecánico (abierta)	4.7	1.89	298.0
Trampa de disco y vapor	1.8	0.76	120.0

Tabla 2.16. Comparación del gasto de las diferentes trampas de condensado.

A tener en cuenta.

- La purga está directamente relacionada con los costes de operación de los compresores.
- Controlar las purgas. ¿Por qué purgar un 30% cuando solo el 15% es necesario?

2.2.1.11 Ajustar sistemas de recuperación de calor perdido.

Descripción: Una gran parte de la energía empleada por el compresor se transforma en calor, esto hace que su recuperación pueda suponer un ahorro de energía importante. La recuperación del calor generado durante la compresión debe ser tenida en cuenta en el diseño de nuevas instalaciones, siendo un elemento importante a discutir con el proveedor y una característica fundamental para la decisión en una comparación de ofertas.

Durante el proceso de compresión aumenta la temperatura del aire, por lo que será necesario su enfriamiento para mantener la temperatura de trabajo del compresor dentro de los límites de diseño, mejorar el rendimiento o

deshumedecer el aire comprimido. Esta refrigeración se realiza después de cada etapa de compresión mediante refrigeradores intermedios o posteriores.

De forma genérica puede afirmarse que aproximadamente un 90 % de la energía consumida por el compresor se transforma en energía recuperable, mientras que un 10 % permanece en el aire comprimido o pasa a la sala de compresores irremediablemente. Aun así, no toda la energía puede recuperarse, pero con distintas disposiciones pueden obtenerse altos rendimientos, de forma que la inversión inicial pueden compensarse con los ahorros de energía obtenidos.

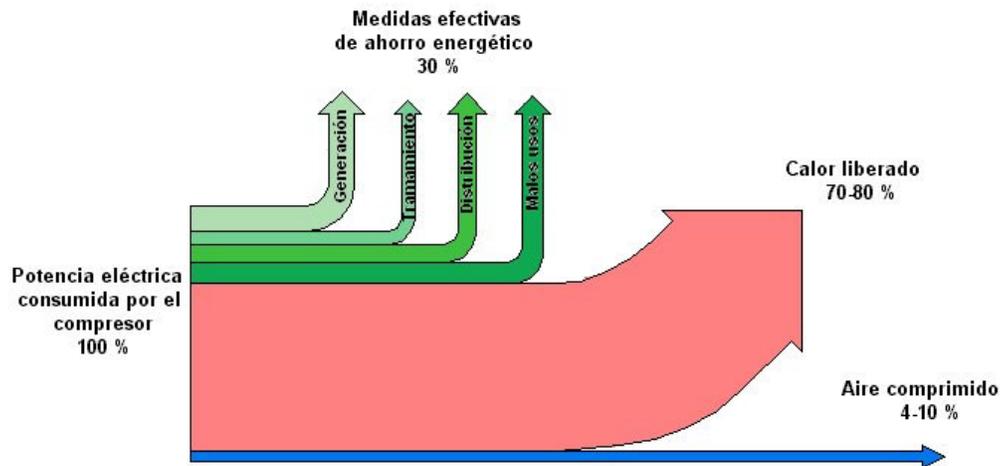


Fig. 2.71. Diagrama de Sankey de un sistema de aire comprimido.

En los compresores refrigerados por agua puede recuperarse hasta el 90 % de entrada, en forma de agua caliente a temperatura de 70-95° C. Esta agua puede emplearse para duchas, calefacción, alimentación a calderas, etc...

En los compresores refrigerados por aire, el aire caliente que sale del refrigerador intermedio y posterior, con temperaturas de 10-20° C superior a la ambiente, puede emplearse para calefacción, regeneración del desecante en los secadores, secado, alimentación de quemadores...

Existen multitud de aplicaciones para realizar la recuperación del calor. Identificar qué alternativa y que mecanismo de recuperación son los más adecuados dependerá principalmente de las diferentes demandas de calor que existan en la planta, del tamaño del compresor y del tipo de refrigeración que emplee.

A continuación se describen las aplicaciones más comunes del calor recuperado en función del tipo de compresor instalado y de su tamaño:

1. Compresores alternativos:

- Refrigerados por aire:
 - a. Unidades de pequeña capacidad: En estos equipos el aire caliente se extrae de la planta de compresión a través de ventanucos practicados en las paredes para utilizarlo en la calefacción del recinto.
 - b. Unidades de gran capacidad con refrigeradores integrados: El equipo de refrigeración puede conectarse a un sistema de conducción para su utilización en calefacción, secado...
 - c. Unidades de gran capacidad con refrigeradores separados: En estos equipos será más difícil recuperar el calor emitido. Sin embargo, conectando a un sistema de distribución el refrigerador intermedio o el refrigerador posterior puede recuperarse hasta un 50 % del calor disponible.
- Refrigerados por agua:
 - 1) Normalmente el refrigerador intermedio, posterior y los encamisados de los cilindros están refrigerados por un circuito exterior conectado a un intercambiador de calor que puede emplearse para calentar agua para uso sanitario, para alimentar calderas, para calefacción u otras demandas de proceso.
- 2) Compresores de tornillo lubricados (de inyección en aceite):
 - Refrigerados por aire:
 - a. Unidades de pequeña capacidad: En estas unidades es normalmente sencillo recuperar el aire caliente a través de un toldo o marquesina o directamente desde la habitación donde se encuentre el compresor.
 - b. Unidades de gran capacidad: Normalmente están cubiertas por un toldo que permite recuperar el aire caliente, para su posterior transporte mediante un sistema de conducción hasta donde se emplee para calefacción.
 - c. Adicionalmente podrá producirse agua caliente incorporando un intercambiador de calor agua-aceite como refrigerador del lubricante.
 - Refrigerados por agua:
 - a. Los circuitos de los refrigeradores intermedios y posteriores, están refrigerados a su vez mediante un circuito externo de agua. Para ello se emplea un intercambiador de calor que puede generar

agua caliente para uso sanitario o para alimentar una caldera o para satisfacer otras demandas de proceso.

3) Compresores rotativos de tornillo no lubricados:

▪ Refrigerados por aire:

Normalmente se encuentran encerrados en marquesinas acústicas, de forma que el calor evacuado en los refrigeradores intermedios, de aceite y posterior puede ser recuperado mediante un sistema de conducción conectado a la salida del aire de refrigeración del equipo.

▪ Refrigerados por agua:

a. Puede emplearse un intercambiador de calor para el circuito de refrigeración en el que se genere agua caliente sanitaria o para alimentar calderas o para satisfacer la demanda de otros procesos.

b. Algunos modelos especiales disponen de refrigeradores intermedios y posteriores de doble paso capaces de producir agua a 95° C.

c. Algunos modelos vienen equipados con un secador de adsorción integral que emplea el calor liberado para regenerar el desecante.

4) Compresores centrífugos:

a. La mayoría de estos equipos están refrigerados por agua y presentan dos, tres o cuatro etapas de compresión. Para refrigerar el propio agua de refrigeración se emplea un intercambiador que a su vez produce agua caliente para cualquiera de los usos ya mencionados.

b. El rendimiento y control de estas unidades debe ser muy estrictos para que la temperatura del agua de refrigeración se mantenga próxima a su valor óptimo de funcionamiento. Será necesario consultar al fabricante antes de introducir medidas de recuperación de energía en estos equipos.

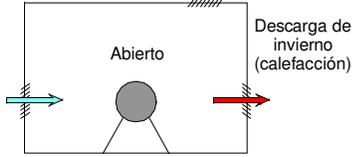
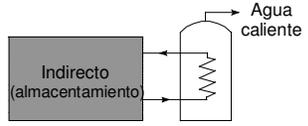
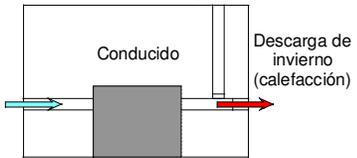
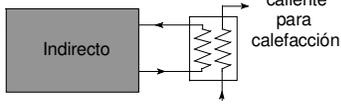
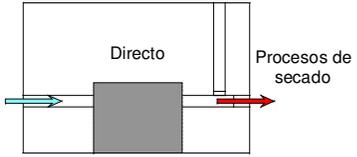
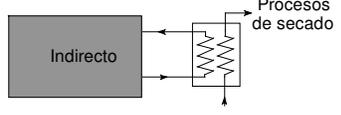
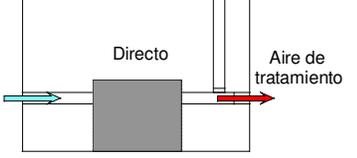
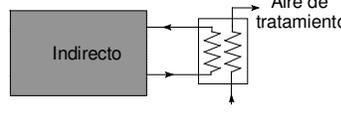
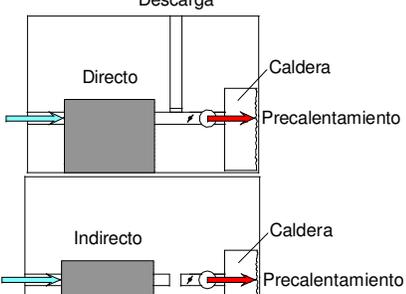
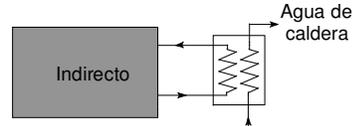
		Medio de refrigeración	
		Aire Normalmente se emplea en compresores alternativos, de tornillo o de paletas de pequeña capacidad (refrigerados por aire)	Agua Normalmente se emplea en compresores centrífugos, alternativos y de tornillo de gran capacidad (Refrigerados por agua o por aire que posteriormente es alimentado a un intercambiador)
Calefacción y agua para servicios sanitarios	Calefacción Descarga de verano 	Agua caliente 	
	Descarga de verano Conducido Descarga de invierno (calefacción) 	Calefacción 	
Procesos	Procesos de secado Descarga 	Calentamiento de procesos 	
Tratamiento del aire comprimido	Secado de aire comprimido Descarga 	Secado de aire comprimido 	
Pre calentamiento en calderas	Pre calentamiento del aire de combustión Descarga 	Pre calentamiento del agua de caldera 	

Fig. 2.72. Mecanismos de recuperación del calor liberado por los compresores.

En los circuitos de agua caliente se instalan válvulas reguladas termostáticamente para evitar la fuerte dependencia de la temperatura del agua de refrigeración con las fluctuaciones de carga del compresor. Si el agua de salida va a ser almacenada en un recipiente para su utilización directa en baños, estufas, etc..., solo se requiere un recipiente común; si el agua una vez enfriada va a ser recirculada al compresor, se recomienda la instalación de un intercambiador de calor que caliente el agua de aplicación industrial o sanitaria; en cualquier caso debe preverse la posibilidad de aplicación directa del agua caliente del compresor antes o después de pasar por el intercambiador de calor.

A tener en cuenta.

- La mayoría de la energía que entra en un compresor es transformada en calor.
- Como media, el 85% de la energía eléctrica invertida en la compresión puede ser recuperada en forma de aire o agua caliente.

2.2.1.12 Aumentar la capacidad de almacenamiento para reducir bajadas de presión.

Descripción: La misión de los depósitos de almacenamiento de aire comprimido es la siguiente. Permite absorber las pulsaciones inherentes al sistema de compresión recíproca, a la vez que suministra una superficie grande de intercambio de calor que permite disminuir parcialmente la alta temperatura del aire tras de la compresión. También absorbe sobrepicos de consumo alto y de corta duración ocasionados por aplicaciones que requieren grandes cantidades de aire en lapsos cortos de tiempo; permitiendo de esta manera tener no tener un compresor sobredimensionado para satisfacer las demandas, lo que provocaría un consumo mayor de energía.

Por esto hay que comprobar que la capacidad de almacenaje de aire con la que se cuenta es suficiente, en caso contrario sería necesario aumentar dicha capacidad.

A tener en cuenta.

- Pequeñas bajadas de presión podrían suponer la necesidad de un compresor adicional.
- Adicionalmente se permite absorber pequeñas fluctuaciones de la presión.
- Instalar depósitos cerca de equipos que demanden aire comprimido "a tragos".

2.2.1.13 Usar secadores refrigerados con bombas de calor.

Descripción: Los secadores con bomba de calor son la coexistencia de dos sistemas ingenieriles: la bomba de calor y el secador.

El desarrollo en la tecnología del secado ha estimulado la necesidad de ahorrar energía, aumentar la eficiencia de los equipos y minimizar el impacto ambiental.

Un mejor entendimiento del efecto de las condiciones de secado en la calidad del producto y el consumo de energía del equipo ha impulsado el manejo de los secadores con bombas de calor.

Los secadores con bomba de calor permiten un proceso energéticamente eficiente, proporcionando calor al sistema y recuperándolo a través del funcionamiento interno de la bomba de calor.

Las ventajas que ofrecen este tipo de secadores son:

- 1.- Eficiencias energéticas altas con recuperación de calor.
- 2.- Mejor calidad del producto mediante el control de temperatura.
- 3.- Un rango amplio de condiciones de secado que va desde -20 °C a 100°C (con calentamiento auxiliar) y humedades relativas desde 15% a 80%.

Los estudios realizados en la búsqueda de mejorar los procesos de secado han dejado notar que los secadores con bomba de calor debido a su capacidad de convertir el calor latente de la condensación en calor sensible son una buena opción para lograr un secado adecuado.

A tener en cuenta.

- Por cada kW consumido, un secador con bomba de calor puede radiar 3kW de calor.
- Localizar los secadores en almacenes o talleres para ayudar con la calefacción.

2.2.1.14 Si es posible, evitar secadores regenerativos sin aporte de calor.

Descripción: El principio de los secadores de adsorción sin calor por regeneración mediante el aire de purga, se basa en la propiedad física del disecante (alumina tamismolecular) en adsorber y desadsorber el vapor de agua.

El secador consta de dos torres de secado, una de las cuales está en servicio de secado mientras que la otra está en tratamiento de regeneración,

aprovechando un pequeño porcentaje de aire seco extraído de la corriente de salida que se deriva a la torre de regeneración y arrastra al exterior la humedad retenida en los micro poros del adsorbente dejándolo finalmente regenerado.

Un sistema de válvulas desvía automáticamente el aire cuando las dos torres deben invertir su función en el proceso de secado de manera continua.

Estos equipos logran, según su desecante, puntos de rocío de -20°C , -40°C , y -70°C . No requieren energía, solo utilizan el propio aire seco para su regeneración. Hay versiones de alta presión hasta 60 bar y antiexplosivas.



Fig. 2.73. Secadores regenerativos sin aporte de calor.

A tener en cuenta.

- Secadores sin aporte de calor son idóneos en zonas peligrosas, en cambio, un gran porcentaje de aire comprimido es necesario para regenerar el desecante.
- Secadores sin aporte de calor consumen entre el 12% y el 20% del aire producido, sin embargo estas cifras también son aplicables a los costes de instalación de compresores, costes de servicio y de capital.

2.2.1.15 Instalar sistemas de control del punto de rocío en los secadores.

Descripción: La calidad del aire comprimido, entre otros, involucra los siguientes aspectos: humedad, punto de rocío y temperatura.

Es por esto que se hace necesario la instalación de sistemas de control de tal modo que se pueda tener una medición de la variable en cada momento, así como la monitorización de la misma, pudiendo llevar un control exhaustivo de la magnitud.

A tener en cuenta.

- Secadores equipados con simples temporizadores están tirando el dinero.
- Sistemas de control basados en temporizadores regeneran la torre solo si la torre está seca.
- Muchos sistemas de control del punto de rocío disponen de un display de un monitorizado a tiempo real.

2.2.1.16 Considerar el vapor como regenerador del desecante.

Descripción: El desecante recoge la humedad del aire de proceso y, posteriormente es necesario calentar el desecante para quitarle la humedad y poder ser reutilizado. Para calentar el desecante se puede utilizar el vapor recogido en tanques flash.

A tener en cuenta.

- Vapor con una temperatura de unos 180 °C puede ser utilizado para regenerar el desecante.
- La regeneración utilizando vapor es más barata que la regeneración eléctrica.
- Secadores con regeneración por vapor pueden ser utilizados en zonas peligrosas.

2.2.1.17 Instalar el conducto de dimensiones apropiadas para la distribución.

Descripción: En las instalaciones de aire comprimido deben estar presentes los siguientes elementos de distribución.

- 1.- *Tubería Principal.* Es la línea que sale del conjunto de compresores y conduce todo el aire que consume la planta. Debe tener la mayor sección posible para evitar pérdidas de presión y prever futuras ampliaciones de la red con su consecuente aumento de caudal. La velocidad máxima del aire en la tubería principal es de 8 m/s.
- 2.- *Tubería Secundaria.* Se derivan de la tubería principal para conectarse con las tuberías de servicio. El caudal que por allí circula es el asociado a los elementos alimentados exclusivamente por esta tubería. También en su diseño se debe prever posibles ampliaciones en el futuro. La velocidad del aire en ellas no debe superar 8 m/s.

3.- *Tubería de Servicio.* Son las que surten en sí los equipos neumáticos. En sus extremos tienen conectores rápidos y sobre ellas se ubican las unidades de mantenimiento. Debe procurarse no sobrepasar de tres el número de equipos alimentados por una tubería de servicio. Con el fin de evitar obstrucciones se recomiendan diámetros mayores de 1/2" en la tubería. Puesto que generalmente son segmentos cortos las pérdidas son bajas y por tanto la velocidad del aire en las tuberías de servicio puede llegar hasta 15 m/s.

A tener en cuenta.

- Las pérdidas de presión son inversamente proporcionales al diámetro elevado a la quinta potencia.
- Una tubería de 25mm tiene el triple de pérdidas de presión que otra de 32mm de diámetro.
- Pérdidas de presión se traducen en pérdidas de dinero.
- Una bajada de presión de 0.14 bar supone un 1% de energía perdida.

2.2.1.18 Medir y minimizar las pérdidas de presión en toda la red.

Descripción: Como se ha explicado anteriormente las pérdidas de presión se traducen directamente en pérdida económica. Por tanto es necesario realizar una inspección en la instalación de aire comprimido con el fin de determinar los puntos conflictivos del sistema: aquellos en los que se produzcan pérdidas de presión localizadas. Éstas deben ser medidas y minimizadas en la medida de lo posible.

A tener en cuenta.

- Los sistemas de aire comprimido evolucionan, por lo que pérdidas de presión que eran aceptables hace cinco años ya pueden no serlo.
- Reducir pérdidas de presión no implica el reemplazo de todos los conductos.

2.2.2 Transportador neumático.

En la siguiente tabla se exponen una lista de Medidas de Ahorro Energético referido al transportador neumático que muestra un estimado periodo de retorno, ahorro energético típico y el coste de inversión basado en recientes estudios.

MEDIDA	PERIODO DE RETORNO*	POT. AHORRO**	INVERSIÓN***
Dimensionar soplantes adecuadamente	Inmediato	2	Baja
Hacer funcionar soplantes a la mínima presión posible	Inmediato	4	Baja
Asegurarse que las soplantes estén apagadas cuando no se usen,	Inmediato	5	Baja
Asegurarse de que filtros y silenciadores de las soplantes estén limpios	Inmediato	6	Baja
Evitar el uso de aire a alta presión regulado a baja presión para el transporte neumático.	Bajo	1	Alta
Asegurarse que el cierre y el juego del alimentador rotativo es regularmente revisado y ajustado.	Corto	7	Media
Revisar el desgaste de conductos, especialmente en codos	Corto	8	Baja
Incorporar sensores de producto.	Medio	3	Media

*El periodo de retorno esta dado como Corto, Medio o Largo donde: Corto < 1 año, Medio de 1 a 3 años y Largo > 3 años.

**En el ahorro 1 representa la medida que ofrece mayor potencial de ahorro.

***La inversión está dispuesta en diferentes categorías que son: Baja < 3000€, Media entre 3000€ y 15000€ y Alta > 15000€.

Tabla 2.17. Medidas de Ahorro Energético en Transporte Neumático.

2.2.2.1 Dimensionar soplantes adecuadamente.

Descripción: Esta es una simple y muy barata medida para conseguir ahorros energéticos en soplantes de transmisión por correa.

Generalmente las soplantes están sobredimensionadas, capaces de proporcionar un margen de seguridad durante la operación debido a los cambios de configuración del sistema. Ajustando las características de la soplante a la carga del sistema mediante el cambio de la relación de transmisión es un método muy simple de optimizar el sistema en términos de consumo energético. Sin embargo, esta medida suele ser más fácil de implementar en sistemas de presión positiva dado que es más fácil calcular la carga de manera precisa que en los sistemas de presión negativa.

La correcta relación de transmisión debe de ser elegida mediante:

- El cálculo de la potencia requerida por el sistema dada la cantidad de material que va a ser transportada, la velocidad de transporte y el caudal de cada línea.

A tener en cuenta.

- Una soplante sobredimensionada desperdicia casi tanta energía como utilizar el aire comprimido regulado.
- Las soplantes centrífugas se rigen mediante las “tres Leyes”.

2.2.2.2 Hacer funcionar soplantes a la mínima presión posible.

Descripción: Esta medida consiste en hacer funcionar las soplantes con la potencia justa y necesaria para llevar a cabo el transporte de la mercancía. El utilizar una presión mayor solo traería consigo un aumento del gasto energético.

Como con todas las aplicaciones de transporte neumático, la presión del sistema crecerá proporcionalmente al crecimiento del material transportado. Es importante considerar la cantidad de material que va a ser transportado y ver si es posible reducir el flujo. ¿Si una aplicación requiere una transferencia de material de 5 Tn, es importante que la transferencia se desarrolle en una hora o en un día?

El tiempo de transporte afecta al tamaño de la soplante, la presión de trabajo y la potencia absorbida. Solo porque una soplante haya sido históricamente utilizada para una aplicación en particular, no quiere decir que haya estado funcionando en las mejores condiciones.

A tener en cuenta.

- Para un mismo flujo, mayor presión puede significar mayores soplantes.
- Reducir la presión del aire requerida por un proceso reduce la potencia absorbida por la soplante.

2.2.2.3 Asegurarse de que las soplantes estén apagadas cuando no estén en uso.

Descripción: la manera más rápida y sencilla de ahorrar energía es girar el interruptor. En muchas ocasiones, la falta de coordinación entre la producción y los proveedores de servicios desemboca en que el transportador neumático está funcionando cuando la producción ha parado.

Esto puede ser particularmente notable durante los fines de semana cuando muchas compañías paran la producción durante un día o dos, mientras que las soplantes continúan en funcionamiento.

- Designar a una persona que desconecte las soplantes.
- Revisar el equipamiento que ha sido apagado.

Desconectar las soplantes no solo provoca ahorro energético, también reduce los costes de mantenimiento. Si una soplante necesita una revisión cada 2000 horas, que una soplante se encuentre funcionando durante los fines de semana innecesariamente supone que se realice una labor de mantenimiento más al año.

A tener en cuenta.

- Soplantes y bombas de vacío están a veces en funcionamiento fuera del horario de producción.

2.2.2.4 Asegurarse de que filtros y silenciadores de las soplantes estén limpios.

Descripción: El funcionamiento de las soplantes se ve adversamente afectado si la suciedad se aloja en el eje del rotor de la soplante así como si se altera la forma de los álabes. El equilibrado de la soplante también puede verse afectado negativamente si se forman capas de suciedad y una lasca se desprende.

El equilibrado también se puede ver afectado por cualquier desgaste mecánico. Un análisis de vibraciones es un método muy útil para realizar una revisión del equilibrado. Si se requiere un reequilibrado, este puede ser realizado instalando contrapesos al rotor y realizando de nuevo un análisis de vibraciones para estudiar el resultado obtenido.

A tener en cuenta.

- Filtros sucios o bloqueados afectan significativamente al funcionamiento de soplantes de baja presión.

2.2.2.5 Evitar el uso de aire a alta presión regulado a baja presión para el transporte neumático.

Descripción: El transporte neumático se agrupa generalmente en “fase densa” o “fase diluida”. Los dos tipos tienen sus propias aplicaciones pero ninguna requiere una presión del aire comprimido mayor de 7 bar. En la siguiente lista está basada en una soplante que ofrece una relación de compresión de 1.25:

- Generar aire comprimido a 7 bar cuesta 100%.
- Generar aire comprimido a 6 bar cuesta 92%.
- Generar aire comprimido a 5 bar cuesta 83%.

- Generar aire comprimido a 4 bar cuesta 74%.
- Generar aire comprimido a 3 bar cuesta 62%.
- Generar aire comprimido a 2 bar cuesta 48%.
- Generar aire comprimido a 1 bar cuesta 29%.

Se puede observar que generar aire comprimido a 2 bar en vez de a 7 bar se necesita menos de la mitad de la energía.

A tener en cuenta.

- Usar una soplante en vez del aire a presión generado por la instalación de aire comprimido puede reducir costes energéticos en un 50%.
- Soplantes sin aceite pueden evitar la necesidad de un tratamiento del aire.

2.2.2.6 Asegurarse que el cierre y el juego del alimentador rotativo es regularmente revisado y ajustado.

Descripción: los cierres rotativos son usados muy comúnmente en transportadores que desplazan la mercancía entre zonas a diferente presión. Debe asegurarse que las fugas de aire son mínimas mediante la consideración de:

- El juego de los álabes.
- La velocidad a la que el cierre gira.
- El tamaño del cierre en relación a su función de diseño.

En algunos cierres, la punta de los álabes son ajustables para poder realizar modificaciones cuando los álabes se desgasten.

En la siguiente tabla se muestra el incremento de pérdidas en dos puntos de funcionamiento cuando la velocidad de rotación del cierre aumenta en 10 rpm.

	1 Tn/hora	28 Tn/hora
Diámetro del conducto (mm)	50	150
Volumen del cierre (litros)	2.5	58.0
Incremento velocidad (rpm)	10	10
Incremento pérdidas (m3/hora)	1.5	34.0

Tabla 2.18. Incremento de las pérdidas de aire como consecuencia de un aumento de la velocidad de 10 rpm.

A tener en cuenta.

- Pérdidas de aire en cierres pueden ser significativas.
- Los productos normalmente desgastan los cierres.
- Pérdidas de aire debidas a pérdidas en el alimentador rotativo normalmente son consideradas aceptables.

2.2.2.7 Revisar el desgaste de conductos, especialmente en codos.

Descripción: Tanto si el material que va a ser transportado es duro o ligero, el sistema de conductos sufre un desgaste en el punto que puede perforarse. Esto conlleva una pérdida de presión y de producto en el sistema.

Los codos es un lugar propicio para el desgaste y para que aparezcan roturas, y se acentúa más cuanto más duro es el material a transportar. Un sistema proactivo para medir el espesor de los conductos que puede conseguir un ahorro energético y de producto.

El desgaste nunca se produce uniformemente, una sección conducto debe tener el mismo espesor que el día de la instalación.

A tener en cuenta.

- Conductos utilizados para transporte neumático sufren desgaste.

2.2.2.8 Incorporar sensores de producto.

Descripción: El aire comprimido a alta presión y baja presión puede ser fácilmente controlado cuando se regula mediante un botón o disparador. Desafortunadamente en una línea de producción automatizada el aire comprimido está enclavado a un dispositivo es necesaria otra forma de control. Un simple interruptor puede estar asociado a una válvula de aislamiento de la línea de producción y cuando la producción cesa, las válvulas se cierran y el porte del aire comprimido escapa hacia una determinada zona.

Si el proceso no puede ser aislado tan fácilmente, se requiere un interruptor más sofisticado. Este debe tener sensores de infrarrojos o celdas de peso que detecten el flujo de producto. En todos los casos el sensor debe estar asociado a una válvula que le permita al aire comprimido ser aislado a una determinada zona o componente.

- Un interruptor puede ser caro, así como una válvula solenoide normalmente cerrada conectada a la línea de producción.
- Un interruptor no solo ahorra dinero desconectando el soplante cuando no se requieren sus servicios, también reduce el desgaste de los equipos.
- Un interruptor reduce el consumo de aire comprimido y por lo tanto reduce las horas de funcionamiento de las soplantes.

A tener en cuenta.

- En aplicaciones que requieran un transportador neumático a la instalación de un sensor de producto disminuye costes

2.2.3 Cuchillos de aire.

En la siguiente tabla se exponen una lista de Medidas de Ahorro Energético referido a los cuchillos de aire que muestra un estimado periodo de retorno, ahorro energético típico y el coste de inversión basado en recientes estudios.

MEDIDA	PERIODO DE RETORNO*	POT. AHORRO**	INVERSIÓN***
Asegurarse de que filtros y silenciadores de soplantes están limpios	Inmediato	5	Baja
Asegurarse de que el conducto de suministro no esté agrietado o se formen cocas	Inmediato	6	Baja
Nunca usar aire comprimido de alta presión regulado a baja presión	Corto	1	Alta
Seleccionar la mínima soplante para cumplir la demanda	Corto	2	Baja
Usar cuchillos de aire correctamente diseñados y fabricados	Corto	3	Media
Asegurarse de que el conducto de suministro de aire no este infradimensionado	Corto	7	Baja
Realizar un mantenimiento de la unidad, atendiendo a bloqueos y desgaste	Corto	8	Baja
Incorporar sensores al aire suministrado, de manera que solo funcione cuando sea necesario.	Medio	4	Media

*El periodo de retorno esta dado como Corto, Medio o Largo donde: Corto < 1 año, Medio de 1 a 3 años y Largo > 3 años.

**En el ahorro 1 representa la medida que ofrece mayor potencial de ahorro.

***La inversión está dispuesta en diferentes categorías que son: Baja < 3000€, Media entre 3000€ y 15000€ y Alta > 15000€.

Tabla 2.19 . Medidas de Ahorro Energético en Cuchillos de Aire.

2.2.3.1 Asegurarse de que filtros y silenciadores de soplantes están limpios.

Descripción: La potencia disponible del motor de aire generalmente se establece bajo condiciones de descarga libre. Esto quiere decir que el aire comprimido puede descargarse sin ningún obstáculo hacia el exterior.

Un silenciador bloqueado puede presentar los siguientes problemas:

- Un problema energético. El motor de aire funciona debido a la caída de presión que tiene lugar a lo largo del dispositivo. En condiciones de interior de 7 bar y una atmósfera de descarga de 1 bar, la caída a través del equipo es de 7:1. Si el silenciador se encuentra bloqueado, puede añadir (por ejemplo) otros 500 mbar. El efecto es cambiar la relación de presiones en el dispositivo hasta 8:1.5, que está solo por encima de 5:1.

- Un silenciador bloqueado puede fallar debido a una caída de alta presión. El fallo puede ser simplemente una ruptura del silenciador de una fábrica, o el silenciador puede explotar.

A tener en cuenta.

- Filtros de admisión bloqueados afectan significativamente al funcionamiento de soplantes.

2.2.3.2 Asegurarse de que el conducto de suministro no esté agrietado o se formen cocas

Descripción: Cuando en una manguera flexible se forman cocas aparece un importante potencial de resultados que afectan a la eficiencia e incluso a la seguridad y salud.

- Una coca en un conducto reduce el aporte de aire comprimido al proceso o aplicación. Esto puede acarrear un deterioro en el producto o provocar la completa parada de la producción.
- Una coca en un conducto puede parar completamente el aporte de aire comprimido. Si no se avisa de la formación de la coca, un operario puede asumir erróneamente que el compresor se ha parado o que un conducto de aire se ha aislado de alguna manera. La coca podría deshacerse sin previo aviso, lo que supone un arranque súbito del proceso causando riesgos para el operario.

A tener en cuenta.

- Una coca en el conducto de suministro reduce la presión del cuchillo de aire.
- Bajas presiones reducen la eficiencia del cuchillo de aire.
- Los operarios reciben mal un corte en el suministro del aire del cuchillo.

2.2.3.3 Nunca usar aire comprimido de alta presión regulado a baja presión.

Descripción: El transporte neumático se agrupa generalmente en “fase densa” o “fase diluida”. Los dos tipos tienen sus propias aplicaciones pero ninguna requiere una presión del aire comprimido mayor de 7 bar. En la siguiente lista está basada en una soplante que ofrece una relación de compresión de 1.25:

- Generar aire comprimido a 7 bar cuesta 100%.
- Generar aire comprimido a 6 bar cuesta 92%.
- Generar aire comprimido a 5 bar cuesta 83%.

- Generar aire comprimido a 4 bar cuesta 74%.
- Generar aire comprimido a 3 bar cuesta 62%.
- Generar aire comprimido a 2 bar cuesta 48%.
- Generar aire comprimido a 1 bar cuesta 29%.

Se puede observar que generar aire comprimido a 2 bar en vez de a 7 bar se necesita menos de la mitad de la energía.

A tener en cuenta.

- Usar una soplante en vez del aire a presión generado por la instalación de aire comprimido puede reducir costes energéticos en un 50%.
- Soplantes sin aceite pueden evitar la necesidad de un tratamiento del aire.

2.2.3.4 Seleccionar la mínima soplante para cumplir la demanda.

Descripción: Se deben tener en cuenta diferentes consideraciones a la hora de dimensionar y elegir el tipo de soplante para cada aplicación.

Aunque una soplante haya sido utilizada históricamente en una determinada aplicación, no significa que esa sea el tipo más económico para dicha aplicación. Si un material debe ser transportado a una velocidad (de digamos) 30 m/s y la soplante está dimensionada tal que la velocidad real que se mide es de 45 m/s. Bajo estas circunstancias se puede reducir el tamaño de la soplante. Otra interesante medida es instalar un variador de frecuencia.

Las soplantes centrífugas tienen unas características que las diferencian de las demás de desplazamiento positivo. Estas suelen ser llamadas como las “tres les”.

1. El flujo es proporcional a la velocidad del rotor.
2. La presión varía con la raíz cuadrada de la velocidad del rotor.
3. La potencia absorbida varía con el cubo de la velocidad del rotor.

A tener en cuenta.

- Una soplante sobredimensionada desperdicia casi tanta energía como utilizar el aire comprimido regulado.

- Las soplantes centrífugas se rigen mediante las “tres Leyes”.

2.2.3.5 Usar cuchillos de aire correctamente diseñados y fabricados.

Descripción: Los cuchillos de aire pueden ser producidos por un simple estrechamiento de un tubo casi plano y entonces suministrar aire comprimido a través de él para producir el efecto. Aunque esta es una simple y barata manera de hacerlo, es increíblemente caro de operar.

Un cuchillo de aire bien diseñado utiliza aire a baja presión, no aire comprimido. Estas unidades comienzan a ahorrar dinero en el momento que se elimina el dispositivo casero. Con estos equipos se elimina la necesidad de conectarse a la red de aire comprimido dado que ya vienen con una pequeña soplante incorporada.

A tener en cuenta.

- ¿Están sus cuchillos de aire correctamente diseñados?
- ¿Utilizan sus cuchillos de aire el mínimo gasto de energía?

2.2.3.6 Asegurarse de que el conducto de suministro de aire no este infradimensionado.

Descripción: Aunque es perfectamente aceptable conectar un cuchillo de aire a un sistema mediante un metro de conducto de nylon de 8 mm, sería totalmente inaceptable usar 30 metros de tubería de 8 mm para la misma labor. La manera más fácil de demostrar el efecto de la caída de presión es cortar un pequeño tramo de nylon y derribarlo. Entonces, intenta lo mismo con un tramo de 30 m.

Cuando se conecta un equipo a una fuente de aire, una caída de presión de 0.1 bar en el conducto de conexión puede aparecer y es bastante aceptable. Sin embargo, la caída de presión es directamente proporcional a la longitud de conducto, por lo que en un conducto de 30 m se puede traducir en una caída de 3 bar.

No solo deberían evitarse los conductos de unión largos, si no que deben utilizarse los conductos más prácticos.

A tener en cuenta.

- Conductos menores provocan bajadas de presión.
- Conductos demasiado largos crean bajadas de presión.

2.2.3.7 Realizar un mantenimiento de la unidad, atendiendo a bloqueos y desgaste.

Descripción: debe realizarse un buen programa de mantenimiento para que el equipo funcione correctamente evitando así, paradas imprevistas u otro tipo de problemas.

- Se detectan problemas en aplicaciones y zonas.
- Se revelan los verdaderos costes de servicio.
- Se reducen pérdidas debido a componentes en mal estado.
- Reduce el mal uso del aire comprimido.

A tener en cuenta.

- Un mantenimiento pobre supone mayores gastos de aire.
- Boquillas y ranuras bloqueadas incrementan el consumo de aire.

2.2.3.8 Incorporar sensores al aire suministrado, de manera que solo funcione cuando sea necesario.

Descripción: El aire comprimido presión puede ser fácilmente controlado cuando se regula mediante un botón o disparador. Desafortunadamente en una línea de producción automatizada el aire comprimido está enclavado a un dispositivo es necesaria otra forma de control. Un simple interruptor puede estar asociado a una válvula de aislamiento de la línea de producción y cuando la producción cesa, las válvulas se cierran y el porte del aire comprimido escapa hacia una determinada zona.

Si el proceso no puede ser aislado tan fácilmente, se requiere un interruptor más sofisticado. Este debe tener sensores de infrarrojos o celdas de peso que detecten el flujo de producto. En todos los casos el sensor debe estar asociado a una válvula que le permita al aire comprimido ser aislado a una determinada zona o componente.

- Un interruptor puede ser caro, así como una válvula solenoide normalmente cerrada conectada a la línea de producción.
- Un interruptor no solo ahorra dinero desconectando el soplante cuando no se requieren sus servicios, también reduce el desgaste de los equipos.
- Un interruptor reduce el consumo de aire comprimido y por lo tanto reduce las horas de funcionamiento de las soplantes.

A tener en cuenta.

- Incorporar sensores ahorra dinero.
- Desconectar cuchillos cuando no estén en uso.

2.2.4 Bombas operadas con aire.

En la siguiente tabla se exponen una lista de Medidas de Ahorro Energético referido a las bombas operadas con aire que muestra un estimado periodo de retorno, ahorro energético típico y el coste de inversión basado en recientes estudios.

MEDIDA	PERIODO DE RETORNO*	POT. AHORRO**	INVERSIÓN***
Asegurarse de que en el conducto de aire no se formen cocas	Inmediato	4	Baja
Asegurarse de no haya fugas en juntas	Inmediato	5	Ninguna
Considerar el uso de bombas de diafragma operadas eléctricamente.	Corto	1	Baja
Seleccionar la mínima bomba para cumplir la demanda	Corto	2	Baja
Asegurarse de que el conducto de aire no este infradimensionado	Corto	6	Baja
Realizar un mantenimiento de los conmutadores de válvulas, así como del diafragma	Corto	7	Baja
Asegurarse de que los silenciadores de descarga no estén bloqueados	Corto	8	Baja
Incorporar sensores al aire suministrado, de manera que solo funcione cuando sea necesario.	Medio	3	Media

*El periodo de retorno esta dado como Corto, Medio o Largo donde: Corto < 1 año, Medio de 1 a 3 años y Largo > 3 años.

**En el ahorro 1 representa la medida que ofrece mayor potencial de ahorro.

***La inversión está dispuesta en diferentes categorías que son: Baja < 3000€, Media entre 3000€ y 15000€ y Alta > 15000€.

Tabla 2.20. Medidas de Ahorro Energético en Bombas Operadas con Aire.

2.2.4.1 Asegurarse de que en el conducto de aire no se formen cocas.

Descripción: Cuando en una manguera flexible se forman cocas aparece un importante potencial de resultados que afectan a la eficiencia e incluso a la seguridad y salud.

- Una coca en un conducto reduce el aporte de aire comprimido al proceso o aplicación. Esto puede acarrear un deterioro en el producto o provocar la completa parada de la producción.

- Una coca en un conducto puede parar completamente el aporte de aire comprimido. Si no se avisa de la formación de la coca, un operario puede asumir erróneamente que el compresor se ha parado o que un conducto de aire se ha aislado de alguna manera. La coca podría deshacerse sin previo aviso, lo que supone un arranque súbito del proceso causando riesgos para el operario.

A tener en cuenta.

- Una coca en el conducto de suministro reduce la presión del cuchillo de aire.
- Bajas presiones reducen la eficiencia del cuchillo de aire.
- Los operarios reciben mal un corte en el suministro del aire del cuchillo.

2.2.4.2 Asegurarse de no haya fugas en juntas.

Descripción: Más y más aplicaciones dependen del tipo de los conectores, estos deben revisarse frecuentemente para evitar que aparezcan fugas. Muchos operarios aceptan que en los puntos de conexión frecuentemente se produzcan silbidos. Es importante que los operadores de sistemas sean educados para comprender que las fugas en todos los sistemas suponen pérdidas de dinero y al final del día se refleja en los beneficios de la compañía y en última instancia en los salarios de los trabajadores.

Las mangueras y conductos modernos ofrecen una larga vida de servicio, sin embargo pueden aparecer desgastes y accidentes que pueden provocar que se rompan tubos flexibles.

Un tubo flexible cortado puede agitarse como un látigo. Esto no solo se traduce como una pérdida de aire comprimido si no que puede provocar daños a personas que se encuentren cerca. Lo mejor que se puede hacer es aislar rápidamente la manguera.

A tener en cuenta.

- Pueden aparecer fugas en conductos y juntas debido al uso de los equipos.
-

2.2.4.3 Considerar el uso de bombas de diafragma operadas eléctricamente.

Descripción: Este tipo de bombas comprenden una armadura vibratoria impulsada por un solenoide accionado alternativamente, un diafragma, dos pasajes para fluido, cada uno de los cuales comunica con el diafragma y contiene un elemento de válvula pasiva de una sola vía.



Fig. 2.74. Bomba de diafragma operada eléctricamente.

A tener en cuenta.

En muchas ocasiones bombas operadas con aire consumen el doble de energía que las operadas eléctricamente.

- ¿Requiere la aplicación el uso de bombas operadas con aire?
- El aire de escape ha de ser reconducido a un conducto.
- Bombas operadas con aire se congelan en invierno.

2.2.4.4 Seleccionar la mínima bomba para cumplir la demanda.

Descripción: Cando una bomba operada con aire es seleccionada, es sumamente importante seleccionar la unidad más pequeña posible para cumplir con la demanda. El consumo adicional de energía, usando una bomba operada con aire ligeramente más grande de lo estrictamente necesario incrementa de sobremanera el coste de operación.

Un catálogo indica que una bomba solo requerirá 0.5 cu.m/min de aire comprimido. Un modelo ligeramente menor solo requiere 0.4 cu.m/min, pero para estar en el lado de la seguridad mucha gente elegiría la de mayor capacidad. Aunque la diferencia de consumo de aire no es muy elevada el de mayor capacidad podría provocar que otro compresor de la instalación entrara en marcha.

A tener en cuenta.

- El aire consumido crece dramáticamente con el tamaño de la bomba.
- Bombas pequeñas producen menos ruido.
- Bombas pequeñas son más manejables.

2.2.4.5 Asegurarse de que el conducto de aire no este infradimensionado.

Descripción: Aunque es perfectamente aceptable conectar una bomba operada con aire a un sistema mediante un metro de conducto de nylon de 8 mm, sería totalmente inaceptable usar 30 metros de tubería de 8 mm para la misma labor. La manera más fácil de demostrar el efecto de la caída de presión es cortar un pequeño tramo de nylon y derribarlo. Entonces, intenta lo mismo con un tramo de 30 m.

Cuando se conecta un equipo a una fuente de aire, una caída de presión de 0.1 bar en el conducto de conexión puede aparecer y es bastante aceptable. Sin embargo, la caída de presión es directamente proporcional a la longitud de conducto, por lo que en un conducto de 30 m se puede traducir en una caída de 3 bar.

No solo deberían evitarse los conductos de unión largos, si no que deben utilizarse los conductos más prácticos.

A tener en cuenta.

- Conductos menores provocan bajadas de presión.
- Conductos demasiado largos crean bajadas de presión.

2.2.4.6 Realizar un mantenimiento de los conmutadores de válvulas, así como del diafragma.

Descripción: Debe realizarse un buen programa de mantenimiento para que el equipo funcione correctamente evitando así, paradas imprevistas u otro tipo de problemas.

- Se detectan problemas en aplicaciones y zonas.
- Se revelan los verdaderos costes de servicio.
- Se reducen pérdidas debido a componentes en mal estado.
- Reduce el mal uso del aire comprimido.

A tener en cuenta.

- Conmutadores de válvulas desgastados pueden tener fugas.
- Las fugas muchas veces escapan con el aire de escape.
- Las fugas son normalmente ignoradas.

2.2.4.7 Asegurarse de que los silenciadores de descarga no estén bloqueados.

Descripción: La potencia disponible del motor de aire generalmente se establece bajo condiciones de descarga libre. Esto quiere decir que el aire comprimido puede descargarse sin ningún obstáculo hacia el exterior.

Un silenciador bloqueado puede presentar los siguientes problemas:

- Un problema energético. El motor de aire funciona debido a la caída de presión que tiene lugar a lo largo del dispositivo. En condiciones de interior de 7 bar y una atmósfera de descarga de 1 bar, la caída a través del equipo es de 7:1. Si el silenciador se encuentra bloqueado, puede añadir (por ejemplo) otros 500 mbar. El efecto es cambiar la relación de presiones en el dispositivo hasta 8:1.5, que está solo por encima de 5:1.
- Un silenciador bloqueado puede fallar debido a una caída de alta presión. El fallo puede ser simplemente una ruptura del silenciador de una fábrica, o el silenciador puede explotar.

A tener en cuenta.

- Silenciadores de descarga bloqueados suponen costes.
- Silenciadores de descarga bloqueados reducen la capacidad de las bombas operadas con aire.

2.2.4.8 Incorporar sensores al aire suministrado, de manera que solo funcione cuando sea necesario.

Descripción: El aire comprimido puede ser fácilmente controlado cuando se regula mediante un botón o disparador. Desafortunadamente en una línea de producción automatizada el aire comprimido está enclavado a un dispositivo es necesaria otra forma de control. Un simple interruptor puede estar asociado a una válvula de aislamiento de la línea de producción y cuando la producción cesa, las válvulas se cierran y el porte del aire comprimido escapa hacia una determinada zona.

Si el proceso no puede ser aislado tan fácilmente, se requiere un interruptor más sofisticado. Este debe tener sensores de infrarrojos o celdas de peso que detecten el flujo de producto. En todos los casos el sensor debe estar asociado a una válvula que le permita al aire comprimido ser aislado a una determinada zona o componente.

- Un interruptor puede ser caro, así como una válvula solenoide normalmente cerrada conectada a la línea de producción.

- Un interruptor no solo ahorra dinero desconectando el soplante cuando no se requieren sus servicios, también reduce el desgaste de los equipos.
- Un interruptor reduce el consumo de aire comprimido y por lo tanto reduce las horas de funcionamiento de las soplantes.

A tener en cuenta.

- Incorporar sensores ahorra dinero.
- Desconectar cuchillos cuando no estén en uso.

2.2.5 Toberas.

En la siguiente tabla se exponen una lista de Medidas de Ahorro Energético referido a las toberas que muestra un estimado periodo de retorno, ahorro energético típico y el coste de inversión basado en recientes estudios.

MEDIDA	PERIODO DE RETORNO*	POT. AHORRO**	INVERSIÓN***
Asegurarse de que los tubos de nylon no estén desgastados ni agrietados.	Inmediato	3	Baja
Nunca doblar tubos de nylon, al ovalarse causan fugas en juntas.	Inmediato	4	Baja
Revisar el estado de toberas y conductos regularmente.	Inmediato	5	Baja
Evitar el uso de toberas para suministrar aire frío.	Inmediato	6	Baja
Evitar el uso de toberas para centralización o producción directa en líneas de transporte.	Corto	1	Media
Si una tobera va a ser usada, instalar toberas amplificadoras o de ahorro de aire.	Corto	2	Baja
Instalar interruptores de suministro con el fin de aislar el aire de suministro cuando el equipo no este en funcionamiento	Medio	7	medio

*El periodo de retorno esta dado como Corto, Medio o Largo donde: Corto < 1 año, Medio de 1 a 3 años y Largo > 3 años.

**En el ahorro 1 representa la medida que ofrece mayor potencial de ahorro.

***La inversión está dispuesta en diferentes categorías que son: Baja < 3000€, Media entre 3000€ y 15000€ y Alta > 15000€.

Tabla 2.21. Medidas de Ahorro Energético en Toberas.

2.2.5.1 Asegurarse de que los tubos de nylon no estén desgastados ni agrietados.

Descripción: Cuando en una manguera flexible se forman cocas aparece un importante potencial de resultados que afectan a la eficiencia e incluso a la seguridad y salud.

- Una coca en un conducto reduce el aporte de aire comprimido al proceso o aplicación. Esto puede acarrear un deterioro en el producto o provocar la completa parada de la producción.
- Una coca en un conducto puede parar completamente el aporte de aire comprimido. Si no se avisa de la formación de la coca, un operario puede asumir erróneamente que el compresor se ha parado o que un conducto de aire se ha aislado de alguna manera. La coca podría deshacerse sin previo aviso, lo que supone un arranque súbito del proceso causando riesgos para el operario.

A tener en cuenta.

- Tubos agrietados fallan sin previo aviso.
- Tubos agrietados aumentan las caídas de presión.
- Tubos agrietados reducen el volumen de aire.

2.2.5.2 Nunca doblar tubos de nylon, al ovalarse causan fugas en juntas.

Descripción: Cuando un tubo se dobla la sección transversal pasa a ser un óvalo a partir de un círculo, esto hace que se produzcan tensiones de compresión y de tracción en el conducto. Debido a estas tensiones que se han inducido puede ocurrir que el conducto se rompa apareciendo fugas en el sistema.

- Cuando se usan instalaciones de conexión rápida, el cierre se realiza mediante un anillo de forma circular con la superficie exterior del conducto. En ocasiones este cierre no se realiza muy bien debido a la excesiva ovalidad del conducto. La consecuencia directa que tiene es la aparición de fugas.

A tener en cuenta.

- Los tubos doblados se ovalan.
- Tubos ovalados provocan escapes.
- Tubos doblados pueden agrietarse fácilmente.

- Tubos doblados pueden fallar fácilmente.

2.2.5.3 Revisar el estado de toberas y conductos regularmente.

Descripción: las toberas son dispositivos simples que sufren modificaciones in situ. Si una caja o una botella se mueve fuera de una línea de producción, es fácil abrir una tobera mediante un pequeño giro del orificio. Por esta razón las toberas son generalmente maltratadas.

- Una tobera de 1mm usa 4.3 cu.m/h a 7 bar.
- Abrir el orificio de 1 a 1.5 mm provoca un consumo de aire de más del doble.

Cuando se instala un sistema de aire comprimido, es rara la vez que se revisan las toberas.

A tener en cuenta.

- Las toberas son normalmente modificadas en la línea de producción.
- Las toberas rara vez son revisadas tras su instalación.

2.2.5.4 Evitar el uso de toberas para suministrar aire frío.

Descripción: El tubo Vortex es capaz de proporcionar aire acondicionado sin la utilización de Freones o partes móviles, sólo utiliza la energía que contiene el aire comprimido. La producción de aire frío a través de tubos Vortex o la utilización del aire comprimido como refrescante no están especialmente indicadas.



Fig. 2.75. Tubos Vortex.

A tener en cuenta.

- Tubos Vortex consumen mucha energía con respecto al aire frío que producen.
- El uso de aire comprimido para la refrigeración del personal es muy peligroso.

2.2.5.5 Evitar el uso de toberas para centralización o producción directa en líneas de transporte.

Descripción: Las toberas son generalmente usadas en líneas de transporte porque la utilización de aire comprimido parece más barata. Lejos de ser barato, es la utilidad más cara en una instalación y probablemente sea la más usada.

Aunque una serie de toberas de aire parezca la mejor solución para el transporte de líneas de empaquetado y embotellado, con el paso del tiempo el coste de operación es mayor que si se hubiese utilizado otro método alternativo.

A tener en cuenta.

- Una tobera de 3mm produce un flujo de 0.6 cu.m/min a 6 bar, el equivalente a un compresor de 4 kW.
- Sistemas mecánicos tienen menos costes de operación cada año.
- El uso y la aplicación de toberas tiende a multiplicarse.

2.2.5.6 Si una tobera va a ser usada, instalar toberas amplificadoras o de ahorro de aire.

Descripción: Se recomienda el uso de este tipo de toberas dado que el rendimiento que tienen es mayor con respecto a una tobera estándar, con el ahorro que esto conlleva.



Fig. 2.76. Toberas “Amplificadora” y “De Ahorro” de aire.

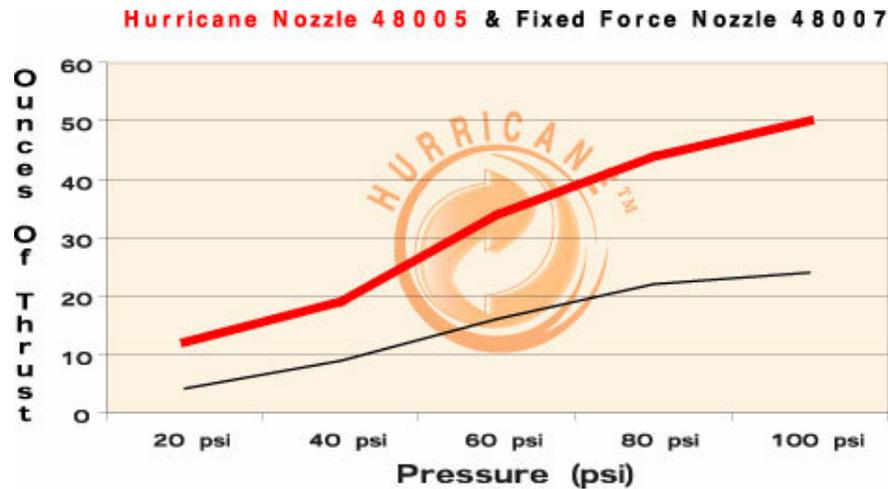


Fig. 2.77. Ejemplo de curva característica de una tobera de “ahorro de aire”.

A tener en cuenta.

- Una tobera “amplificadora” puede proporcionar una salida del orden de 6 veces la salida de una tobera normal.
- Una tobera “amplificadora” ofrece una menor (y más segura) presión de operación.

2.2.5.7 Instalar interruptores de suministro con el fin de aislar el aire de suministro cuando el equipo no este en funcionamiento.

Descripción: El aire comprimido puede ser fácilmente controlado cuando se regula mediante un botón o disparador. Desafortunadamente en una línea de producción automatizada el aire comprimido está enclavado a un dispositivo es necesaria otra forma de control. Un simple interruptor puede estar asociado a

una válvula de aislamiento de la línea de producción y cuando la producción cesa, las válvulas se cierran y el porte del aire comprimido escapa hacia una determinada zona.

Si el proceso no puede ser aislado tan fácilmente, se requiere un interruptor más sofisticado. Este debe tener sensores de infrarrojos o celdas de peso que detecten el flujo de producto. En todos los casos el sensor debe estar asociado a una válvula que le permita al aire comprimido ser aislado a una determinada zona o componente.

- Un interruptor puede ser caro, así como una válvula solenoide normalmente cerrada conectada a la línea de producción.
- Un interruptor no solo ahorra dinero desconectando el soplante cuando no se requieren sus servicios, también reduce el desgaste de los equipos.
- Un interruptor reduce el consumo de aire comprimido y por lo tanto reduce las horas de funcionamiento de las soplantes.

A tener en cuenta.

- Desconectar el suministro de aire produce ahorro energético y económico.
- Una válvula de bola aísla de cualquier pérdida.
- Un sistema despresurizado suele ser normalmente recuperado.

2.3 Soplantes.

2.3.1 Transporte de grano.

En la siguiente tabla se exponen una lista de Medidas de Ahorro Energético referido al transporte de grano que muestra un estimado periodo de retorno, ahorro energético típico y el coste de inversión basado en recientes estudios.

MEDIDA	PERIODO DE RETORNO*	POT. AHORRO**	INVERSIÓN***
Sólo utilizar cuando sea necesario.	Inmediato	1	Ninguna
Reducir la resistencia del sistema.	Corto	2	Media
Seleccionar correctamente el ventilador.	Corto	3	Media
Revisar el equipo para detectar acumulaciones de polvo.	Corto	4	Baja

*El periodo de retorno esta dado como Corto, Medio o Largo donde: Corto < 1 año, Medio de 1 a 3 años y Largo > 3 años.

**En el ahorro 1 representa la medida que ofrece mayor potencial de ahorro.

***La inversión está dispuesta en diferentes categorías que son: Baja < 3000€, Media entre 3000€ y 15000€ y Alta > 15000€.

Tabla 2.22 . Medidas de Ahorro Energético en el Transporte de grano.

2.3.1.1 Sólo utilizar cuando sea necesario.

Descripción: En muchas ocasiones el sistema se deja funcionando innecesariamente durante largos periodos de tiempo. E muchos casos, el consumo de potencia de las soplantes se puede ver reducido en un 50% o más, simplemente desconectando los equipos cuando no sean necesarios.

Aunque las soplantes pedes ser desconectadas manualmente sin ningún tipo de coste, puede optarse por un control automático para realizar esta tarea. Estos controles pueden ser:

a) Temporizadores.

- Un interruptor con un temporizador es una manera muy simple pero, a la vez muy eficaz, de gestionar equipos que tienen la misma rutina de funcionamiento cada día.
- En equipos que funcionen de forma intermitente, también son muy aconsejables los interruptores que desconectan el equipo automáticamente. La puesta en marcha debe ser manual pero la parada automática. De esta manera se evita que los equipos continúen en funcionamiento innecesariamente.

- Otra alternativa es la utilización de interruptores que tienen la capacidad de conectar y desconectar los equipos mediante la implementación de una rutina que puede ser diferente para cada día de la semana.
- Los interruptores con temporizador programables normalmente incluyen un sistema BMS. Los controles pueden ser programados para su actuación durante vacaciones, paradas de producción, etc, y son multicanal, por lo que se puede gobernar cada soplante individualmente.

b) Interruptores de proceso.

- Donde una instalación con soplantes forma parte de una planta de proceso se puede conseguir un ahorro energético importante mediante el enclavamiento del funcionamiento de las soplantes a la planta de procesos.

c) Sensores de ocupación.

Los sensores de ocupación son muy útiles en aplicaciones donde el tiempo de funcionamiento no es fácilmente predecible como para apicar y control con temporizadores.

A tener en cuenta.

- El ahorro energético es directamente proporcional a la reducción de horas de operación.
- La reducción de horas de operación aumentan la vida de ventiladores y de motores, y aumenta el tiempo entre cambio de filtros.
- El apagado automático no es lo más apropiado para obtener unos ahorros significativos. Se aconseja sistemas de control automático.
- Los sistemas de control son fáciles de instalar.
- El periodo de retorno típico suele ser menor de seis meses.
- Aspectos de seguridad y salud han de ser considerados en el proceso.

2.3.1.2 Reducir la resistencia del sistema.

Descripción: Hay muchos parámetros que influyen en un sistema de transporte por aire a presión. Cada aplicación de transporte es única, por lo tanto, siempre ha de tenerse en cuenta los requisitos específicos de la aplicación. Sin embargo, existen varios principios generales aplicables al diseño de sistemas.

- Para conseguir el máximo ahorro se debe adaptar el tamaño del transportador a la finalidad.
- Para reducir al máximo los costes de sistemas y explotación se ha de tratar de conseguir la mínima distancia de transporte posible y minimizar el número de codos y de conductos.
- Para minimizar el consumo de energía se deben utilizar tuberías y evitar llevar el conducto de transporte en diagonal en el plano vertical.

Para optimizar la aplicación hay que realizar hincapié en el sistema de tuberías. Las tuberías metálicas tienen menos fricción (mayor velocidad de transporte) que las mangueras, y deben utilizarse en todas las instalaciones estáticas. Debe tenerse en cuenta lo siguiente:

- Distancia total de transporte.
- Distancia vertical.
- Número de codos de la tubería.
- Diámetro.

Si se utilizan tuberías de acero, mangueras de aspiración o una combinación de ambas, debe tenerse en cuenta el tipo de conexiones entre las tuberías.



Fig. 2.73. Conducciones en un transportador de grano.

A tener en cuenta.

- La potencia del ventilador crece con el cuadrado de la resistencia. Un incremento del 25% en la resistencia del sistema puede aumentar el consumo del ventilador en un 56%.
- La reducción en la resistencia del sistema puede conseguirse utilizando componentes de baja resistencia.

- Muy apropiado para nuevos sistemas o sistemas que se están renovando.
- El periodo de retorno es demasiado largo para justificar cambios en el sistema solo debidos a una disminución de la resistencia.

2.3.1.3 Elegir correctamente el tamaño de la soplante.

Descripción: En muchas aplicaciones habrá gran cantidad de soplantes capaces de cumplir con la tarea correctamente. El tamaño de la soplante se debe elegir para que opere en el punto de máximo rendimiento y tenga un mínimo consumo para la tarea dada.

Cuando se modifica un proceso productivo los requerimientos del sistema de soplantes puede variar significativamente.

A tener en cuenta.

- Una selección incorrecta de las soplantes puede inducir un gasto extra de energía del 20%.
- El tipo de soplante escogida debe de adecuarse a los requerimientos de la aplicación.
- Deben escogerse para trabajar cerca del punto de máxima eficiencia.
- Las modificaciones que se realicen en la instalación pueden desembocar en una disminución de la eficiencia de las soplantes instaladas.

2.3.1.4 Revisar el equipo para detectar acumulaciones de polvo.

Descripción: los sistemas neumáticos destinados al transporte de partículas así como transportadores de grano o extractores de polvo son susceptibles de que se formen en su interior acumulaciones de polvo. La obstrucción de los conductos debido al depósito de material puede aumentar la resistencia del sistema, lo que aumenta la potencia consumida por la soplante. La obstrucción de las tuberías también provoca un empeoramiento general del funcionamiento de la instalación, el cual puede hacerse peligroso si el sistema deja escapar gases peligrosos como son el de la combustión.

El sistema de tuberías debe ser diseñado para minimizar las faltas asegurándose de que el aire se mantiene a una velocidad constante a través del sistema lo suficientemente elevada para mantener todas las partículas en la corriente de aire. Para limpiar el sistema de tuberías, debe haber puntos de acceso en cada cambio de dirección, cambio de sección, juntas y cada 3 metros. El tiempo que pase entre cada limpieza del sistema depende de la propia instalación. Es importante asegurarse de que el rotor de la soplante

también se encuentre limpio, ya que de lo contrario, esto afectaría muy negativamente al rendimiento del equipo.

A tener en cuenta.

- La acumulación de polvo puede reducir severamente el volumen de aire que lo atraviesa. Esta reducción compromete el funcionamiento del sistema de extracción.
- La acumulación de polvo en los ventiladores reduce significativamente su eficiencia.
- La acumulación de polvo puede ocasionar fuego.

2.4 Edificios industriales.

2.4.1 Aire acondicionado.

En la siguiente tabla se exponen una lista de Medidas de Ahorro Energético referido al aire acondicionado que muestra un estimado periodo de retorno, ahorro energético típico y el coste de inversión basado en recientes estudios.

MEDIDA	PERIODO DE RETORNO*	POT. AHORRO**	INVERSIÓN***
Revisar los controles de tiempo, temperatura, humedad.	Inmediato	1	Ninguna
Reducir los aportes de calor (solar, de luces, superficies calientes, etc).	Corto	2	Baja
Evitar la simultaneidad en el funcionamiento del aire acondicionado y de la calefacción.	Corto	4	Baja
Maximizar el uso del "frío gratuito"	Medio	3	Media
Usar humidificadores de alta eficiencia.	Medio	5	Media

*El periodo de retorno esta dado como Corto, Medio o Largo donde: Corto < 1 año, Medio de 1 a 3 años y Largo > 3 años.

**En el ahorro 1 representa la medida que ofrece mayor potencial de ahorro.

***La inversión está dispuesta en diferentes categorías que son: Baja < 3000€, Media entre 3000€ y 15000€ y Alta > 15000€.

Tabla 2.23. Medidas de Ahorro Energético en el Aire Acondicionado.

2.4.1.1 Revisar los controles de tiempo, temperatura y humedad.

Descripción: El punto de funcionamiento establecido y la calibración de los sensores afectan a la eficiencia global del sistema de aire acondicionado. Cuando el equipo trabaja innecesariamente debido a un incorrecto ajuste de los parámetros o debido a un sensor mal calibrado, crecen los costes de operación.

- *Termostatos*: Los termostatos que funcionan con una lámina bimetálica pueden permitir temperaturas que se alejen hasta tres grados de la temperatura prefijada. Esto conduce a una sensación de discomfort, y a una pérdida de calor y dinero. Los termostatos electrónicos modernos funcionan de forma mucho más precisa teniendo una precisión de hasta medio grado, ofreciendo mucho más control y no perdiendo nunca las condiciones de confort.
- *Sensores de humedad*: Los sensores de humedad se usan para medir la humedad relativa del aire. Este tipo de sensores requieren una regular calibración dependiendo de del ambiente de trabajo y de la precisión del control que se espera que se proporcione.

Los interruptores con temporizador permiten conectar y desconectar al aire acondicionado a intervalos de tiempo predeterminados. Se pueden obtener temporizadores de muy diversas versiones como diarias (24 h), semanales/fin de semana (5/2 días), de 7 días o de 365.

La temporización de los equipos debe coincidir con los tiempos de ocupación de las estancias o con los periodos de proceso.

La resolución y flexibilidad de los modernos interruptores con temporizador permiten una gran precisión y un ahorro mayor.

En vacaciones, cuando los edificios no se encuentran ocupados generalmente, no se debería permitir que el aire acondicionado funcionase a temperaturas normales. Cuando hay áreas que están parcialmente ocupadas, puede que no sea necesario ni siquiera conectar el equipo de aire acondicionado.

Cuando los controles están ajustados a la función "vacaciones", se debe asegurar de que esté activada la protección ante formación de escarcha, y que alguien es responsable de poner el equipo en la función de vacaciones.

El funcionamiento de válvulas y compuertas motorizadas debe ser revisado para asegurar el completo funcionamiento de las mismas. Cuando estos dispositivos se encuentran cerrados, debería haber un mínimo flujo de aire o agua, por el contrario, cuando se encuentran totalmente abiertas el flujo debe ser máximo.

Una regular revisión de los motores y anclajes de las válvulas y compuertas motorizadas minimizarán los escapes y asegurarán un eficiencia máxima.

A tener en cuenta.

- Un frío excesivo, el control de humedad o tiempos de operación incorrectos desperdician energía y dinero.

- La configuración del equipo debe ser revisada mensualmente.
- El funcionamiento de válvulas motorizadas y tiros han de ser revisadas cada seis meses.
- La calibración de cada sensor de temperatura y humedad ha de ser revisado anualmente.
- A menos que un proceso lo requiera, no ajustar la temperatura por debajo de 24°C.
- La humidificación y deshumidificación requieren una gran cantidad de energía. Mantener una humedad con un cierto margen (ej: 30-70 %) en vez de unas especificaciones más concretas (ej: 50% +- 2%), puede reducir considerablemente el consumo de energía.
- Asegurarse de que los temporizadores funcionan correctamente durante los periodos necesarios
- El aire acondicionado no suele ser necesario cuando la ocupación es escasa. Ajustar los temporizadores acorde con esa idea.

2.4.1.2 Reducir los aportes de calor (solar, de luces, superficies calientes, etc).

Descripción: La entrada de calor en edificios a través de sus paredes y cubiertas se ve acentuada en aquellos que se encuentran pobremente aislados. Las cubiertas son especialmente susceptibles de dejar pasar el calor debido a su construcción ligera y directa exposición a los rayos del sol. Estas deben ser recubiertas con un material reflectivo (o por lo menos que tengan un acabado de color claro) para minimizar la entrada de calor por los rayos del sol, pero debe tenerse cuidado en no provocar reflejos en las construcciones vecinas.

Generalmente, el aislamiento reduce las ganancias directas de calor y solo tienen un pequeño efecto en la capacidad de almacenar energía calorífica.

La “masa térmica” o inercia térmica de un edificio es un parámetro muy importante cuando se revisa la posibilidad de disminuir los requerimientos de aire acondicionado. Esto es mucho más importante en verano cuando las fluctuaciones de temperatura a lo largo del día son bastante grandes. Grandes masas térmicas ayudan a estabilizar la temperatura interna. La capacidad térmica de los elementos del edificio retrasa la transferencia de calor al interior del edificio. Durante la noche, cuando la temperatura exterior es menor, el calor almacenado por el edificio es expulsado al exterior mediante radiación y convección.

En edificios que no son refrigerados de forma activa, una cubierta pesada es mejor porque se reducen las pérdidas de temperatura durante el día. Una refrigeración adicional de la masa térmica por la noche puede ayudar a disminuir las pérdidas de temperatura durante el día.

Las nuevas construcciones suelen realizarse usando cubiertas ligeras, que tienen menor capacidad térmica, una respuesta más rápida a la entrada de calor, y por tanto mucha más oscilación de la temperatura.

La potencia utilizada para la iluminación se convierte en energía calorífica en las estancias de los edificios. La carga térmica atribuible a la iluminación depende del funcionamiento, nivel de iluminación y el tipo de lámpara utilizada.

El uso de luminarias eficientes en lugar de las convencionales reduce considerablemente la carga térmica y puede ayudar a reducir el uso del aire acondicionado.

El aporte de calor debido a la iluminación puede también ser reducido usando los apropiados controles automáticos para prevenir el funcionamiento cuando alguna zona esté desocupada o la luz solar sea suficiente.

A tener en cuenta.

- Los aportes de calor pueden provenir de muy diferentes focos incluyendo la radiación solar, equipos, iluminación y personal.
- Reducir los aportes de calor puede evitar la necesidad de un equipo de aire acondicionado (o reducir su consumo de energía).
- Situar las zonas acondicionadas en las caras norte de los edificios.
- Usar películas reflectantes en los cristales de las ventanas para reducir el calor solar.
- Asegurarse de que techos y tejados estén pintados de colores claros y estén bien aislados.
- Cuando sea posible, situar equipos que puedan radiar calor fuera de las zonas con aire acondicionado.
- Asegurarse de que todas las superficies radiantes y tuberías están adecuadamente aisladas.
- Considerar incorporar luminarias de alta eficiencia como alternativa a la instalación de otro equipo de aire acondicionado.

2.4.1.3 Controles que evitan el funcionamiento del aire acondicionado y de la calefacción.

Descripción: En muchas ocasiones, cuando la calefacción y la refrigeración son suministrados por el mismo equipo, los termostatos o controles de temperatura que controlan la planta pueden tener una doble función, es decir, puede existir una “banda muerta” inherente al dispositivo (generalmente 3 °C-4 °C) donde no se activa ni la calefacción ni el aire acondicionado. Otros controles tienen separadas las temperaturas de calefacción y aire acondicionado por lo que la banda muerta puede elegirse como se quiera.

La banda muerta debería ser tan grande como fuera posible dependiendo de la tolerancia de la función que se esté llevando a cabo en la estancia que se esté acondicionando. En sistemas que tengan poca respuesta, la banda muerta debe de ser lo suficientemente pequeña para tener capacidad de acomodar el ambiente.

Los controles de humedad siguen el mismo patrón estableciendo una “franja de confort” para la humedad donde ni la instalación de humidificación ni la de deshumidificación están activas.

El uso de interruptores puede prevenir el funcionamiento simultáneo de la calefacción y el aire acondicionado. En edificios donde la calefacción y el aire acondicionado funcionan independientemente se deben instalar interruptores que aseguren que los dos sistemas no estén en funcionamiento simultáneamente y así prevenir un gasto innecesario de energía.

También se pueden instalar interruptores para evitar que el equipo de aire acondicionado funcione cuando las puertas se encuentren abiertas o durante procesos donde el escape de calor esté permitido.

A tener en cuenta.

- En áreas donde hay equipos de aire acondicionado y de calefacción supone un gran gasto que ambos estén trabajando simultáneamente.
- Controladores apropiados evitan que sendos sistemas estén en funcionamiento a la vez.
- Cuando el mismo equipo es utilizado para producir frío y calor, este debe tener un rango de seguridad para prevenir inestabilidades en el funcionamiento.
- Cuando se utilizan equipos diferentes interruptores en cada uno de los equipos impide que ambos estén funcionando a la vez.

2.4.1.4 Maximizar el uso del “frío gratuito”.

Descripción: El “frío gratuito” es una manera de enfriamiento del ambiente sin la necesidad de usar la refrigeración. Hay muchos métodos por los cuales se puede obtener “frío gratuito”, ya sea la propia temperatura del ambiente, por medio de las torres de refrigeración de agua, el agua subterránea o el agua de un río.

Se debe tener en cuenta que más de la mitad del año:

- 1.- La temperatura ambiente es menor de 10°C.
- 2.- La temperatura del agua está por debajo de 8°C.
- 3.- Las torres de refrigeración proporcionan agua por debajo de 13°C.

Estos medios pueden utilizarse directamente o como prerrefrigerante para refrigerar por otros medios.

Purga Nocturna.

Los grandes edificios tienen la capacidad de “cargarse” de calor durante el día. Es posible purgar ese calor hacia el exterior haciendo entrar aire frío del exterior durante la noche.

La temperatura del aire exterior son menores durante la noche, y la diferencia de temperatura entre el edificio y el aire es máxima permitiendo la máxima transferencia de calor.

El aire fresco puede ser distribuido en todo el edificio por el sistema de ventilación existente. El diseño de nuevos edificios se puede adecuar a tareas de purga nocturna.

Refrigeración evaporativa.

Cuando se permite que el agua fría pase a través del aire exterior, cuando el agua se evapora, el calor latente de la vaporización es absorbido por el aire de alrededor, produciendo un efecto de refrigeración. La temperatura del bulbo húmedo del ambiente determina la temperatura final del agua. Este tipo de refrigeración se utiliza con torres de refrigeración del tipo evaporativas.

Los factores más importantes que hacen que varíe la tasa de evaporación, y así la cantidad de calor que puede ser transferido son:

- Superficie de contacto entre el agua y el aire: A mayor superficie de contacto mejor es la transferencia de calor.

- Humedad relativa del aire ambiente: El aire que es más seco acepta mayor cantidad de vapor de agua.
- Movimiento del aire: El movimiento del aire a través del vapor elimina hace que el aire saturado de agua se evacue y entre aire seco que acepte una cuota mayor de vapor.

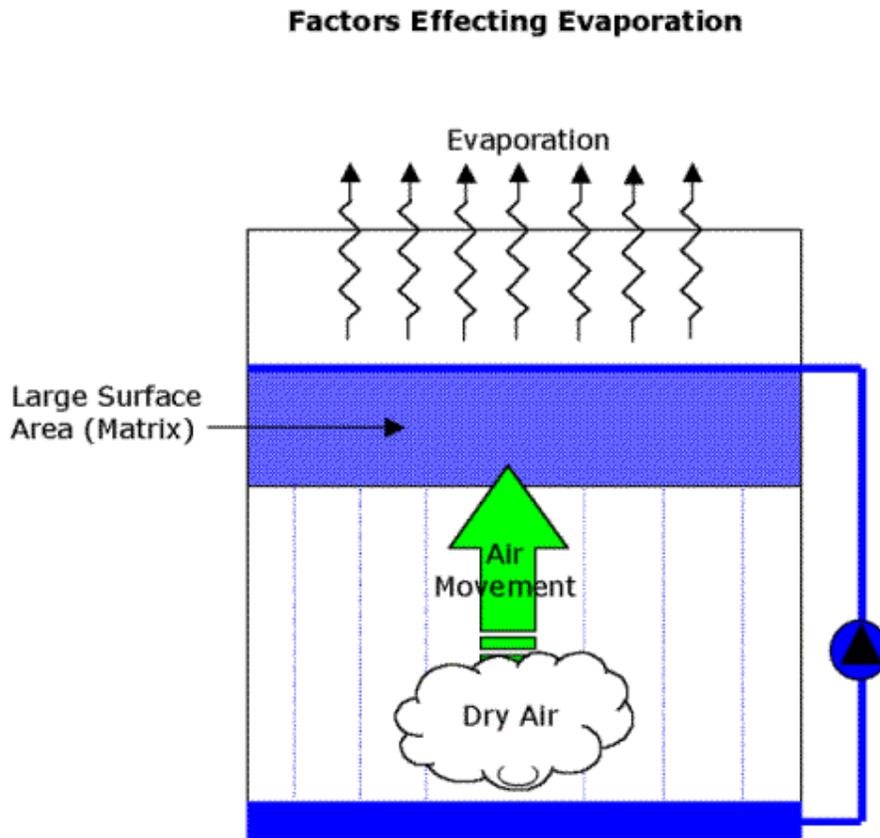


Fig. 2.75. Factores que afectan a la evaporación.

Se obtienen muchos beneficios mediante la utilización de las torres evaporativas. Son económicas, dado que no son necesarios los compresores o condensadores. El coste de operación es solo una fracción del de un sistema convencional de aire acondicionado y un sistema de refrigeración mecánica. Los costes de mantenimiento son mínimos y sobre todo muy simples. Es un sistema muy efectivo: los refrigeradores evaporativos han sido usados durante cientos de años en diversos tipos de refrigeración y todavía es común su uso en todo el mundo debido a su simplicidad y bajo coste.

Refrigeración por absorción.

La refrigeración por absorción permite que la energía calorífica sea el responsable de producir el efecto frigorífico.

A refrigeración por absorción funciona porque unas sustancias químicas tienen una gran afinidad para disolverse en otras, por ejemplo, una solución de bromuro de litio en contacto con el agua formará vapor para poder diluirse.

Esta afinidad es aprovechada en la refrigeración por absorción, para evaporar el agua, que en este caso es el refrigerante, en un evaporador convencional en el absorbedor.

El bromuro de litio (en solución) y el agua es una de las parejas más utilizadas en este tipo de equipos. Otra pareja muy testada es la de amoníaco y agua. Los parámetros de funcionamiento dependen de la pareja que se haya elegido.

La fuente de calor usada en la absorción puede venir impuesta de diferentes maneras como son el agua caliente, vapor o directamente quemando gas natural.

El COP de un equipo de refrigeración por absorción es de aproximadamente 0.7 – 0.8, pero esto depende del evaporador, condensador, absorbedor...

La refrigeración por absorción puede ser utilizada donde existen flujos a altas temperaturas que no tienen ninguna aplicación específica. Las CHP son un muy buen ejemplo donde la fuente de calor de la refrigeración por absorción puede ser las corrientes de agua caliente.

A tener en cuenta.

- Durante los meses fríos del año la refrigeración puede obtenerse simplemente usando el aire exterior.
- Ventilación natural puede obtenerse abriendo una ventana alta y otra baja, provocando una corriente forzada.
- Un aumento de la refrigeración puede ser suministrada (sobre todo en verano), usando agua como refrigerante y disipando calor por evaporación.
- Usar ventiladores para provocar movimiento de aire, o extraer el calor local es mucho más eficiente que la utilización de un sistema de refrigeración.
- Enfriadores de absorción pueden ser alimentados por el calor desalojado.
- El uso del frío gratuito puede ser integrado con sistemas de producción de frío obteniendo así ahorros del 70%.
- El aumento de estrategias de control como “purgas nocturnas” y “control de entalpía” pueden ayudar al incremento del frío gratuito.

2.4.1.5 Usar humidificadoras de alta eficiencia.

Descripción: Los humidificadores son aparatos que sirven para aumentar la humedad del aire en una habitación.

Se usa especialmente para restaurar el nivel de humedad relativa cuando en invierno el aumento de temperatura produce una disminución de esta.

Básicamente existen tres tipos de humidificadores.

a) Humidificación con vapor.

El vapor se usa para añadir agua al aire de ventilación o de acondicionamiento de aire, típicamente en el conducto de aporte de este, para aumentar la humedad relativa del aire. Esto se puede hacer de diferentes maneras:

- Inyección directa de vapor: El vapor generado por la caldera puede ser suministrado directamente a la corriente de aire por medio de válvulas eléctricas o neumáticas controladas en el colector de distribución. Este vapor puede contener aditivos químicos añadidos para aumentar la vida de la caldera, purgadores y equipos relacionados, por lo que hay que estudiar la posibilidad de tratar el vapor antes de añadirlo a la corriente de aire.
- Vapor a vapor: En este caso el vapor es generado en un intercambiador vapor-vapor, que permite tratar de forma separada el agua que va a ser usada.
- Vapor generado eléctricamente: Este vapor se genera mediante una resistencia o por intercambiadores de inducción y se vierte directamente a la corriente de aire. La unidad es muy compacta, y muy fácil de actualizar. Las características de control son muy buenas por lo que puede ser usado en multitud de situaciones. El equipo tiene limitado la producción de vapor debido a la potencia de las resistencias o del equipo de inducción.
- Vapor generado por la combustión de gas: El vapor se genera mediante la combustión del gas y el vapor se vierte de igual manera en la corriente de aire. Aunque tienen un alto coste de mantenimiento, los costes de operación son muchos menores que los sistemas eléctricos.

En un humidificador de vapor, la energía necesaria para la evaporación se aplica directamente al agua para generar vapor. Esto se traduce como un incremento de entalpía de una corriente durante la operación. Los humidificadores de vapor funcionan mejor en aplicaciones donde se demanda calefacción y humidificación a la misma vez.

En la siguiente figura se muestra un esquema de un humidificador eléctrico.

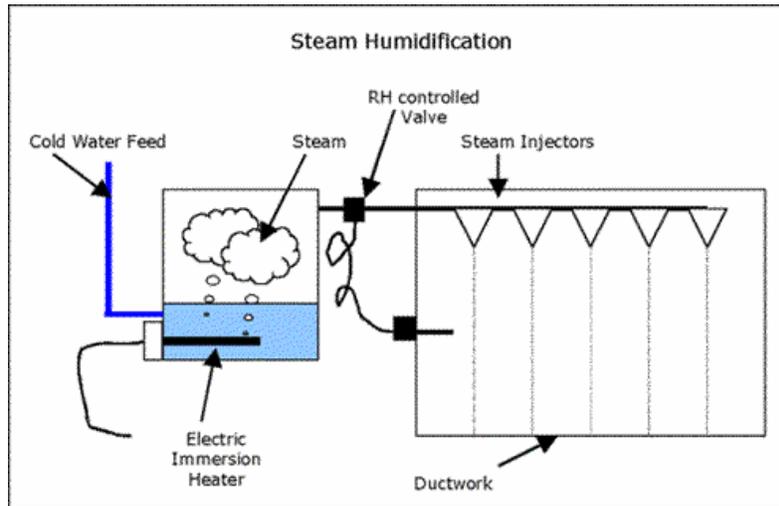


Fig. 2.76. Esquema de un humidificado eléctrico.

El vapor se genera en un depósito que es calentado por un calentador que se sumerge en el agua. El vapor se inyecta en la corriente de aire en el conducto debajo del sensor de control de humedad. El agua de alimentación ocasionalmente requiere tratamiento para prevenir la decantación de sustancias y la formación de lodos para evitar la formación de bloqueos. La humidificación tiene el coste más bajo, pero los costes de operación suelen ser prohibitivos sobre todo cuando hay que cambiar el calentador.

b) Humidificadores ultrasónicos.

Los humidificadores ultrasónicos usan un transductor piezoeléctrico para crear una oscilación mecánica de alta frecuencia en el seno del agua. El agua trata de seguir esta oscilación pero no puede debido a su peso relativo y su inercia. Momentáneamente se forma un vacío haciendo que el agua cavite formando vapor. El transductor continúa con su oscilación que crea unas ondas de altas presiones en la superficie del agua, mezclando pequeñas moléculas de vapor en el aire. Este es un vapor muy fino, de a penas un micrómetro de diámetro, que es rápidamente absorbido por el flujo de aire.

Dado que el vapor es generado por oscilación y no por calentamiento, la temperatura del agua no necesita ser elevada. Los humidificadores ultrasónicos, por tanto, pueden crear humedad instantáneamente, y no ha de esperarse ningún tiempo para que se caliente un depósito ni nada de eso. Este preciso control de la humidificación es la marca de distinción de los humidificadores ultrasónicos. Además, las unidades de humidificación ultrasónicas tienen, comparativamente, un tamaño reducido y aún así producen una importante cantidad de vapor de agua.

La principal ventaja de los humidificadores ultrasónicos es el ahorro energético que produce en comparación con los otros tipos. Comparados con los sistemas eléctricos de inmersión, los humidificadores ultrasónicos requieren alrededor de un 93% menos de energía eléctrica para humidificar el mismo espacio obteniendo además otros ahorros en costes de instalación eléctrica y aparamenta. Otra ventaja de este tipo de humidificadores es su fácil mantenimiento. Son muy fáciles de limpiar, especialmente si se usa agua tratada, que además tiene la ventaja de que no se vierte ninguna sustancia contaminante a la corriente de aire.

c) Humidificadores de aire comprimido.

Este sistema usa el aire comprimido para atomizar agua por medio de unas toberas especiales. Estas tienen una ventaja frente a los vaporizadores de alta presión dado que el aire comprimido causa una turbulencia adicional en la tobera que pulveriza las gotas en partículas aún más pequeñas.

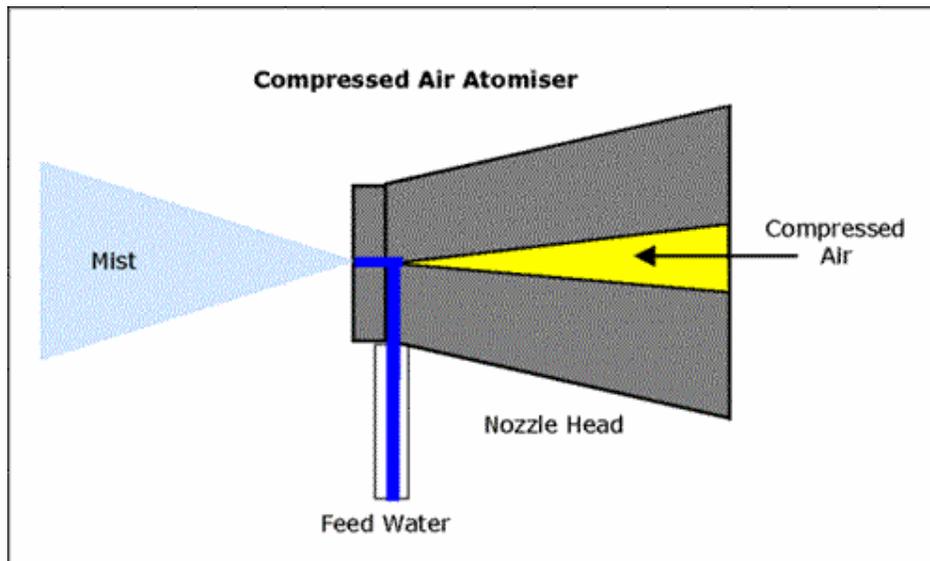


Fig. 2.77. Atomizador de aire comprimido.

d) Eliminadores de gotas.

Esta aplicación es necesaria para eliminar aquellas gotas de agua que sean demasiado grandes y no hayan sido completamente evaporadas. El sistema que utilizan es de impacto directo combinado con una fuerza centrífuga.

En la siguiente figura, las curvas están estratégicamente situadas para eliminar las gotas y disminuir la caída de presión. Las partículas impactan con las curvas disminuyendo así su energía cinética y no alcanzando la salida del conducto. Finalmente se recoge el agua en unos colectores que han de ser drenados.

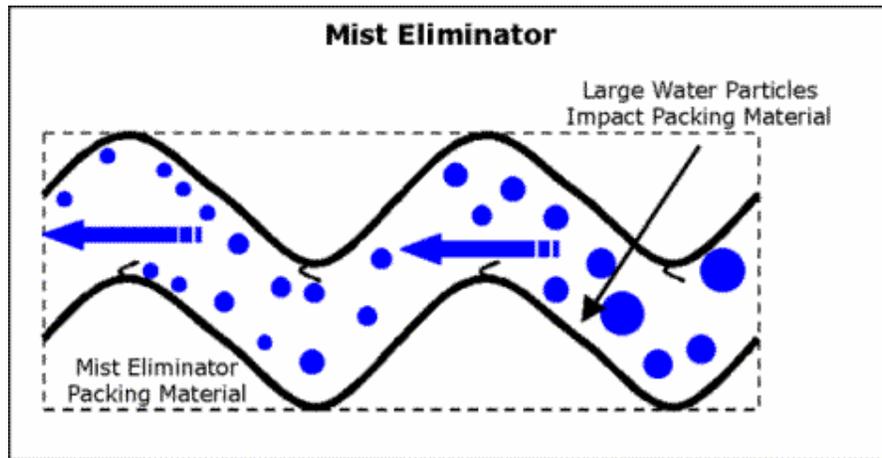


Fig. 2.78. Principio de funcionamiento del eliminador de gotas.

Los eliminadores de gotas pueden eliminar cerca del 100% de las gotas entre 10 y 50 micrómetros. Pueden montarse tanto en posición vertical como horizontal y pueden estar fabricados tanto de material termoplástico como de FRP.

A tener en cuenta.

- La humidificación y deshumidificación tienen unos requerimientos energéticos muy grandes.
- Cuestionarse si realmente es necesario un equipo de humidificación.
- Puede que no sea necesario tener instalado equipos de humidificación y deshumidificación.
- La humidificación y deshumidificación requieren una gran cantidad de energía. Mantener una humedad con un cierto margen (ej: 30-70 %) en vez de unas especificaciones más concretas (ej: 50% +- 2%), puede reducir considerablemente el consumo de energía.
- Los humidificadores ultrasónicos tienen menores costes de operación que humidificadores que usen electricidad para formar el vapor.
- Todos los humidificadores requieren rigurosos programas de mantenimiento para evitar la formación de precipitados y las condiciones de higiene.
- Disminuir el aporte de humedad en zonas donde haya aire acondicionado para evitar el uso de deshumidificadores en dichas áreas.
- "Control de entalpía" reduce la carga del equipo de deshumidificación.

- La deshumidificación que requiere el enfriado y recalentado de aire usa mucha energía.
- Métodos alternativos de deshumidificación (ej: desiccant Wheel), tienen menores requerimientos de energía.

2.4.2 Agua caliente.

En la siguiente tabla se exponen una lista de Medidas de Ahorro Energético referido al agua caliente que muestra un estimado periodo de retorno, ahorro energético típico y el coste de inversión basado en recientes estudios.

MEDIDA	PERIODO DE RETORNO*	POT. AHORRO**	INVERSIÓN***
Revisar los controles de tiempo, temperatura.	Inmediato	1	Ninguna
Aislar depósitos y tuberías.	Corto	2	Baja
Tratar el agua.	Corto	4	Baja
Minimizar el almacenamiento de agua o usar agua recién calentada	Largo	3	Media
Descentralizar a diferentes puntos de consumo	Medio	5	Media

*El periodo de retorno esta dado como Corto, Medio o Largo donde: Corto < 1 año, Medio de 1 a 3 años y Largo > 3 años.

**En el ahorro 1 representa la medida que ofrece mayor potencial de ahorro.

***La inversión está dispuesta en diferentes categorías que son: Baja < 3000€, Media entre 3000€ y 15000€ y Alta > 15000€.

Tabla 2.23 . Medidas de Ahorro Energético en el Agua caliente.

2.4.2.1 Revisar los controles de tiempo, temperatura.

Descripción: Los modernos temporizadores electrónicos permiten resoluciones de menos de un minuto y muchos cambios al día con la opción de cambiar de ON/OFF hasta el cambio del próximo programa, permitiendo así aumentar la producción de agua caliente o ajustarse a aumentos inesperados de demanda.

También debe considerarse la utilización de temporizadores de cuanta atrás en periodos fuera de producción normal. En estos casos, estos temporizadores, pueden activarse manualmente y se desconectan automáticamente en un tiempo prefijado.

Durante periodos vacacionales cuando no se requiere normalmente la producción de agua caliente, debe considerarse desconectar el sistema de agua caliente. Con esto se previene que se pierda calor a través de los conductos de distribución y los depósitos de almacenamiento.

Cuando se tienen instalados controles con la función “vacaciones”, hay que asegurarse de que está activada la protección de congelación, y que alguien está encargado de poner el sistema en el modo “vacaciones”.

A tener en cuenta.

- Excesivas temperaturas o tiempos de operación incorrectos desperdician energía y dinero.
- La configuración del equipo debe ser revisada mensualmente.
- El funcionamiento de válvulas motorizadas han de ser revisadas cada seis meses.
- La calibración de cada sensor de temperatura y humedad ha de ser revisado anualmente
- A menos que algún proceso lo requiera, no se debe generar agua caliente a mayor temperatura de 60° C.
- Una reducción de 10° C en la producción de agua caliente puede provocar un ahorro del 15% en la energía necesaria para generarlo.
- El agua caliente no debe de ser almacenada a menos de 60° C, dado que podrían aparecer infecciones bacteriológicas (ej: legionela).
- Asegurarse de que los temporizadores son precisos para un correcto funcionamiento.
- Es mejor calentar el agua con varios golpes de calor que no mantener un aporte de calor pequeño durante un periodo prolongado de tiempo.

2.4.2.2 Aislar depósitos y tuberías.

Descripción: Las pérdidas caloríficas pueden ser muy importantes cuando sistemas de agua caliente funcionan largos periodos de tiempo sin aislamiento alguno. Toda superficie que se encuentre más caliente que su alrededor pierde energía, y esta energía es proporcional a la superficie radiante y a la temperatura de la tubería. A medida que aumenta la temperatura y el área de transferencia mayor es la pérdida calorífica. Recubriendo de aislamiento la tuberías de agua caliente se reduce la temperatura de la superfici pero se aumenta el área de transferencia. Proporcionalmente es más importante la reducción de temperatura que el aumento de la superficie. Para cada aplicación se debe aplicar el espesor económico del aislamiento, como se muestra en la siguiente figura.

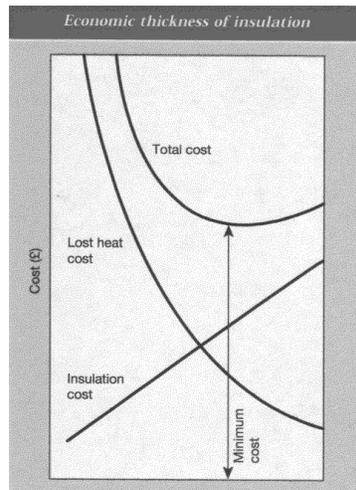


Fig. 2.79. Espesor económico

Todo depósito que almacene agua caliente debe ser aislado. El nivel de aislamiento económico depende de la temperatura de almacenamiento y del coste asociado a las pérdidas térmicas del mismo modo que ocurre en las tuberías.

Se pueden perder grandes cantidades de vapor por no tener los depósitos de almacenamiento convenientemente aislados, requiriendo que la caldera se ponga en funcionamiento constantemente, incluso cuando no existe demanda de agua caliente. El aislamiento de un depósito de agua caliente es relativamente barato, teniendo un periodo de retorno típico de 6 meses.

Los más modernos depósitos de almacenamiento vienen pre-aislados de fábrica. Una mejora del aislamiento se debe poner cuidado en que todas las superficies expuestas estén correctamente aisladas.

Es frecuente que se pase por alto el aislado de válvulas, juntas y otros accesorios debido sobre todo a la necesidad de mantenimiento de estos elementos. Las válvulas y juntas tienen superficies de transmisión muy grandes comparadas con las tuberías a las que pertenecen. Las pérdidas de calor de una válvula es equivalente a un metro de tubería expuesta, mientras que las pérdidas de una junta son equivalentes a medio metro de tubería expuesta.

El aislamiento de válvulas y juntas y accesorios puede llevarse a cabo con aislamiento del tipo envolturas aislantes.

Debe tenerse un especial cuidado a la hora de realizar el aislamiento de los accesorios. El tipo de aislamiento debe permitir el acceso para el mantenimiento y la posterior reposición de aislamiento. Para ello las envolturas aislantes son lo más indicado dado que se fijan con velero, bridas o alambre.

A tener en cuenta.

- Aislar depósitos de almacenamiento, tuberías de distribución y purgadores reducen las pérdidas en un 90%.
- Mejor resultado se obtiene usando depósitos en que el aislante se pone en fábrica.
- Un sistema de distribución bien aislado proporciona un servicio mejor de agua caliente así como previene la aparición de infecciones bacteriológicas.
- Las válvulas y juntas deben aislarse con “envolturas aislantes”.
- En términos de pérdidas de calor, una válvula es equivalente a un metro de tubería no aislada. Una junta es equivalente a medio metro.
- Reparar todo aislamiento que se encuentre dañado.
- Asegurarse de que cualquier aislamiento es vuelto a colocar después de alguna reparación
- Pérdidas de calor debidas a tuberías que no están aisladas puede provocar sobrecalentamientos en determinadas zonas, lo que puede provocar aumento de costes de aire acondicionado.

2.4.2.3 Tratar el agua.

Descripción: Los problemas más frecuentes presentados en calderas pueden dividirse en dos grandes grupos:

- 1.- Problemas de corrosión.
- 2.- Problemas de incrustación.

Aunque menos frecuente, suelen presentarse ocasionalmente:

- 3.- Problemas de ensuciamiento y/o incrustación.

Para un buen mantenimiento es necesario tratar el agua de entrada a la caldera. Los principales fines perseguidos con el tratamiento del agua de alimentación son los siguientes:

- 1.- Quitar materias solubles o en suspensión.
- 2.- Eliminación de gases.

Todo esto es necesario, entre otras cosas, para:

- 1.- Evitar la formación de incrustaciones sobre las superficies de calentamiento de agua.
- 2.- Proteger contra la corrosión los metales de la caldera, recuperadores y tuberías.

Se debe decir que no existe ningún procedimiento simplista ni producto químico apropiado para todas clases de aguas. Cada caso debe considerarse individualmente.

El proceso del tratamiento del agua incluye la separación de los detritos mediante unas cubas móviles o fijas, filtrado, separación de lodos y limos en depósitos de decantación, calentamiento, vaporización o destilación, desaireación, tratamiento con cal apagada, tratamiento con carbonato sódico, tratamientos con ambos productos, con hidróxidos sódico y bórico, con fosfato trisódico, coagulantes, zeolitas (descalcificadotes) y por osmosis inversa.

Existen dos principales formas de tratamiento del agua, llamadas interno y externo.

El tratamiento externo de agua generalmente se realiza tratando el agua previamente de su entrada a la caldera. El propósito es eliminar (completamente o parcialmente) una o más tipos de impurezas. Los principales métodos de tratamiento externo incluyen:

- Pretratamiento. Esto puede incluir sedimentación, clarificación, flotación y filtración.
- Eliminación de la dureza del agua.
- Desalcalinización del agua, para eliminar los sólidos disueltos mediante la eliminación de la alcalinidad.
- Desmineralización, para eliminar sólidos disueltos y sílice mediante el intercambio iónico.
- Osmosis inversa, para eliminar los sólidos disueltos mediante un proceso de membrana.
- Desaireación, para eliminar los gases disueltos (oxígeno y dióxido de carbono)

Estos métodos producen calidades variables del agua tratada y son usadas en consonancia a la composición del agua, de la caldera y de la calidad/uso que se requiera del vapor.

El tratamiento interno del agua también hace referencia al acondicionamiento del agua. El tratamiento interno del agua no es aconsejable por sí mismo y el agua de alimentación debe ser procesada tanto como sea posible antes de entrar a la caldera. El tratamiento interno consiste en la adición de sustancias químicas, en la caldera, para evitar la corrosión y la formación de lodos. La corrosión se minimiza usando una estrategia para mantener un entorno no agresivo. Un entorno no agresivo se consigue mediante la eliminación del oxígeno disuelto, manteniendo una reserva de oxígeno químico corrosivo y manteniendo una reserva de alcalinidad. El tratamiento interno generalmente incluye la adición de sustancias químicas en los circuitos de baja y alta presión de la instalación de vapor.

En el lado de los gases de combustión, el ensuciamiento se dará principalmente en las calderas que queman combustibles sólidos y será provocado por los inquemados sólidos y cenizas de estos combustibles que se adhieren a las paredes de la caldera y pueden llegar a sinterizar debido a las elevadas temperaturas.

El ensuciamiento formado en las superficies de la caldera aporta una resistencia extra a la transferencia de calor a través de las paredes, aumentando la temperatura de los gases de salida y de las superficies metálicas, las cuales pueden verse sometidas a una tensión térmica elevada. Todo esto conduce a una reducción de la eficiencia del equipo y a la necesidad de aumentar el consumo de combustible, así como a una reducción del ciclo de vida del equipo.

La siguiente tabla muestra la conductividad térmica de distintos materiales que pueden depositarse en las superficies de las calderas o formar parte de las mismas.

Material	Conductividad Térmica (W/mk)
Fosfato cálcico	2
Sulfato cálcico	1.282
Fosfato de magnesio	1.202
Óxido de hierro	1.602
Silicato	0.048
Aislante	0.056
Acero de caldera	24.84

Tabla 2.24. Conductividad térmica de sustancias en calderas.

La siguiente gráfica representa el incremento sufrido por la temperatura de la superficie metálica de la caldera y la pérdida de eficiencia en función del espesor de los depósitos.

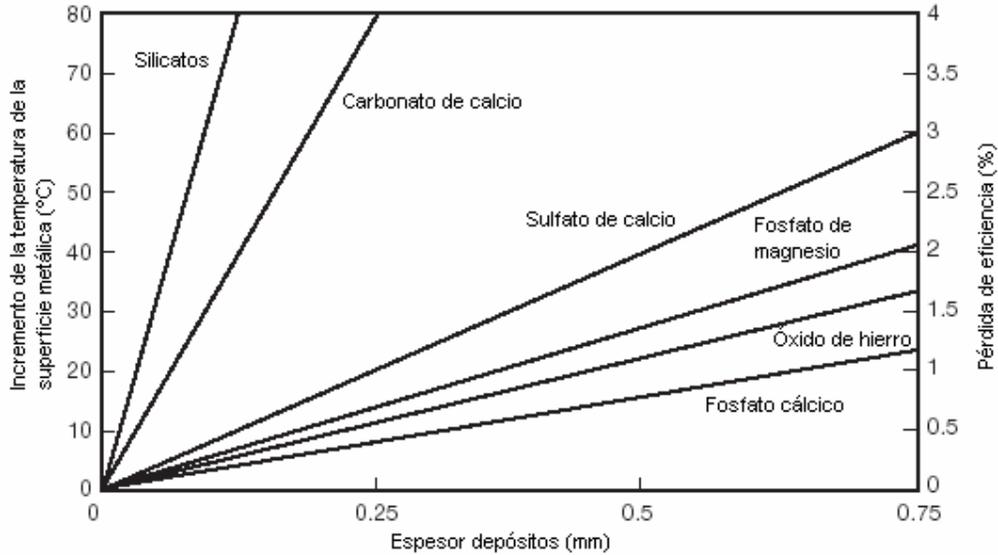


Fig. 2.80. Efecto del ensuciamiento en la eficiencia de la caldera.

Una vez que ya se han formado estos depósitos existen dos métodos para eliminarlos: limpieza mecánica y limpieza química.

El método mecánico se utiliza en calderas acuotubulares e inyecta agua a presión sobre las paredes sucias de la caldera. También puede utilizar otros aparatos de limpieza. La limpieza química o ácida se emplea tanto en calderas acuotubulares como pirotubulares y se centra en disolver los depósitos formados. Ambos métodos han de realizarse cuando la caldera está fuera de servicio y deben llevarse a cabo por personal cualificado.

Para eliminar el ensuciamiento formado en el lado de los gases en calderas acuotubulares se suele emplear un “soplador de hollín” que emplea vapor a elevada presión y lo inyecta sobre las paredes de la caldera donde se han acumulado los inquemados. Esto puede ser un método de limpieza muy efectivo que se realiza con la caldera en servicio. Algunas calderas utilizan aire comprimido como medio de limpieza. Este aparato puede ser localizado en cualquier zona propensa a ensuciarse. Para verificar la efectividad de esta operación se debe monitorizar la temperatura de los gases a la salida del soplador antes y después de que ocurra la operación. El cambio de dicha temperatura es el principal factor para indicar esta efectividad. Así, si se necesita la operación de limpieza, la temperatura de salida tendrá que disminuir una vez se haya realizado. Se tendrán que usar termómetros para asegurar la monitorización adecuada.



Fig. 2.81. Limpieza de la caldera.

A tener en cuenta.

- En cuanto el agua se calienta, se pueden formar precipitados o depósitos en la superficie de transferencia de calor.
- Los depósitos reducen la transferencia de calor y aumentan el tiempo de calentamiento, perjudicando la eficiencia energética.
- La formación de depósitos también aumenta el riesgo de infecciones bacterianas y puede interferir en el control de bombas y válvulas.
- La formación de depósitos es particularmente problemático en zonas donde el agua está muy caliente.
- Aguas suavizadas químicamente reducen el crecimiento de depósitos. El éxito también se mejora con sistemas electromagnéticos que evitan la formación de precipitados.
- Debe seguirse un programa de esterilización de tuberías para mantener unas condiciones de higiene mínimas.

2.4.2.4 Minimizar el almacenamiento de agua o usar agua recién calentada.

Descripción: Aunque depósitos, tuberías, purgadores se encuentren perfectamente aislados, el agua de su interior va perdiendo energía a medida que pasa el tiempo. Por lo tanto cuanto menor sea el tiempo que permanezca el agua caliente encerrada menor será la pérdida de energía. Lo ideal por tanto sería calentar el agua que inmediatamente se va a consumir. En ocasiones esto no se puede conseguir, como por ejemplo en periodos de demanda

elevada, teniendo que almacenar agua caliente. En estos casos es recomendable que se almacene la mínima cantidad de agua que exija la circunstancia.

A tener en cuenta.

- Depósitos de agua caliente tienen pérdidas de calor y requieren operaciones de mantenimiento de higiene.
- Por diseño, la mayoría de sistemas de agua caliente tienen un exceso de capacidad de almacenamiento de agua caliente, teniendo por tanto innecesarias pérdidas de calor.
- Cuando varios depósitos están instalados, se puede disminuir la capacidad de almacenamiento solo con vaciar e incomunicar uno o alguno de los depósitos.
- Intercambiadores de placas o calentadores de agua de gas/oil pueden tener demandas instantáneas de agua mas elevados que un sistema centralizado. Esto elimina mucho calor perdido asociado al almacenamiento de agua caliente y ofrece menos requerimientos de higiene.
- El calentamiento instantáneo de agua puede ser inapropiado en puntos donde la demanda se caracteriza por ocasionales pero largos picos de consumo.
- Muchos calentadores de a agua de gas/oil ofrecen un buen compromiso entre la capacidad instantánea, y la limitada capacidad de producir picos de una cierta magnitud
- Es generalmente más eficiente la utilización de un calentador independiente de la caldera de vapor.

2.4.2.5 Descentralizar la producción a puntos de consumo.

Descripción: La mayor desventaja de una producción centralizada de agua caliente viene cuando se requiere una gran red de distribución y una gran cantidad de agua para servir a los usuarios. Estas dos razones conllevan unas pérdidas de calor inherente.

Otro inconveniente que tienen este tipo de instalaciones es que hay que generar el agua caliente a las condiciones de consumo más restrictivas que haya en la red, por lo que se desperdiciaría energía en otras aplicaciones que no tenga requerimientos tan altos de energía.

Los sistemas centralizados también requieren la instalación de bombas para provocar la circulación del agua,, el consumo eléctrico de estas bombas es

grande en redes de un tamaño considerable que operan un número elevado de horas al año.

La eficiencia global de una caldera que produce un hilo de agua caliente que se almacena en un depósito central que no tiene a penas demanda es generalmente muy baja. Hay otro tipo de desventajas adicionales como por ejemplo cuando ha de llevarse a cabo el mantenimiento de la instalación se corta el suministro de agua caliente a todos los usuarios de la red. En una instalación con una producción descentralizada esto o ocurriría.

Una instalación centralizada puede ser efectiva, sin embargo, otras soluciones de, por ejemplo, recuperación de calor podrían ser mucho más interesantes: el agua caliente puede ser producida con un intercambiador que intercambie el agua con el refrigerante de los compresores.

A tener en cuenta.

- Puntos de consumo centralizados disminuye las pérdidas de calor asociadas a redes de distribución muy largas.
- Esto también permite tener mayor precisión en la temperatura del agua.
- Los puntos de consumo pueden ser tanto de calentadores eléctricos como de gas, y pueden producir tanto agua caliente instantánea como para almacenamiento.
- Cuando algún proceso requiere una gran producción de agua caliente, se recomienda es uso de calentadores “Flue-Less” los cuales tienen una gran eficiencia.
- Si es posible, obtener agua caliente usando el calor que contiene el refrigerante de los compresores.

2.4.3 Ventilación.

En la siguiente tabla se exponen una lista de Medidas de Ahorro Energético referido a la ventilación que muestra un estimado periodo de retorno, ahorro energético típico y el coste de inversión basado en recientes estudios.

MEDIDA	PERIODO DE RETORNO*	POT. AHORRO**	INVERSIÓN***
Revisar los ajustes de control	Inmediato	1	Ninguna
Renovar los controles (interruptores, compuertas motorizadas)	Corto	2	Baja
Equilibrar los ratios de aporte y extracción de aire.	Corto	4	Baja
Control de velocidad de los motores de los ventiladores	Medio	3	Media
Utilizar el calor recuperado	Largo	5	Media

*El periodo de retorno esta dado como Corto, Medio o Largo donde: Corto < 1 año, Medio de 1 a 3 años y Largo > 3 años.

**En el ahorro 1 representa la medida que ofrece mayor potencial de ahorro.

***La inversión está dispuesta en diferentes categorías que son: Baja < 3000€, Media entre 3000€ y 15000€ y Alta > 15000€.

Tabla 2.25. Medidas de Ahorro Energético en la Ventilación.

2.4.3.1 Revisar los ajustes de control.

Descripción: El punto de funcionamiento establecido y la calibración de los sensores afectan a la eficiencia global del sistema de aire acondicionado. Cuando el equipo trabaja innecesariamente debido a un incorrecto ajuste de los parámetros o debido a un sensor mal calibrado, crecen los costes de operación.

- *Termostatos:* Los termostatos que funcionan con una lámina bimetálica pueden permitir temperaturas que se alejen hasta tres grados de la temperatura prefijada. Esto conduce a una sensación de disconfort, y a una pérdida de calor y dinero. Los termostatos electrónicos modernos funcionan de forma mucho más precisa teniendo una precisión de hasta medio grado, ofreciendo mucho más control y no perdiendo nunca las condiciones de confort.
- *Sensores de humedad:* Los sensores de humedad se usan para medir la humedad relativa del aire. Este tipo de sensores requieren una regular calibración dependiendo de del ambiente de trabajo y de la precisión del control que se espera que se proporcione.

Los interruptores con temporizador permiten conectar y desconectar al aire acondicionado a intervalos de tiempo predeterminados. Se pueden obtener temporizadores de muy diversas versiones como diarias (24 h), semanales/fin de semana (5/2 días), de 7 días o de 365.

La temporización de los equipos debe coincidir con los tiempos de ocupación de las estancias o con los periodos de proceso.

La resolución y flexibilidad de los modernos interruptores con temporizador permiten una gran precisión y un ahorro mayor.

En vacaciones, cuando los edificios no se encuentran ocupados generalmente, no se debería permitir que el aire acondicionado funcionase a temperaturas normales. Cuando hay áreas que están parcialmente ocupadas, puede que no sea necesario ni siquiera conectar el equipo de aire acondicionado.

Cuando los controles están ajustados a la función "vacaciones", se debe asegurar de que esté activada la protección ante formación de escarcha, y que alguien es responsable de poner el equipo en la función de vacaciones.

El funcionamiento de válvulas y compuertas motorizadas debe ser revisado para asegurar el completo funcionamiento de las mismas. Cuando estos dispositivos se encuentran cerrados, debería haber un mínimo flujo de aire o agua, por el contrario, cuando se encuentran totalmente abiertas el flujo debe ser máximo.

Una regular revisión de los motores y anclajes de las válvulas y compuertas motorizadas minimizarán los escapes y asegurarán un eficiencia máxima.

A tener en cuenta.

- Los ajustes de control deben ser revisados mensualmente.
- Asegurarse que la temporización de los interruptores es precisa y está ajustada a los patrones de trabajo.
- El sistema de ventilación tienen un impacto muy importante en la demanda de calor y frío en los espacios ocupados y en los procesos.
- El funcionamiento de los ventiladores innecesariamente provoca un gasto extra de energía.
- El funcionamiento de compuertas motorizadas, válvulas e interruptores has de ser revisadas cada seis meses.
- La ventilación no es necesaria durante periodos de baja ocupación o producción. Asegurarse de que se cumplen siempre los requerimientos de seguridad y salud.

2.4.3.2 Renovar los controles (interruptores, compuertas).

Descripción: El sistema de ventilación puede ser controlado para funcionar según el uso de ciertos sensores. Esos sensores pueden controlar la

ventilación no solo mediante la temperatura, si no también según la humedad, nivel de polvo, etc. Dichos sensores aseguran que el sistema de ventilación solo funcione cuando se alcancen ciertas características ambientales.

- Sensores de ocupación: Se puede conseguir un ahorro energético importante mediante la utilización de sensores de ocupación para accionar el sistema de ventilación en zonas donde los requerimientos de ventilación son solo intermitentes.
- Sensores termostáticos: Los termostatos usados en áreas tales como plantas de producción, permiten que los extractores funcionen solo cuando la temperatura ambiente es elevada, de nuevo, estos sensores están provistos de un control automático para minimizar las pérdidas energéticas.
- Sensores de dióxido de carbono: Los sensores de dióxido de carbono puede ser usados en edificios donde hay una alta variación en los requerimientos de ventilación debido a la variación de la ocupación de las estancias del edificio.

Se debe considerar el uso de temporizadores de cuenta atrás cuando la demanda de ventilación es muy aleatoria o en periodos de funcionamiento especiales. Esto permite al usuario conectar manualmente el sistema de ventilación y éste se apagará automáticamente tras un tiempo preestablecido.

El uso de interruptores previene el funcionamiento de los ventiladores cuando no hay demanda. Un ejemplo de esto puede ser que los ventiladores de un equipo de extracción de viruta estén funcionando cuando el equipo se encuentra parado. Un interruptor situado en la máquina podría proporcionar la posibilidad de accionar el sistema cuando entrara en funcionamiento la máquina y desconectarlo cuando el trabajo de esta acabara.

Se han de tener en cuenta también las condiciones de seguridad y salud cuando se considera el uso de una desconexión automática del equipo de ventilación.

En sistemas de ventilación donde exista una red principal de ventilación es posible separar las diferentes ramas de ventilación gracias a compuertas que compartimenten dichos sectores gobernados por controles de temperatura y tiempo. Mediante este sistema se previene el aporte y extracción de aire de un espacio y así, se reduce la energía necesaria para acondiciona un determinado lugar. Cuando un edificio es grande y tiene muchas áreas diferentes, se deben usar compuertas motorizadas para asegurar la correcta adecuación del aire.

Si se reduce el volumen de aire que debe ser acondicionado, también se reduce la necesidad de calefacción o de refrigeración del sistema. Cuando hay instalados variadores de frecuencia en los motores eléctricos, la potencia de ventilación puede ser ajustada a la carga necesaria de manera muy eficiente.

Alternativamente las unidades de mantenimiento de aire pueden ser instaladas en paralelo y secuenciadas para ajustar la carga de la ventilación.

También se deben instalar compuertas antirretorno en los ventiladores de extracción para evitar el escape de aire frío cuando el ventilador no se encuentre en funcionamiento.

A tener en cuenta.

- Debido al alto coste de operación de la ventilación, el periodo de retorno de controles simples son típicamente cortos (6-12 meses).
- Asegurarse de que los temporizadores de los interruptores son lo suficiente sofisticados para permitir diferentes programaciones para cada día de la semana si fuese necesario.
- Usar compuertas de zona motorizas para separar zonas de la industria que tengan diferentes requerimientos de ventilación.
- Modernizar los sensores térmicos y de humedad proporciona controles más seguros y reduce el consumo de energía.
- En áreas donde la contaminación o humedad son importantes, usar sensores específicos para operar el sistema de ventilación solo cuando las condiciones de operación lo requieran.
- Usar interruptores en equipos o procesos para prevenir la utilización innecesaria del sistema de ventilación.
- Sensores de ocupación pueden ser utilizadas cuando hay un uso intermitente, por ejemplo duchas y baños.

2.4.3.3 Equilibrar los ratios de aporte y extracción de aire.

Descripción: El equilibrado del aporte y extracción de aire permite controlar las correctas condiciones térmicas y de ventilación de un determinado lugar. Si los conductos de ventilación estuviesen bloqueados, por completo o solo parcialmente, haría que el sistema de ventilación funcionase ineficientemente dado que se tendría un control peor de la situación.

En los edificios que tienen una presión negativa, debido a que la extracción es mayor que el aporte de aire, el aire exterior entra al edificio por los puntos de menor resistencia. Este aire entra en el edificio si haber sido convenientemente tratado y acondicionado, haciendo que aparezcan corrientes de aire, entre polvo y suciedad, y se tenga una baja calidad de aire en las zonas donde se produce esta entrada del aire exterior.

En algunas ocasiones es beneficioso hacer que en el edificio haya una pequeña presión positiva, particularmente cuando es inaceptable que se produzca una entrada de aire del exterior.

A tener en cuenta.

- Asegurarse de que el aporte de aire está adecuadamente tratado cuando se extraiga aire de un edificio. Esto previene infiltraciones de aire no tratado.
- Esta no la entiendo.
- Posicionar las rejillas de aporte y extracción de aire de manera que el circuito del aire sea mínimo no está permitido.
- Proveer de más aporte que extracción de aire provoca posiciona al edificio bajo una leve presurización y previene la infiltración de aire frío.
- Donde hay requerimientos específicos de extracción, el aporte de aire debe ser localizado para prevenir el arrastre de aire caliente.
- Las rejillas de extracción deben ser hechas a medida con un antirretorno para prevenir la entrada al edificio de aire frío cuando la extracción no esta funcionando.

2.4.3.4 Control de velocidad de los motores de los ventiladores.

Descripción: La mayor parte de las bombas, compresores y ventiladores en el campo industrial funcionan a velocidad constante. Esto obliga a ajustar la capacidad (caudal) de estos equipos aumentando artificialmente las pérdidas por fricción (resistencia) del sistema (instalación) por medio de algún dispositivo de estrangulamiento (diafragmas), que suele ser una válvula de ajuste o control, o las rejillas (persianas) de control de tiro. Este procedimiento lleva consigo que se produzcan unas pérdidas elevadas que suelen denominarse pérdidas por estrangulamiento. Estas pérdidas pueden evitarse dejando los dispositivos de estrangulamiento completamente abiertos (o eliminándolos) y utilizando un accionamiento de corriente alterna (motor de inducción) con velocidad variable para ajustar la capacidad de funcionamiento.

En la siguiente figura se muestra, en su parte superior, la curva de capacidad (altura-caudal, o H-Q) de una bomba centrífuga que funciona a velocidad constante (la nominal del motor que la acciona, por ejemplo). Sobre esta misma curva se ha representado la característica H-Q resistente de la instalación con la válvula de estrangulamiento completamente abierta. Estas dos curvas se cortan en el punto A_1 , de funcionamiento nominal. En este punto, la bomba funciona a su velocidad nominal (Ω_N) y con su caudal máximo (Q_1). Una reducción del caudal (Q_2) requiere un nuevo punto de funcionamiento sobre la curva de capacidad (H-Q) de la bomba (A_2). Dado que la bomba funciona a

velocidad constante (sólo tiene una curva H-Q), este nuevo punto de funcionamiento sólo puede obtenerse incrementando la resistencia de la conducción a la salida de la bomba (cierre parcial de la válvula de estrangulamiento y consiguientes pérdidas por fricción). Los puntos A_2 y A_3 muestran los puntos de intersección de la curva de capacidad de la bomba con las características H-Q resistentes resultantes, correspondientes a dos posiciones diferentes de la válvula de estrangulamiento.

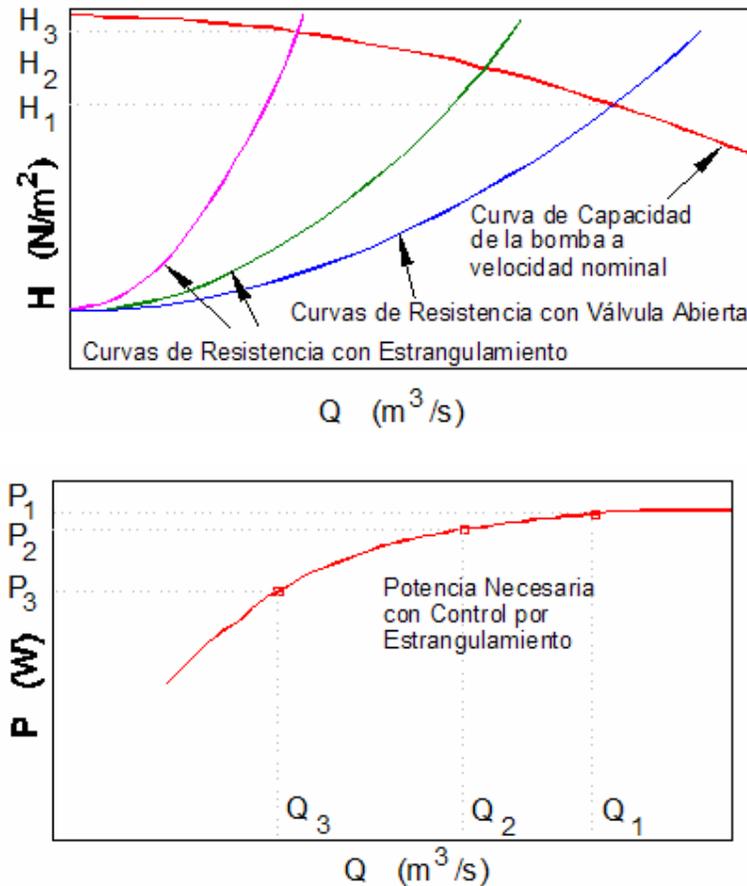


Fig. 2.82. Control de caudal por estrangulamiento de la válvula de salida (bomba velocidad constante).

La parte inferior de la Fig 2.82 muestra la potencia eléctrica absorbida por el motor de inducción que acciona la bomba en función del caudal.

La parte superior de la Fig.2.83 muestra de nuevo la característica H-Q resistente de la instalación con la válvula completamente abierta. Sobre esta misma curva se ha superpuesto la curva de capacidad de la bomba funcionando a velocidad nominal. Estas dos curvas se cortan en el mismo punto A_1 del caso anterior (nominal). Como en el caso anterior, la bomba funciona a su velocidad nominal (Ω_N) y con su caudal máximo (Q_1). Ahora se acciona la bomba a velocidad variable. Ahora, para conseguir el caudal Q_2 se

reduce la velocidad desde Ω_N hasta Ω_2 . Como puede verse, la curva de capacidad de la bomba para esta nueva velocidad interseca la característica H-Q resistente de la instalación (válvula completamente abierta) en el nuevo punto de funcionamiento (A_2).

La parte inferior de la Fig. 2.83 muestra la demanda de potencia eléctrica absorbida de la red con la bomba funcionando a velocidad constante y cuando se controla su velocidad de funcionamiento. La comparación de ambas curvas permite evaluar el ahorro energético que puede derivarse del accionamiento de la bomba a velocidad variable.

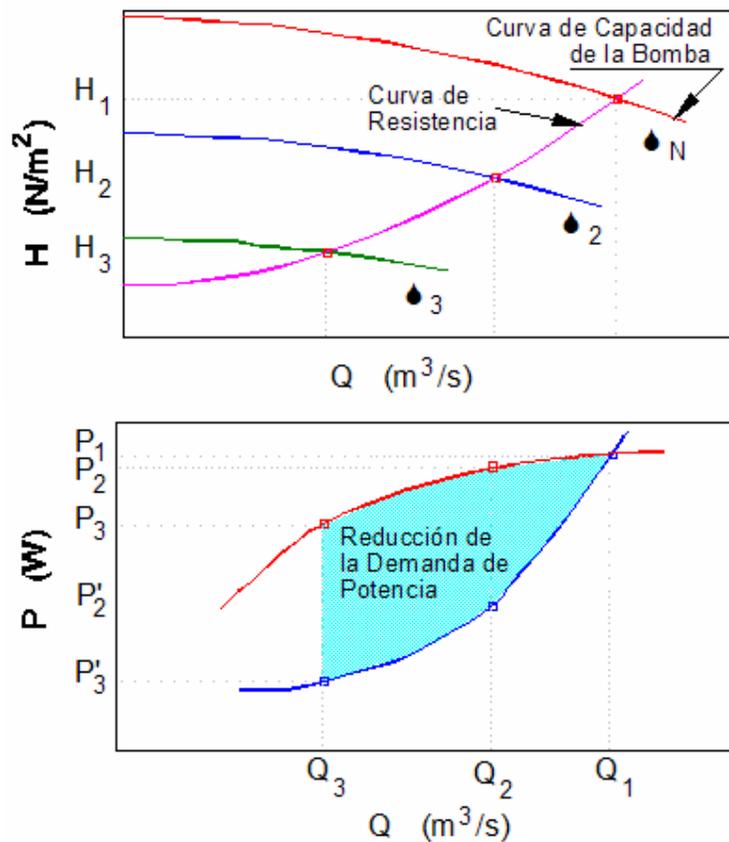


Fig. 2.83. Control de caudal por variación de la velocidad de funcionamiento de la bomba.

Las principales ventajas que se derivan de la utilización de motores de inducción con velocidad variable para el accionamiento de bombas, compresores, ventiladores y equipos similares son los siguientes:

- Reducción de los costes de explotación de la instalación debido al ahorro energético que se produce con este método en comparación con aquellos otros métodos que utilizan circuitos de recirculación o válvulas de estrangulamiento en bombas, y paletas (persianas) o rejillas de guía del flujo de admisión y diafragmas en ventiladores.

- El arranque suave que proporciona el propio equipo de control de velocidad elimina la circulación de las elevadas intensidades por la instalación y las consecuentes caídas de tensión en la red, que se producen como consecuencia del arranque directo. El arranque suave, además, reduce la fatiga mecánica del motor, del sistema mecánico de transmisión (acoplamientos, tren de engranajes, etc.) y de la máquina accionada.
- La protección que confiere el equipo de control de velocidad y la suavidad del arranque permite un número ilimitado de arranques sucesivos. La maniobra de arranque, además, se simplifica enormemente.
- El accionamiento no contribuye a las faltas en la instalación.
- Pueden conseguirse velocidades superiores a 3000 (3600) rev./min. sin multiplicador de engranajes, ya que el equipo de control puede generar tensiones de frecuencia superior a 50 (60) Hz.
- El rango permisible de caudal controlable suele ser superior al que puede conseguirse con otros métodos, que suelen exhibir problemas de vibración y calentamiento con niveles de flujo reducidos.
- El funcionamiento a velocidades más bajas reduce el desgaste de todos componentes de la instalación y reduce (o elimina) las necesidades de mantenimiento de dispositivos como válvulas de estrangulamiento y rejillas de admisión que, en otro caso suelen ser intensivas.

Aunque la relación precedente indica que existen muchas razones que hacen aconsejable la utilización de motores de inducción con velocidad variable para el accionamiento de bombas y ventiladores, la reducción de los costes de explotación asociada al ahorro energético suele el principal incentivo para su utilización.

Si bien es cierto que la sustitución de un sistema de velocidad constante por otro con velocidad variable conlleva un cierto ahorro energético y, en consecuencia, una reducción en los costes de explotación, la evaluación de estas reducciones energéticas y de costes suele exigir un completo análisis de la instalación. Dado que los equipos de control de velocidad de los motores de inducción son componentes relativamente costosos, el grado de reducción de los costes de explotación derivados del ahorro energético, deben ser lo suficientemente alto como para compensar el elevado costo inicial de adquisición del equipo de control. Esto reduce el número de aplicaciones en las que resulta rentable la utilización de accionamientos con velocidad variable.

De lo dicho anteriormente se deduce que para cada accionamiento con velocidad variable resulta fundamental llevar a cabo una evaluación económica realista del ahorro energético que asegure una adecuada tasa de retorno de la inversión. Para la realización del estudio son necesarios los siguientes datos de partida:

- Método de control de caudal con el que se compara el accionamiento con velocidad variable.
- Datos de la bomba o el ventilador.
 - Curva altura-caudal (H-Q) para cada uno de los diferentes líquidos (bombas) o gases (ventiladores) utilizados.
 - Curva de rendimiento-caudal (normalmente superpuesta a la H-Q).
- Datos del proceso.
 - Densidad de los productos.
 - Curva altura-caudal de resistencia de la instalación.
 - Ciclo de funcionamiento del proceso (niveles de caudal y duración).
- Rendimiento de todo el equipo eléctrico implicado, con suficiente grado de detalle para permitir un análisis del funcionamiento con cargas parciales.
 - Motores (velocidad constante y con acoplamiento con velocidad regulable (hidráulicos, de corrientes parásitas, etc.)).
 - Accionamientos de corriente alterna con velocidad variable.
 - Transformadores.
 - Trenes de engranajes.

Los métodos convencionales de regulación de caudal en sistemas de bombas, ventiladores y compresores se enumeran a continuación:

1. Válvula de estrangulamiento a la salida (bombas) o rejillas (ventiladores).
2. Recirculación (bombas) o flujo (ventiladores).

3. Acoplamiento con velocidad variable (embrague, corrientes parásitas, etc.).
4. Rejillas de control del flujo de entrada (ventiladores).
5. Motores de dos velocidades en combinación con cualquiera de los anteriores.

Los variadores de frecuencia presentarán ventajas desde el punto de vista energético con respecto a estas regulaciones clásicas.

A tener en cuenta.

- Generalmente, los motores de los ventiladores suelen estar sobredimensionados.
- En motores de una velocidad, cajas reductoras o multiplicadoras pueden ser usadas para regular la velocidad de giro.
- Las cargas pueden ser ajustadas usando motores de múltiples velocidades permitiendo 0%, 50% y 100% de la carga con un motor de dos velocidades.
- La configuración en paralelo de los ventiladores permite ajustar el caudal suministrado, con el inconveniente de que el incremento se produce a escalones.
- Variadores de velocidad permiten ajustes precisos de la velocidad según la carga.
- Cuando se usa un regulador de velocidad, una reducción del 20% de la velocidad supone una reducción de la energía demandada del 50%.

2.4.3.5 Utilizar el calor recuperado.

Descripción: Los métodos de recuperación de calor en los sistemas de ventilación están principalmente adaptados para recuperar el calor liberado normalmente por equipos o procesos y usarlo en calentar el aire de aporte de la ventilación.

En muchas ocasiones, el sistema de ventilación se usa para extraer aire de fuentes de altas temperaturas, como sala de calderas, hornos, etc, donde el calentamiento del aire no es una necesidad principal. En este caso el aire puede ser utilizado en otras zonas como una fuente de calefacción independiente.

Cuando se considere la recuperación de calor por medio del sistema de ventilación es necesario reconocer los cuatro principios fundamentales para una buena operación:

- Localización: idealmente la fuente de calor y el destinatario deben localizarse tan cerca como sea posible.
- Temperatura: El flujo de aire que se va a utilizar debe estar a mayor temperatura que el ambiente que se quiere calentar.
- Tiempo: La posibilidad de recogida de aire caliente debe coincidir con las necesidades de calefacción en el tiempo.
- Cantidad: los requerimientos de la zona a calentar deben ser cuanto más grandes mejor para así utilizar más cantidad de calor recuperado.

La recuperación de calor es una opción muy indicada cuando se revisa el sistema de ventilación. La localización del aporte y extracción del calor recuperado determinan el método más idóneo para su realización, basándose en criterios de espacio y de temperatura.

a) Recirculación parcial del aire.

Tiene una eficiencia variable dependiendo de las condiciones de operación, es el método más simple de recuperación de calor pero requiere que el aporte y la extracción se encuentren adyacentes. Se puede recuperar tanto el calor sensible como el latente, pero existe un riesgo de contaminación cruzada.

b) Intercambiadores de placas.

Ofrecen eficiencias por encima del 50%, también requiere que el aporte y la extracción sean adyacentes, pero en este caso se trata de un dispositivo estático muy simple y tiene un riesgo muy bajo de contaminación de los flujos.

Los intercambiadores de placas están formados por un número de placas separadas una cierta distancia y dispuestas paralelamente. Cada placa está corrugada para asegurar la máxima superficie de contacto y así, maximizar la transferencia de calor. Las corrientes fría y caliente pasan a través de placas alternativas permitiendo la transferencia de calor de la corriente caliente a la corriente fría. El espacio entre cada placa puede aumentarse para prevenir fallos, aunque el corrugado de cada placa también tiene como misión dotar al equipo de una cierta resistencia mecánica ya que aumenta la inercia de cada placa.

En intercambiadores de placas donde las dos corrientes que intercambian son gas, se forma una estructura de placas paralelas unidas entre sí en cada sentido formando una serie de finos pasadizos. El calor se transfiere entre cada placa por conducción.

Existen dos tipos de configuraciones, flujo cruzado y contracorriente.

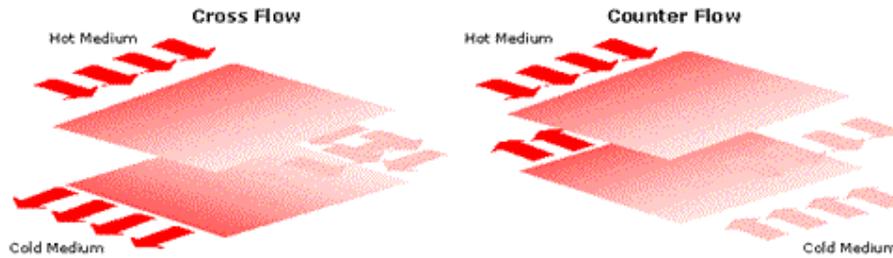


Fig. 2.84. Configuración de flujo cruzado y contracorriente.

- Flujo cruzado: En este caso, la geometría crea un cambio de la temperatura en el flujo de aire de entrada a través de lo ancho del conducto por lo que no se puede alcanzar la máxima diferencia de temperatura. Consecuentemente, considerando flujos con igual capacidad térmica, la efectividad de dichos intercambiadores ronda el 75%. La no uniformidad de la velocidad de los flujos a lo largo de las placas hace que normalmente el rendimiento caiga hasta valores de 40 a 60%.
- Contracorriente: En este caso los flujos que van a intercambiar pasan en dirección opuesta el uno del otro. Si su capacidad térmica es igual, la diferencia de temperatura de los flujos es la misma en cualquier punto del intercambiador. Por lo tanto, la temperatura de salida de un flujo es muy cercana a la temperatura de entrada del otro flujo, y por tanto el rendimiento es muy cercano al 100%.

Se puede conseguir una mejora de la transferencia añadiendo deflectores en las placas para aumentar así la turbulencia. El inconveniente que esto tiene es que se aumenta la pérdida de carga y la caída de presión es mayor.

En la siguiente figura se muestra un esquema de un intercambiador de flujo cruzado, donde se indica la entrada de las dos corrientes, y como el sistema de conductos se realiza. Una característica beneficiosa de los intercambiadores de placas es que no se produce contaminación entre las corrientes de aire y no tienen partes móviles.

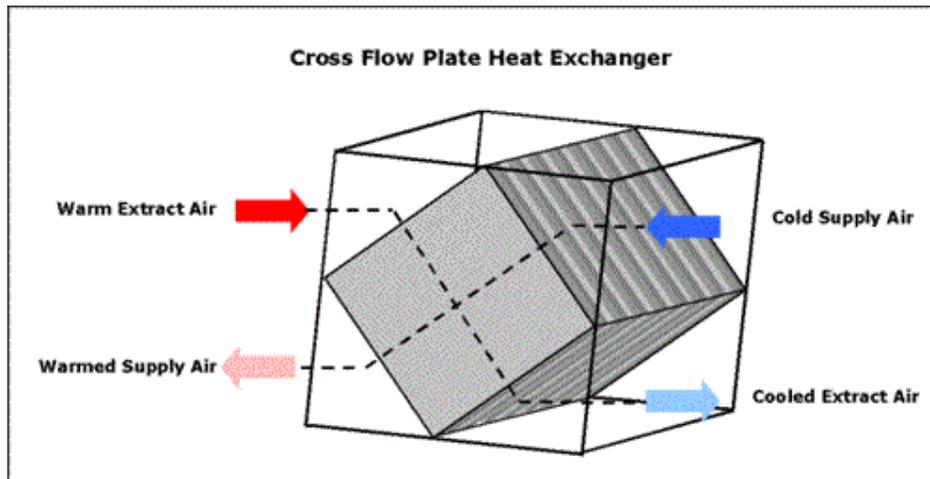


Fig. 2.85. Esquema de un intercambiador de placas.

c) Recuperador rotativo.

Estos son un tipo de intercambiadores donde se intercambia calor a través de una rueda rotativa. Los conductos de aporte y de extracción están adyacentes para acometer cada uno en una mitad de la rueda.

En la siguiente figura se muestra un intercambiador rotativo incorporado a un sistema de ventilación. La rueda consiste en una matriz de material con un área de contacto grande a través de las cuales pasan las corrientes. El material normalmente está formado de una red de aluminio, acero inoxidable o cerámica. La rueda recoge los dos conductos de aire y está en continua rotación, absorbiendo calor de la corriente a más alta temperatura y transfiriéndoselo a la corriente de más baja temperatura. La superficie de transferencia es grande y si las corrientes de aporte y de ventilación están equilibradas se pueden obtener rendimientos razonablemente altos.

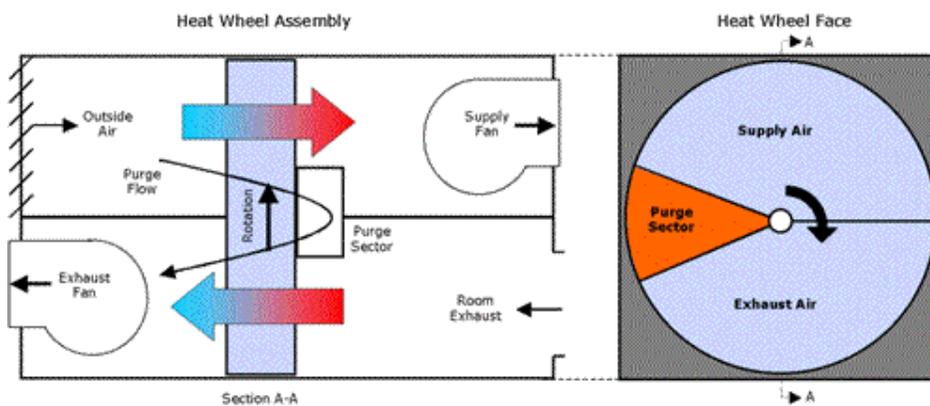


Fig. 2.86. Esquema de un intercambiador rotativo acoplado en una instalación de ventilación.

Una variación a este intercambiador es impregnar el rotor con cloruro de litio para que la matriz además, sea capaz de absorber el agua de las corrientes, y

por tanto extraer el calor latente del vapor de agua. Con este método se aumenta la eficiencia de estos intercambiadores hasta un 90%.

d) *Intercambiador de baterías.*

No requieren que las corrientes de aporte y de extracción sean adyacentes y no existe riesgo de que haya contaminación entre los flujos. Se pueden alcanzar rendimientos de 65%.

Este tipo de intercambiadores consiste en dos o más serpentines conectados cada uno por tuberías que contiene el fluido de transporte de energía como se muestra a continuación.

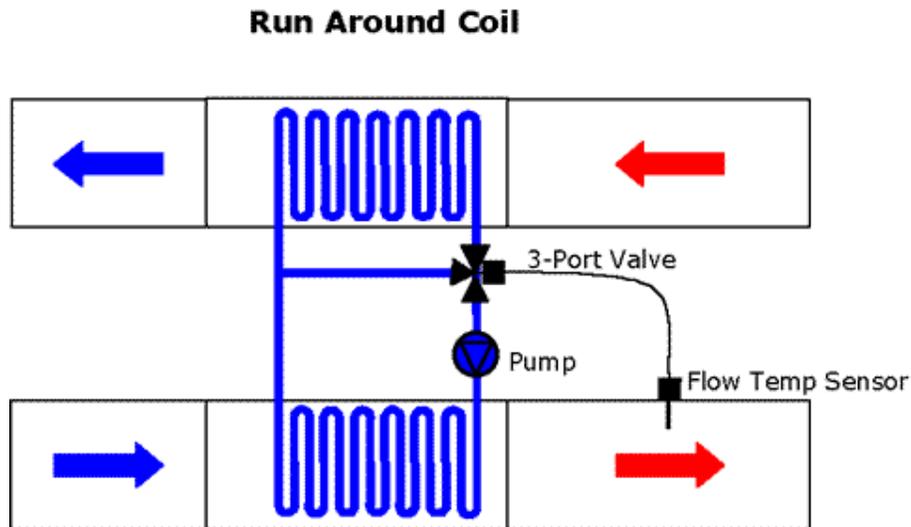


Fig. 2.87. Esquema de un intercambiador de batería.

El fluido de transporte es calentado por los gases calientes en un intercambiador, luego se bombea hasta otro intercambiador donde calienta la corriente fría. La recuperación de calor se controla mediante una válvula de tres entradas controlada por un sensor de temperatura.

Como las dos corrientes no tienen que ser adyacentes una de la otra, es posible recuperar calor de diversas fuentes y adjudicarlo a diversos destinatarios.

El rango de temperaturas y la eficiencia de este sistema es generalmente bajo, entre el 45 y el 65%, y además ha de tenerse en cuenta el gasto empleado en el bombeo. Este sistema requiere un gasto de mantenimiento mayor que otros sistemas.

e) *Intercambiador de tipo caloducto.*

Esta es una solución compacta que ofrece eficiencias superiores al 75% con un riesgo muy bajo de contaminación entre corrientes y además no requiere que las corrientes sean adyacentes.

En este tipo de intercambiadores se realiza la transferencia de calor indirectamente entre los dos fluidos. En el interior del conducto hay un fluido intermedio que es el encargado de realizar la transferencia de energía. La corriente de aire caliente evapora el fluido caloportador y éste por convección se desplaza hasta la zona donde incide la corriente fría. El fluido caloportador condensa, cediendo su calor latente a la corriente fría la cual se calienta y el fluido regresa por gravedad.

En la siguiente figura se esquematiza el funcionamiento de el intercambiador.

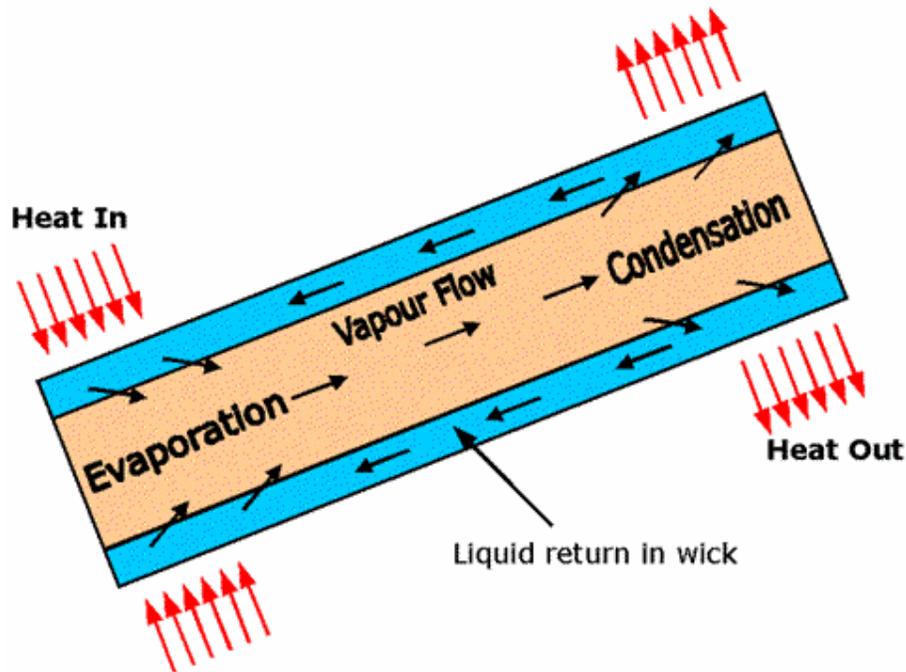


Fig. 2.88. Principio de funcionamiento del intercambiador.

Este tipo de intercambiadores tienen ciertas ventajas con respecto a otros como es el que no tenga partes móviles y que ofrezca una solución muy compacta para la recuperación de calor, aunque tiene una limitación que es el rango de presiones en el que puede funcionar. No da buenos resultados para flujos de baja presión.

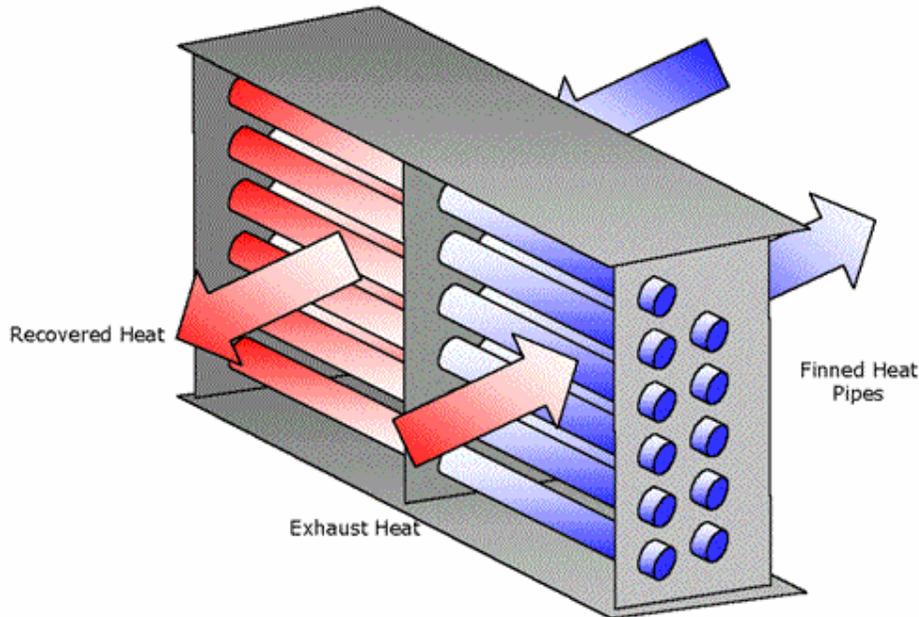


Fig. 2.89. Intercambiador caloducto.

A tener en cuenta.

- Más del 80% de la energía calorífica puede ser recuperada en el aire de aporte reduciendo la necesidad de un calentamiento adicional.
- Los sistemas de recuperación de calor pueden reducir significativamente los costes en los edificios.
- La recuperación de calor puede recuperar tanto el calor latente como el sensible del aire extraído.
- El acondicionado del aire puede ser suplementado mediante la recuperación de calor de los compresores o del proceso.
- Asegurarse de que las operaciones de verano permiten un by-pass para poder recuperar calor.
- Este aprovechamiento del calor es efectivamente gratuito y reduce los costes de operación si se usa para disminuir el gasto de fuel.
- Las corrientes de calor recuperado pueden ser contaminadas químicamente o por otras sustancias, de modo que queda totalmente prohibido su uso directo en el calentamiento de estancias.

2.4.4 Iluminación.

En la siguiente tabla se exponen una lista de Medidas de Ahorro Energético referido a la iluminación que muestra un estimado periodo de retorno, ahorro energético típico y el coste de inversión basado en recientes estudios.

MEDIDA	PERIODO DE RETORNO*	POT. AHORRO**	INVERSIÓN***
Reducir u nivel de iluminación excesivo (incluido en la iluminación de tareas)	Inmediato	2	Ninguna
Maximizar el uso de iluminación natural	Corto	1	Baja
Instalar interruptores manuales	Corto	3	Baja
Instalar controles automáticos (detectores de presencia y de luz solar)	Medio	4	Media
Usar luces fluorescentes de alta eficiencia (T8, HF, etc)	Largo	5	Media
Usar lámparas de descarga de alta densidad	Medio	6	Medio

*El periodo de retorno esta dado como Corto, Medio o Largo donde: Corto < 1 año, Medio de 1 a 3 años y Largo > 3 años.

**En el ahorro 1 representa la medida que ofrece mayor potencial de ahorro.

***La inversión está dispuesta en diferentes categorías que son: Baja < 3000€, Media entre 3000€ y 15000€ y Alta > 15000€.

Tabla 2.26 . Medidas de Ahorro Energético en la Iluminación.

2.4.4.1 Reducir u nivel de iluminación excesivo (incluido en la iluminación de tareas).

Descripción: Proveer de una iluminación adecuada en todas las tareas no solo reduce el estrés, fatiga y cansancio de la vista de los empleados, pero se deben mantener las condiciones de seguridad y salud para cada operación.

Los factores que afectan al nivel de iluminación necesaria depende de la dificultad de la tares, periodo de trabajo, y las consecuencias que un error puedan tener sobre la gente, la industria o el producto.

Tener un nivel de iluminación por encima del necesario redundo en un gasto innecesario de energía y un aumento de los gastos de mantenimiento. Se debe realizar una medición de los niveles de iluminación a cada altura y a cada plano para asegurar que se cuenta con los niveles correctos.

Se puede considerar como opciones la instalación de lámparas individuales para cada tarea o unas luminarias de menor potencia. Por medio de la utilización de luminarias individuales se consiguen fijar unas condiciones específicas en cada zona.

Cuando se requieren altos niveles de iluminación para una tarea concreta, el uso de una iluminación individual permite reducir la iluminación global, y consecuentemente reducir los costes de operación. Si se agrupan todas las tareas que tienen altos requerimientos de iluminación se consigue que en zonas menos estrictas se pueda disminuir el nivel. Adecuando la iluminación a cada necesidad también se consigue mejorar el ambiente de trabajo y así, mejorar la productividad.

En la siguiente tabla se muestran las recomendaciones de iluminación que ofrece CIBSE Lighting Code para la iluminación de interiores.

Tarea	Iluminación (Lux)
Aparcamientos	50
Pasillos	100
Muelles de carga	150
Procesos de enlatado	200
Panadería	300
Cámaras Frigoríficas	300
Oficinas	500
Bancos de trabajo	500
Matadero	750
Pintura	1000
Almacén de repuestos de máquinas	1000
Montaje de componentes eléctricos	1500

Tabla 27. Iluminación recomendada para cada tarea.

A tener en cuenta.

- En muchas ocasiones el nivel de iluminación es superior al necesario para el desarrollo de una tarea
- Proveer de niveles de iluminación mayores a los requeridos supone un gasto extra económico.
- La utilización de iluminación de más, supone mayores gastos de operación y de mantenimiento.
- Un nivel de iluminación mayor se traduce como una carga calorífica extra, la cual requiere una costosa extracción.
- En zonas donde los niveles de iluminación bajos estén permitidos, puede ajustarse el nivel de iluminación simplemente con desconectar luminarias alternas.
- Asegurarse de que los niveles de iluminación son apropiados al tipo y naturaleza de operación.

2.4.4.2 Maximizar el uso de iluminación natural.

Descripción: Se debe utilizar el uso de la luz solar siempre que sea posible. Se debe tener cuidado, no obstante, de no causar daños con reflejos, calentamiento deslumbramientos, etc.

Cuando sea posible utilizar la iluminación natural hay que facilitar la entrada de los rayos del sol limpiando las ventanas de suciedad, restos de pájaros, musgo, que merman el paso de la luz en más de un 30%.

También se deben retirar los muebles que impidan el paso de la luz u reubicarlos en zonas donde no molesten.

Se puede hacer un cálculo muy simple para determinar el factor de luz solar de una habitación. Un factor mayor del 5% generalmente ofrece una iluminación natural generosa (exceptuando, por supuesto, en un día nublado), mientras que un factor menor del 2% informa de que se deben encender las luces cuando los trabajadores entren en la fábrica.

Cálculo del FACTOR DE LUZ SOLAR.

$$DF = (T \times W \times \varphi \times M) / (A(1-R^2))\%$$

T = Transmisión de las ventanas (típicamente 0.8 para ventana simples y 0.7 para dobles).

W = Área neta de ventanas.

φ = Ángulo vertical del cielo visto desde el centro de las ventanas (típicamente 70°)

M = Factor de mantenimiento (referido al ensuciamiento, 0.9 en vertical y 0.5 en horizontal).

A = Área total de las superficies interiores.

R = Factor de reflexión de las paredes interiores (típicamente 0.4).

El acabado de las superficies interiores de un edificio juega un importante papel en la necesidad de una iluminación adicional. Las superficies altamente reflectantes se recomiendan para zonas de trabajo ya que gracias a esta alta reflexión requieren de menos iluminación natural.

Los techos juegan un papel menos importante en una pequeña habitación que en otra grande ya que este ocupa una buena parte del campo de visión.

El suelo, sin embargo, juega un importante papel en el aspecto visual de una habitación. En muchos casos la iluminación del techo se refleja en el suelo y si

este tiene baja reflexión, será necesaria una iluminación adicional del plano de trabajo.

Otras maneras de recoger la luz solar son las siguientes.

a) *Tragaluces.*

Los tragaluces permiten la penetración de la luz solar en zonas en donde las ventanas convencionales no están indicadas. Hay una serie de ventajas que ofrecen los tragaluces como pueden ser que hay menos obstrucción con los edificios de alrededor, generalmente se producen factores de luz solar muy uniformes y hay muchas posibilidades diferentes de tragaluces.

Del mismo modo, también tienen una serie de ventajas inherentes como son las altas pérdidas térmicas a través de las cristaleras, riesgo potencial de condensación y ganancia de calor en periodos calurosos.

Existen cuatro tipos principales de tragaluces:

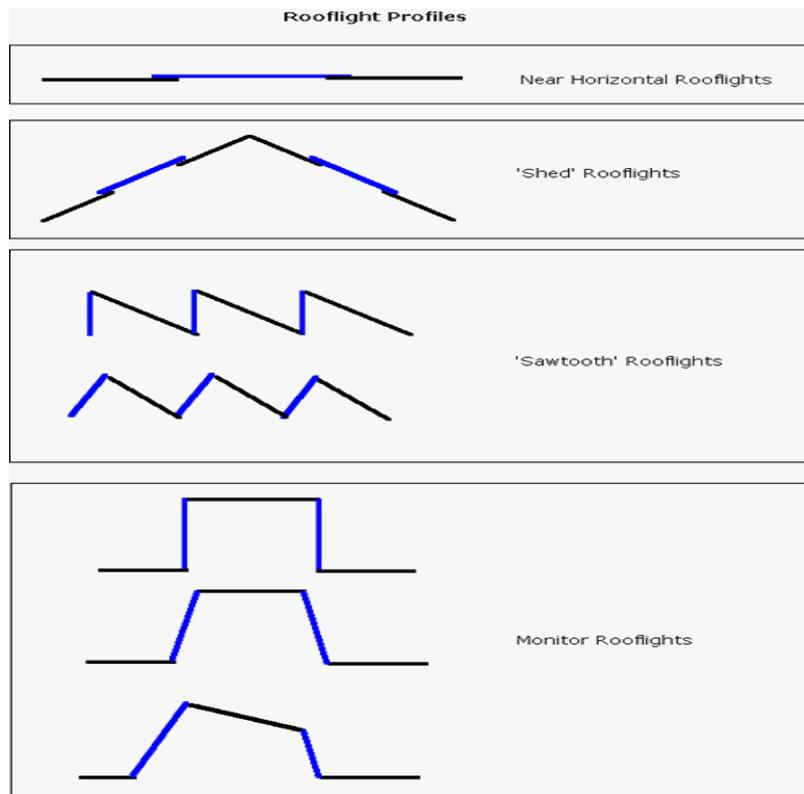


Fig. 2.90. Diferentes configuraciones de tragaluces.

b) Iluminación cenital.

La iluminación cenital tiene la misión de dirigir la luz que llega a la cubierta de un edificio hacia el lugar deseado. Para ello se dispone de un conducto recubierto internamente con un material reflectante de manera que permita dirigir la luz desde el punto de acceso en la cubierta hasta donde se desee. El diseño de este conducto asegura la máxima transferencia de luz incluso en días nublados.

La mayor diferencia con los tragaluces radica en la utilización de un material reflectante entre la lente de acceso y el difusor que puede reflejar luz con una eficiencia superior al 90%.

Los tragaluces tradicionales permiten el paso de la luz solar a través de una superficie transparente al interior del edificio. Esto quiere decir que un gran porcentaje de esta luz es absorbida por el camino y no llega al punto de aplicación. Los conductos de luz cenital minimizan cualquier pérdida durante la transferencia y distribuye la luz desde el nivel del techo, dando como resultado una distribución uniforme de la luz.

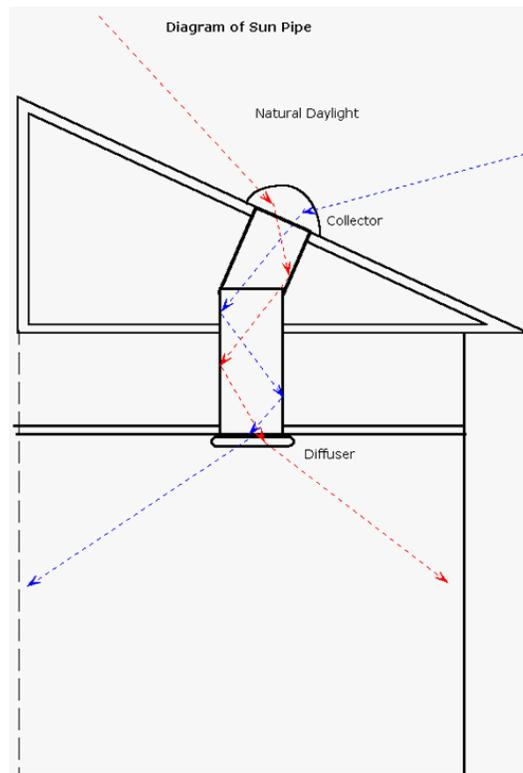


Fig.2.91. Ejemplo de instalación de luz cenital.

c) Pantallas reflectantes.

Este tipo de pantallas se colocan horizontalmente a la mitad de una ventana para dividirla en dos. Esta pantalla es un elemento que tiene una superficie superior altamente reflectante. Se posiciona a una altura de la ventana que permita que la reflexión de la luz que se produce en la pantalla entre al interior del edificio y también que la luz pase directamente a la habitación por la franja inferior de la ventana.

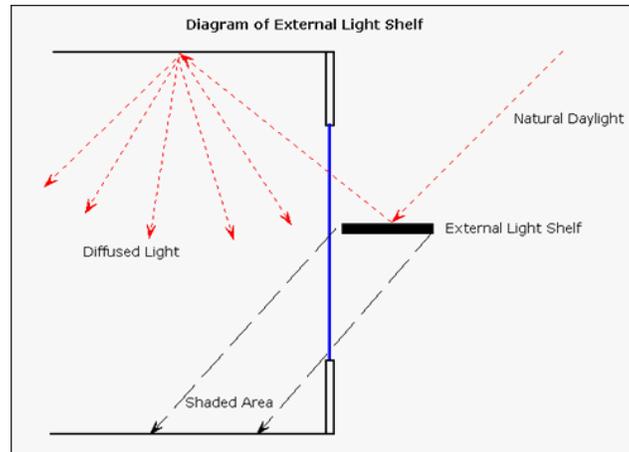


Fig. 2.91. Ejemplo de pantalla reflectante.

A tener en cuenta.

- Los ocupantes prefieren zonas de trabajo soleadas, tanto como sea posible.
- Un factor de luz solar exterior del 5% o superior supone una zona bien iluminada, mientras que si es del 2%, se requiere luz eléctrica continuamente.
- Tareas que requieran altos niveles de iluminación debes desplazarse cerca de fuentes de luz solar como ventanas.
- Proveer de un régimen periódico de limpieza de ventanas u otro punto de acceso de la luz solar.
- Abrir contrapuertas, cortinas, quitar muebles que dificulten el acceso de la luz solar.
- Problemas de resplandores y reflejos pueden ser evitados mediante persianas exteriores.
- La iluminación natural puede complementarse con lámparas exteriores que introduzcan más luz en el interior de la estancia.

- En zonas bajo tierra la iluminación natural puede forzarse mediante claraboyas o tragaluces.

2.4.4.3 Instalar interruptores manuales.

Descripción: puede ocurrir, por ejemplo, que debido a una reorganización, los interruptores quedan en zonas inaccesibles desde donde no pueden ser accionados. En tales casos, los interruptores deben ser desplazados a lugares desde donde el acceso sea fácil e indicar de alguna manera su ubicación.

En ocasiones en grandes zonas de una industria como plantas de producción o talleres, todas las luces están controladas por medio de un solo interruptor de manera que todas las lámparas estén encendidas o apagadas. También puede ocurrir que una larga cadena de lámparas sea controlada por un único interruptor. En estos casos es conveniente seccionar la iluminación e instalar interruptores que controlen la iluminación por zonas más pequeñas de forma manual o automática.

Esta sectorización permite disminuir el gasto de mantenimiento y de operación de las zonas que no se usen, y reducen la carga térmica global.

En zonas que tengan una ocupación intermitente es conveniente instalar interruptores de tarjeta de manera que cuando se vaya a ocupar una estancia se introduce una tarjeta que permite el encendido de las luminarias y que las desconecta en el momento en que dicha tarjeta es extraída.

A tener en cuenta.

- Interruptores en zonas de trabajo permiten a los usuarios definir un control manual de la iluminación.
- Identificar los interruptores y proveer planos que indiquen los interruptores de cada zona y a las luminarias que afecta cada una.
- Muchas luminarias bajo un mismo interruptor desperdicia mucha energía.
- Se pueden apagar luces innecesarias en periodos específicos.
- Investigar sobre el encendido de luces de aparcamiento y seguridad durante las horas de sol, dado que los interruptores manuales pueden ser accionados manualmente.
- Eliminar largas filas de luminarias porque estas suelen necesitar un control y gestión más preciso.
- Siempre es más barato apagar las luces que dejarlas encendidas.

- Los interruptores manuales requieren la aprobación y entrenamiento de la plantilla para obtener los máximos ahorros.
- Una política de “el último, que apague todo” previene el desperdicio de energía.
- Usar tarjetas que desactiven el funcionamiento de los interruptores manuales en zonas donde sea requerido.

2.4.4.4 Instalar controles automáticos (detectores de presencia y de luz solar).

Descripción: Existen diferentes tipos de controles que pueden ser instalados para un mejor control de la iluminación.

a) Interruptores de Tiempo.

En muchas condiciones controlar el sistema de iluminación mediante un temporizador permite estar seguro de que las luces estarán apagadas fuera del periodo de trabajo.

Es muy importante ajustar los interruptores para que el funcionamiento coincida con las horas de trabajo para conseguir un máximo ahorro y minimizar los costes. Otro tipo de interruptores más sofisticados son aquellos que se pueden integrar en el programa de control general de la industria permitiendo la coordinación con los sistemas de ventilación, calefacción, etc.

b) Interruptores de marcha atrás.

También se debe tener en cuenta la utilización de interruptores de cuenta atrás en zonas donde la ocupación sea intermitente, permitiendo así encender las luces manualmente, pero permitiendo que su apagado sea automático.

c) Controles de ocupación.

Los detectores de presencia como los CIR, ultrasónico y de microondas que detectan movimiento o periodo en un espacio permiten el encendido y apagado de luces cuando se detecta y se deja de detectar la ocupación de un espacio. En espacios pequeños, se suelen utilizar sensores del tipo PIR, mientras que en grandes espacios se suelen utilizar sensores de microondas.

Este tipo de sensores es muy apropiado para espacios que se ocupen de forma esporádica, como pueden ser los lavabos, pasillos, etc. El uso de detectores de presencia también es aplicable en zonas donde la iluminación general es baja, permitiendo el encendido de la iluminación centralizada.

Estos controles normalmente tienen un control de cuenta atrás incorporado (tarado en 15 minutos, generalmente) para evitar un continuo encendido y apagado de las luces, que reduce el tiempo de vida de las lámparas.

Se pueden usar dos estrategias de control:

- Sensores de ocupación total: El detector de presencia enciende las luces cuando un espacio es ocupado, y apagan las luces cuando ya no detecta ningún tipo de mantenimiento. Están indicados para áreas donde el control de las luces está fuera del alcance de los ocupantes.
- Detectores de ausencia: Estos sensores permiten a los ocupantes encender manualmente las luces y el control las apaga en un determinado periodo de tiempo o cuando no detecta ningún tipo de movimiento.

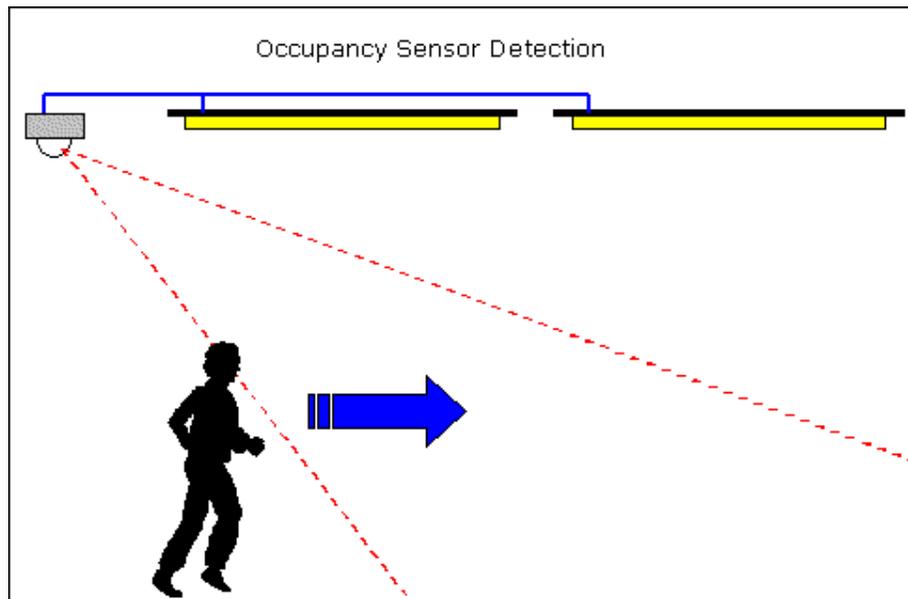


Fig. 2.92. Detectores de movimiento.

Las lámparas que requieren de un tiempo de calentamiento, como las lámparas de descarga, no están indicadas para este tipo de control.

d) Ajuste con la luz solar.

Este tipo de controles permiten ajustar la iluminación a las condiciones de luz solar existente. Si la intensidad de luz es ajustable, se puede mantener al nivel de iluminación en las zonas de trabajo si aparecen variaciones en las condiciones exteriores de luz.

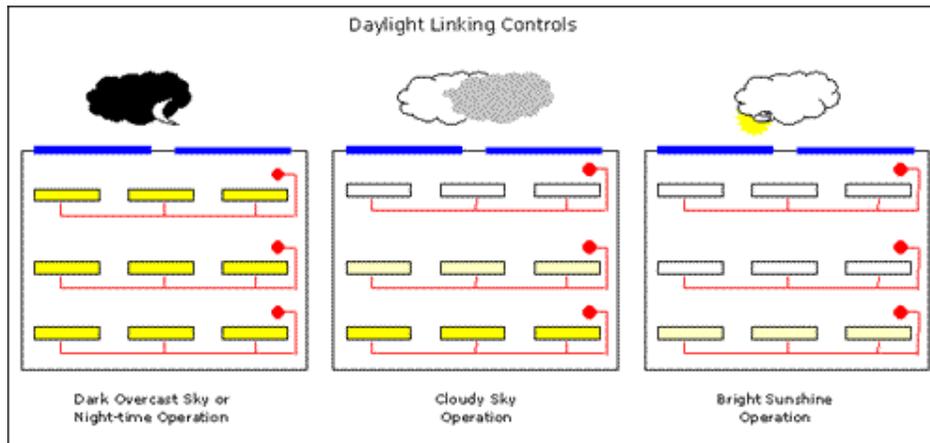


Fig. 2.93. Esquema de actuación de un control de ajuste con la luz solar.

En el esquema anterior se muestra como opera este tipo de controles para ajustar el nivel de iluminación a diferentes condiciones de luz exterior.

A tener en cuenta.

- Los sensores de presencia son muy útiles en habitaciones cuyo uso es intermitente, por ejemplo en los baños.
- Instalar temporizadores que apaguen las luces un cierto tiempo después de haber sido accionadas.
- Asegurarse de que los temporizadores son lo suficientemente sofisticados. Como mínimo que se pueda realizar un programa diferente cada día de la semana.
- Los detectores de luz solar reducen el nivel de alumbrado eléctrico cuando la luz del sol sea la adecuada.
- Los controles fotoeléctricos apagan y encienden luces según los ambientes de luminosidad definidos.
- La iluminación externa controlada con sensores fotoeléctricos suelen tener en cuenta que la iluminación no es requerida durante toda la noche, por lo que ha de incorporarse un temporizador.
- Los controles de iluminación pueden ser instalados sin al necesidad de un sistema de gestión del edificio.

2.4.4.5 Usar luces fluorescentes de alta eficiencia (T8, HF, etc).

Descripción: El uso de lámparas fluorescentes de alta eficiencia balastos electrónicos o electromagnéticos, brindan diversos beneficios en comparación con equipos T12 Slimline, los cuales en la actualidad tienen una gran demanda.

De entre las ventajas destacan:

- 1.- Las lámparas fluorescentes T8 tienen una eficacia arriba de los 80 lúmenes/watt nominal de lámpara, contra un máximo de 69 Lúmens/wat nominal de lámparas fluorescentes T12 tipo Slimline. Esto nos indica que tendremos más luz con menor consumo de energía.
- 2.- El índice de rendimiento de color (IRC) de las lámparas fluorescentes tipo T8 es casi similar a la luz natural y tiene la posibilidad de elegir la temperatura de color (°K) lo que las convierte en la mejor opción en el diseño de iluminación, permitiendo una óptima definición de objetos y la posibilidad de diseñar ambientes y efectos arquitectónicos en beneficio del desempeño de las actividades del lugar.
- 3.- Debido a su variedad de potencias, así como tamaños y formas compatibles, permiten al usuario satisfacer las necesidades de las más diversas aplicaciones.
- 4.- La vida útil de las lámparas fluorescentes tipo T8 es mayor en promedio dos veces que la vida de las lámparas fluorescentes T12 tipo Slimline. Además por su diámetro más reducido permite que ocupe menos espacio en su almacenamiento.
- 5.- Las lámparas fluorescentes tipo T8 pueden ser operadas por medio de balastos electrónicos y electromagnéticos de alta eficiencia los cuales permiten un importante ahorro de energía contra los balastos para lámparas fluorescentes T12 tipo Slimline.
- 6.- En el caso de balastos electromagnéticos para 2x32W T8 se puede ahorrar un 28% de la energía que demandaría un sistema 2x39W T12 con balastro electromagnético de baja energía. Y si se utiliza un balastro electrónico este ahorro alcanzaría un 40%.
- 7.- Otras ventajas de los balastos de alta eficiencia para lámparas T8 contra los equipos para lámparas Slimline son:
 - a) Que cuentan con un alto factor de potencia, >90.

b) La temperatura de operación del balastro es menor a uno de Slimline.

c) El ruido producido por estos equipos es menor a los 30 decibeles, por los que su operación es muy silenciosa.

d) La vida de estos es en el caso de los balastros electromagnéticos 3 veces mayor que los balastros para Slimline y en caso de usar balastros electrónicos, éste aumenta hasta más de 5 veces.

e) El diseño de los balastros de alta eficiencia para equipos T8 los hacen menos pesados y de menor tamaño que los de Slimline.

A tener en cuenta.

- Al sustituir los tubos T12 (de 38 mm) por los T8 (de 26mm) es posible usar un 8% menos de energía, y cuestan lo mismo.
- Luminarias fluorescentes de alta frecuencia pueden reducir los costes energéticos en un 25%.
- En luminarias de doble tubo, poner reflectantes y desconectar un tubo no supone una disminución del nivel de luz pero sí supone un ahorro.
- Reemplazar bombillas de tungsteno por bombillas fluorescentes ahorra un 75% de energía, la vida es ocho veces mayor y requieren de menor mantenimiento.
- No es verdadero que los tubos fluorescentes consumen más energía encendiéndolos y apagándolos que manteniéndolos encendidos.
- Balastros electrónicos de alta frecuencia permiten oscurecer el ajuste, cuando el control lo permita.
- Balastros de devanado de alambre operan a un 15%-20% mas energía que los balastros de bajas pérdidas.
- Sustituir antiguos reflectores prismáticos o difusores de ópalo por reflectores especulares.
- Como la eficiencia de la iluminación ha aumentado, las cargas térmicas, costes de mantenimiento y operación se ven reducidos.

2.4.4.6 Usar lámparas de descarga de alta densidad.

Descripción: Lámparas de descarga de alta intensidad (HID) emiten luz de alta intensidad dentro de un tubo de arco interno, contenido dentro de un bulbo

exterior. El gas metálico que contiene puede ser mercurio, sodio o una combinación de otros vapores metálicos.

El bulbo exterior podrá ser transparente o recubierto con fósforo. La clasificación de estas lámparas es: de mercurio, de haluros metálicos y de sodio a alta y baja presión.

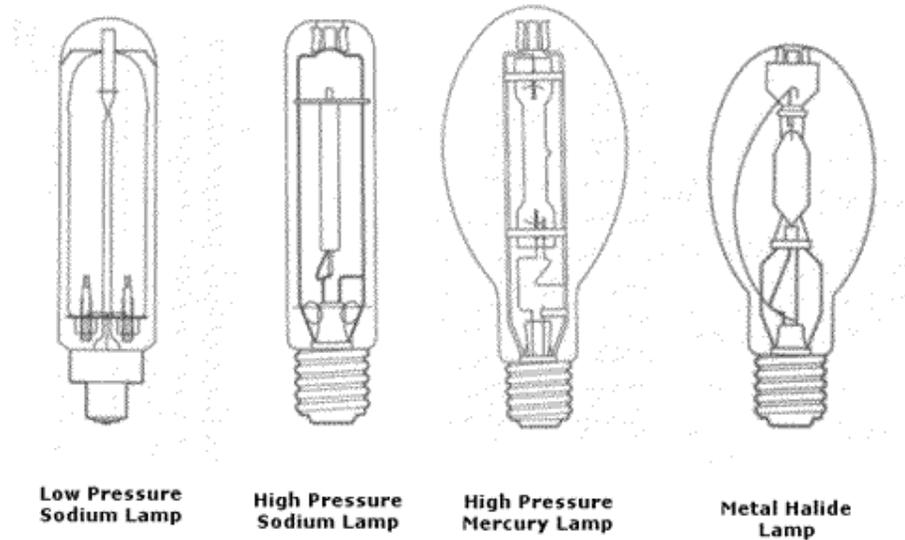


Fig. 2.94. Distintos tipos de lámparas de descarga de alta densidad.

a) Lámparas de mercurio.

El mercurio a alta presión se encuentra encerrado en un tubo de cuarzo, dentro de otro bulbo elíptico con un recubrimiento de fósforo. Fueron una de las primeras lámparas de descarga desarrolladas. La vida de las lámparas es de 6,000-12,000 horas, con una eficiencia de 40-60 lumens/watio.

b) Lámparas de sodio de baja presión.

Las lámparas consisten en un tubo en forma de U que contiene la descarga con otro recubrimiento térmico. Ofrecen la eficiencia energética mayor (100-190 lumen/watio). La vida de las lámparas es de 11,000-28,000 horas.

c) Lámparas de sodio de alta presión.

Las lámparas tienen un tubo cerámico con un difusor externo. La eficiencia está entre 80-130 Lumen/watio. La vida típica es de 11,000-28,000 horas.

d) Lámparas de haluro metálico.

Son similares a las lámparas de mercurio solo que en este caso el metal se encuentra en forma de haluro. La vida típica de este tipo de lámparas es de 6,000 – 13,000 horas.

A tener en cuenta.

- Las lámparas de descarga son más eficientes energéticamente que la mayoría de los sistemas fluorescentes.
- Las lámparas de descarga tienen un tiempo de servicio mayor, por lo que los costes de mantenimiento y reposición son menores.
- Las lámparas de descarga de alta eficacia suelen ser usados cuando los requerimientos de color son menores.
- En muchas instalaciones, las lámparas de descarga so utilizadas en almacenes, zonas de techos altos, etc.

2.4.5 Calefacción.

En la siguiente tabla se exponen una lista de Medidas de Ahorro Energético referido a la calefacción que muestra un estimado periodo de retorno, ahorro energético típico y el coste de inversión basado en recientes estudios.

MEDIDA	PERIODO DE RETORNO*	POT. AHORRO**	INVERSIÓN***
Revisar los ajustes de control	Inmediato	1	ninguna
Renovar los controles	Corto	2	Baja
Seleccionar el fuel apropiado	Medio	3	Media
Ventiladores destratificadores	Medio	6	Media
Utilizar calor recuperado para la calefacción (p.ej: de compresores)	Medio	7	Media
Calefacción radiante frente a convectiva	Largo	4	Alta
Aislamiento del edificio	Largo	5	Alta

*El periodo de retorno esta dado como Corto, Medio o Largo donde: Corto < 1 año, Medio de 1 a 3 años y Largo > 3 años.

**En el ahorro 1 representa la medida que ofrece mayor potencial de ahorro.

***La inversión está dispuesta en diferentes categorías que son: Baja < 3000€, Media entre 3000€ y 15000€ y Alta > 15000€.

Tabla 2.28. Medidas de Ahorro Energético en la Calefacción.

2.4.5.1 Revisar los ajustes de control.

Descripción: el ajuste de los sensores de aire y agua afectan a la eficiencia global de la calefacción. Cuando el equipo de calefacción funciona mas tiempo del necesario debido a que los sensores no estén bien calibrados o que los

ajustes no sean correctos, se disminuye la vida del equipo y se aumentan los costes de operación.

Los termostatos que funcionan con una placa bimetálica permiten que haya variaciones de temperatura de 3 °C del punto fijado. Esto puede producir una sensación de discomfort, gastando energía y dinero. Los termostatos electrónicos modernos permiten un control mucho más ajustado al punto fijado (los desvíos son menores de 0.5°C).

Los interruptores con temporizador permiten conectar y desconectar al aire acondicionado a intervalos de tiempo predeterminados. Se pueden obtener temporizadores de muy diversas versiones como diarias (24 h), semanales/fin de semana (5/2 días), de 7 días o de 365.

La temporización de los equipos debe coincidir con los tiempos de ocupación de las estancias o con los periodos de proceso.

La resolución y flexibilidad de los modernos interruptores con temporizador permiten una gran precisión y un ahorro mayor.

En vacaciones, cuando los edificios no se encuentran ocupados generalmente, no se debería permitir que el aire acondicionado funcionase a temperaturas normales. Cuando hay áreas que están parcialmente ocupadas, puede que no sea necesario ni siquiera conectar el equipo de aire acondicionado.

Cuando los controles están ajustados a la función "vacaciones", se debe asegurar de que esté activada la protección ante formación de escarcha, y que alguien es responsable de poner el equipo en la función de vacaciones.

El funcionamiento de válvulas y compuertas motorizadas debe ser revisado para asegurar el completo funcionamiento de las mismas. Cuando estos dispositivos se encuentran cerrados, debería haber un mínimo flujo de aire o agua, por el contrario, cuando se encuentran totalmente abiertas el flujo debe ser máximo.

Una regular revisión de los motores y anclajes de las válvulas y compuertas motorizadas minimizarán los escapes y asegurarán una eficiencia máxima.

A tener en cuenta.

- Una temperatura excesiva en los edificios conlleva un gasto extra de energía y dinero.
- Los ajustes de los controles deben ser revisados mensualmente.
- El funcionamiento de válvulas motorizadas debe ser revisado cada seis meses.

- Todos los sensores de temperatura deben de ser calibrados anualmente.
- La máxima temperatura a la que se debe setear el equipo es de 19°C.
- Usar temperaturas menores en zonas donde sea apropiado, por ejemplo en talleres (16°C) y almacenes (10-12°C).
- Una reducción de un grado en una habitación supone un ahorro del 8% de la energía utilizada para calefactarla.
- Asegurarse de que los temporizadores funcionan correctamente para ajustarse a los patrones de trabajo.
- Asegurarse de que fuera de horas de trabajo el control termostático está correctamente ajustado para proporcionar una protección frente a la condensación, sin incurrir en excesivos gastos.

2.4.5.2 Renovar los controles.

Descripción: Se puede optar por una amplia gama de controles.

a) Termostatos electrónicos.

Los termostatos que funcionan con una placa bimetálica permiten desviaciones de la temperatura con respecto al punto establecido de hasta 3 °C. Esto puede causar situaciones de discomfort, y un gasto energético y económico. Los controles termostáticos electrónicos modernos tienen como sensor un termistor que tiene un funcionamiento mucho más preciso (desviaciones de 0.5 °C), y ofrecen, por tanto, se tiene un control mucho mejor y se evitan situaciones de discomfort de los ocupantes.

La correcta localización del termostato es un parámetro muy importante para tener un control efectivo de la temperatura del espacio a tratar. Si se colocan en sitios especialmente fríos se incurrirá en un sobrecalentamiento del espacio y por lo tanto se gastará energía de más en calefacción. Si por el contrario se localiza en un lugar caluroso o que reciba la luz solar ocurrirá justo lo contrario, la calefacción no será suficiente y habrá que recurrir a un control manual de la calefacción. Por tanto los termostatos deben de estar localizados en zonas representativas de las condiciones del espacio a acondicionar.

Cuando se considere la instalación de termostatos externos, las mismas reglas básicas deben ser aplicadas, teniendo cuidado de que no reciben los rallos del sol directamente, que no se encuentran en el norte del edificio o que no reciben el flujo de ninguna extracción u otra corriente.

b) Controles de Tiempo.

Los temporizadores electrónicos modernos permiten múltiples cambios al día y además también tienen la opción de on/off hasta el próximo patrón de funcionamiento.

c) temporizadores de cuenta atrás.

Se debe considerar el uso de temporizadores de cuenta atrás cuando la ocupación de las estancias es aleatoria o en periodos en los cuales la calefacción es anormal. Éstos interruptores permiten al usuario encender la calefacción automáticamente y después, se desconecta automáticamente tras un tiempo prefijado con anterioridad.

d) Controles de optimizadores..

Durante periodos como la primavera o el otoño el tiempo necesario para llevar un espacio a la temperatura deseada es mucho menor que en invierno. Un control de arranque óptimo varía automáticamente el tiempo de arranque del sistema de calefacción de acuerdo con las condiciones climáticas exteriores y con el calor residual del edificio para ajustar el tiempo de ocupación con los ajustes de temperatura y tiempo. Este tipo de controles pueden ofrecer un ahorro por encima del 10% sobre otro tipo de interruptores.

Un optimizador utiliza la temperatura externa y la interna para calcular el tiempo de precalentamiento necesario para alcanzar la temperatura fijada en el control. La calefacción, por tanto, actúa antes en periodos muy fríos y más tarde en periodos que no lo son tanto. Estos controles son capaces de “aprender” a controlar el edificio gracias a unos algoritmos de comparación que tienen integrados.

En la siguiente figura se muestra los instantes de actuación de un control optimizador y de un control de tiempo en condiciones de temperatura suaves.

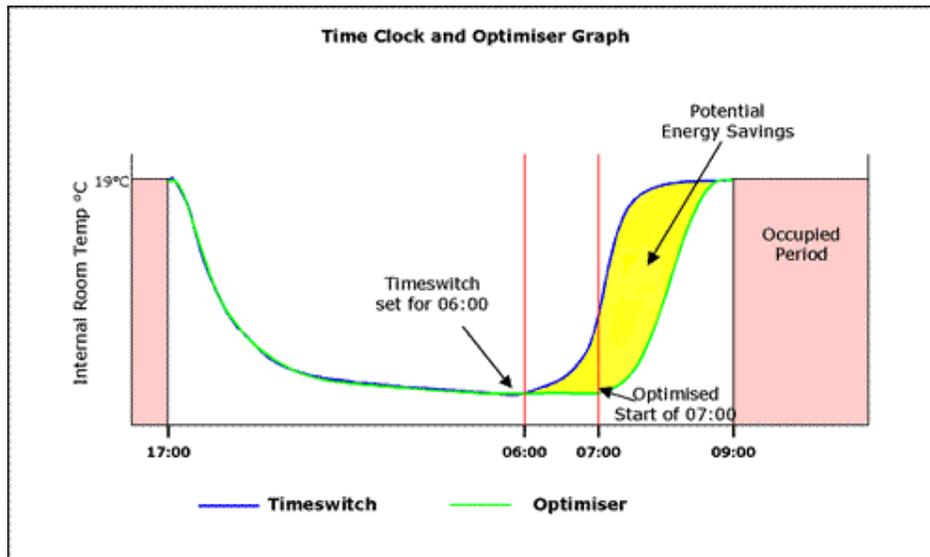


Fig. 2.95. Ahorro obtenido al utilizar un control optimizador.

Es evidente que bajo el control del control de tiempo las calderas están en funcionamiento de 06:00 a 17:00 independientemente de las condiciones internas o externas. En contraste, el optimizador retrasa el encendido de las calderas hasta las 07:00 ya que es suficiente para obtener una temperatura en el momento de la ocupación de 19 °C. La diferencia entre los dos gráficos indica el potencial de ahorro de energía entre los dos tipos de control.

Algunos optimizadores también ofrecen la posibilidad de acomodar el apagado de la calefacción a las necesidades de ocupación, parando la calefacción un tiempo antes de que la estancia se desocupe. Se permite que la temperatura de la habitación vaya bajando hasta un valor prefijado hasta que todo el personal se haya marchado.

e) Válvulas termostáticas de radiadores (TRV).

Este tipo de válvulas, indicadas en zonas sujetas a sobrecalentamiento debidas a causas fortuitas, controlan el calor emitido. Estas válvulas previenen que se sobrecalienten zonas individuales de trabajo con el ahorro que eso conlleva. Para prevenir que las TRV sean manipuladas tras su puesta en funcionamiento, debe sellarse la instalación.

f) Control por zonas.

En edificios que tienen múltiples patrones de ocupación de las diferentes zonas, donde la orientación del edificio tiene efecto en los requerimientos de calefacción, el uso de controles de temperatura independientes por zonas pueden minimizar el sobrecalentamiento y mejora las condiciones de confort.

En el caso de un sistema de calefacción central cada zona debe llevar una válvula motorizada que permite ajustar la demanda de calor con los diferentes patrones de ocupación.

g) Compensación del tiempo exterior.

Los compensadores de tiempo ajustan la temperatura interior en relación a las condiciones de temperatura externas. Durante periodos de temperaturas suaves este sistema permite que la calefacción trabaje a menor temperatura y por tanto se ahorre dinero.

En la siguiente figura se muestra los componentes principales de estos sistemas.

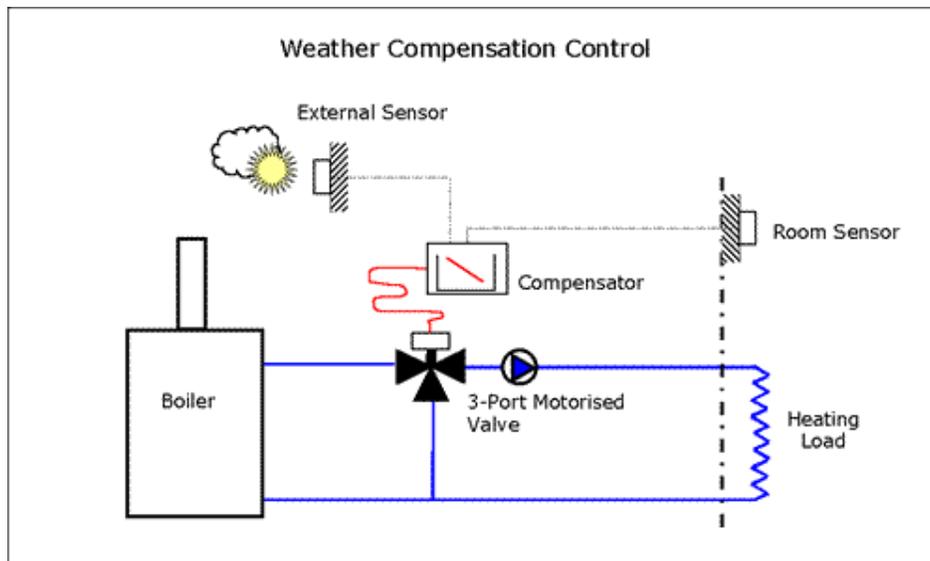


Fig. 2.96. Esquema de un sistema compensador.

El sistema tiene una válvula motorizada de tres puertos que permite bombear agua a temperatura variable por el sistema. La máxima temperatura del agua viene determinada por las especificaciones de la caldera, y la mínima por la temperatura del agua ambiente.

En el siguiente ejemplo, una relación lineal donde la temperatura de calefacción es directamente proporcional al cambio de la temperatura exterior, la temperatura calculada para unas condiciones exteriores de 7 °C es de 70 °C.

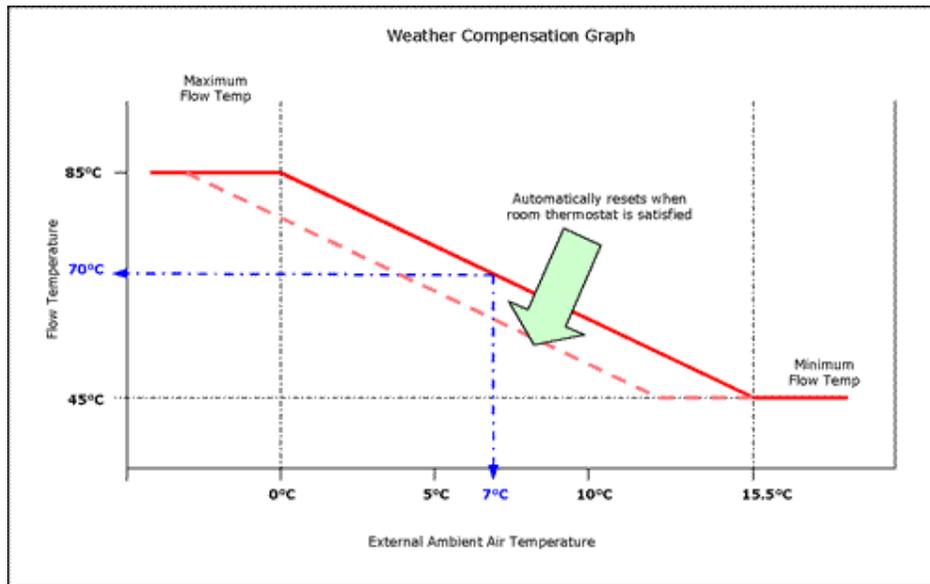


Fig. 2.97. Ejemplo de funcionamiento de un controlador por compensación.

Otros compensadores utilizan unas relaciones no lineales que proporcionan un ajuste mucho más preciso. Esto es particularmente útil en edificios con grandes fachadas acristaladas donde en días nublados se pueden crear situaciones de disconfort debido a la caída de las temperaturas.

h) Controles secuenciales.

Los secuenciadores limitan el funcionamiento de las calderas al mínimo necesario para cumplir los requerimientos de calefacción.

Los secuenciadores permiten que una caldera entre en funcionamiento cuando la demanda es suficiente. Un buen control de secuencia permite hacer ciclos de funcionamientos en las calderas, proporcionando un funcionamiento estable de una manera eficiente.

Como se muestran en las figuras, tres calderas pueden proporcionar una capacidad de calefacción de 0%, 33%, 66%, 100%. El agua de retorno proporciona información acerca de cual es la demanda del sistema, y el número de calderas que se necesitan para cumplir con la demanda. Las calderas que no están funcionando deben estar preparadas con válvulas y compuertas de tiro convenientemente aisladas para evitar pérdidas caloríficas.

Para realizar un uso equitativo de las calderas, la caldera "principal" debe ser cambiada periódicamente realizando paradas y permitiendo así llevar a cabo las tareas de mantenimiento.

Cuando exista una caldera de condensación, esta debe ser la principal maximizar la eficiencia.

Dependiendo de la configuración del sistema de calefacción, puede ser necesario precalentar una caldera antes de entrar en carga y conectarse a la red de calefacción.

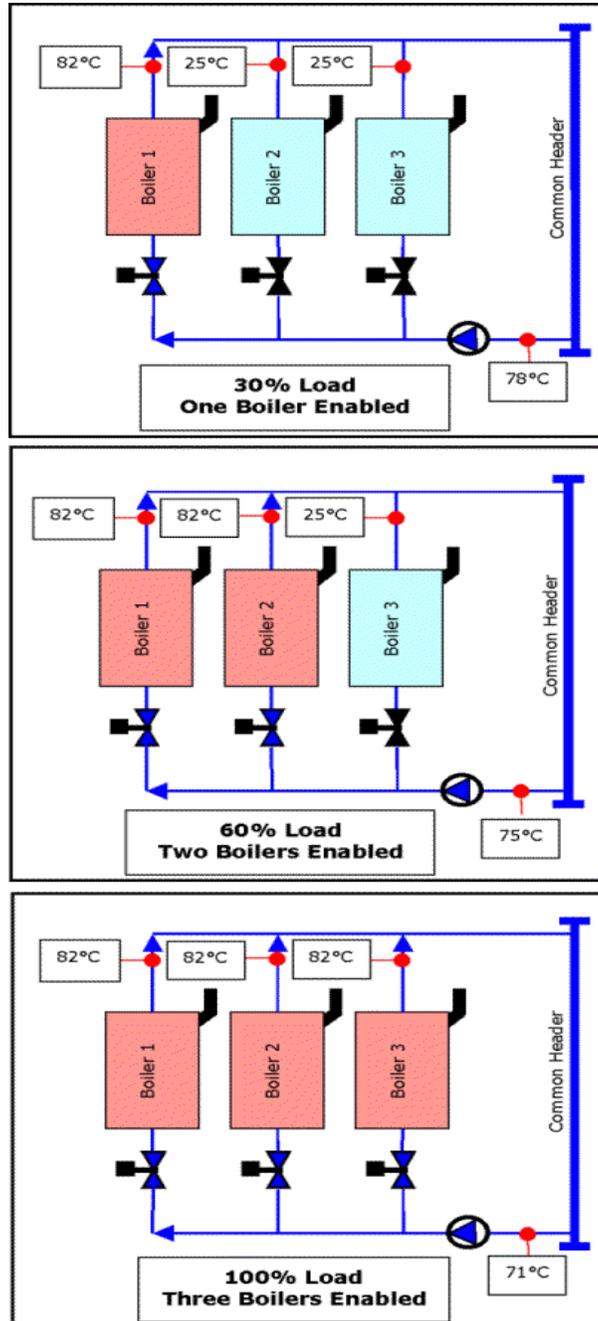


Fig. 2.98. Secuenciación de las calderas.

A tener en cuenta.

- Los modernos controles electrónicos proporcionan un control más fiable y reducen el consumo energético.
- Existen reguladores que tienen en cuenta las condiciones climáticas de manera que encienden y apagan el sistema en función de dichas condiciones.
- Usar termostatos de bulbo para controlar los sistemas de calefacción radiante.
- Deben utilizarse termostatos economizadores de día para que durante el día no se produzca un sobrecalentamiento, con la pérdida energética que esto conlleva.
- Un control secuencial es elemental para asegurar que la capacidad de la caldera coincide con la demanda.
- Asegurarse de que los temporizadores son lo suficientemente sofisticados como para establecer un programa diferente para cada día de la semana.
- Optimizadores pueden reducir los costes de calefacción en torno a un 10% (comparado con los temporizadores convencionales), dado que tienen en cuenta las condiciones atmosféricas u arrancan un poco más tarde y se para un poco antes que los termostatos convencionales
- Usar controles por zonas para separar aquellas que tengan diferentes requerimientos de calefacción.
- Debido a sus elevados costes de fuel, el control efectivo sobre los calefactores eléctricos es particularmente importante.

2.4.5.3 Seleccionar el combustible apropiado.

Descripción: El tipo de combustible con el que funcione una caldera es muy importante dado que el poder calorífico de cada combustible es diferente y por tanto la cantidad del mismo necesaria para obtener el mismo calor es diferente. Como el coste también es diferente es necesario realizar un estudio para determinar que tipo de combustible es más rentable para la instalación.

- 1.- Combustibles sólidos. Importan el carbono fijo, la humedad, las cenizas y las materias volátiles.
- 2.- Combustibles líquidos: fuelóleo (↑S), y gasóleo C. La distribución es en camiones cisterna y el almacenamiento en un depósito central, alcanzando la caldera por una red de tuberías.

- 3.- Combustibles gaseosos: butano, propano y gas natural. La composición es variable y el suministro puede ser por medio de canalizaciones de alta, media y baja presión, con depósitos fijos o con móviles (bombonas); necesitan vaporización.

Los combustibles líquidos y gaseosos logran mejor mezcla con el aire y ensucian menos que los sólidos.

En la siguiente tabla se muestran los diferentes combustibles con sus respectivas características.

Combustible	Unidad	PCS (kJ/kg)	PROPANO	BUTANO	GN	GAS-OIL C	GAS-OIL C
			Kg	Kg	Nm ³	Litro	Kg
PROPANO	kg	13,837	1	1,008	1,17	1,295	1,126
BUTANO	kg	13,72	0,99	1	1,16	1,28	1,14
GN	Nm ³	11,8	0,85	0,86	1	1,1	0,98
GAS-OIL C	Litro	10,68	0,77	0,778	0,905	1	0,887
GAS-OIL C	kg	12,03	0,869	0,876	1,01	1,26	1

Tabla 2.29. Tabla comparativa de los diferentes tipos de combustibles.

A tener en cuenta.

- La electricidad es cuatro o cinco veces más cara que los combustibles fósiles, y es usada por tanto en mucha menor medida como calefacción.
- Algunos combustibles, como los fuel oil o el carbón, pueden tener bajos costes, pero tienen desventajas con respecto a la combustión y el almacenamiento. Además los costes de mantenimiento también son algo más elevados.
- El gas natural es mucho más limpio en su combustión, permitiendo la posibilidad de quemarlos directamente, haciendo que la combustión sea más eficiente.
- El uso de ciertas tecnologías de alta eficiencia para la calefacción (como la calefacción por radiación, o las calderas de condensación), suelen funcionar solamente con combustibles gaseosos.
- Los grandes consumidores de gas pueden beneficiarse de contratos interrumpibles de suministro, en ese caso un respaldo de fuel, es necesario.

2.4.5.4 Ventiladores destratificadores.

Descripción: El problema de edificios de una cierta altura es la estratificación a causa del efecto convección que impulsa el aire caliente hacia arriba al ser más ligero. Así si medimos la temperatura interior en un local con calefacción, veremos que la temperatura se incrementa alrededor de un 7 % por cada metro de altura, ver el ejemplo de la ilustración.

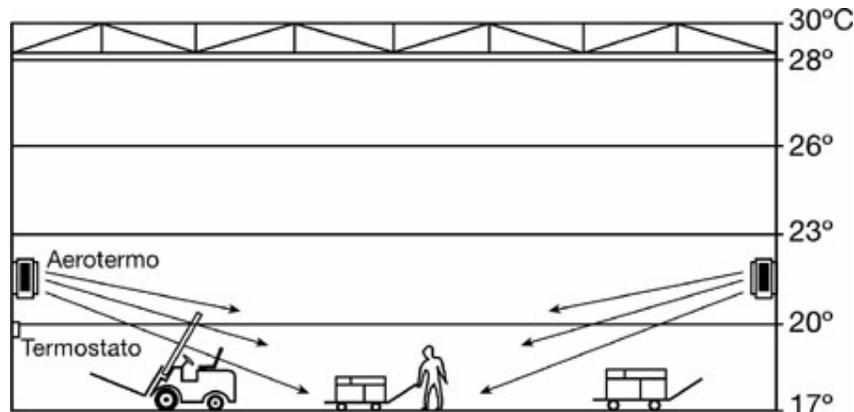


Fig. 2.99. Ejemplo de la estratificación de la temperatura.

En un edificio las pérdidas de calor a través de los cerramientos son proporcionales a la diferencia de temperaturas entre el interior y el exterior del edificio, es decir, cuanto más alta sea esta diferencia mayor será el gasto energético de calefacción. Suponiendo que la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior sea uniforme, en el techo, paredes, ventanas, etc.

si no se emplean dispositivos para evitar la estratificación térmica del aire de estos locales nos encontraremos con una disminución de la eficiencia energética debida a dos circunstancias:

- 1.- Por la necesidad de tener que calentar, hasta las condiciones de confort o bienestar, un volumen de aire muy superior al de la ZONA OCUPADA.
- 2.- Por el aumento de las pérdidas caloríficas a través del techo debido a la mayor diferencia entre la temperatura del aire en la parte superior de la nave y la temperatura exterior.

Para evitar esta estratificación y despilfarro de energía, necesitaremos realizar una instalación mediante la colocación de ventiladores en el techo que impulsen el aire caliente hacia las zonas más bajas y uniformicen la temperatura del local.

Los ventiladores idóneos para instalar el aire desde arriba hacia abajo son del tipo de techo, con diámetros de 900 a 1500 mm. Son aparatos de caudal, con

pocos álabes, de tres a cinco máximo, y que giran a velocidades por debajo de las 500 rev/min.

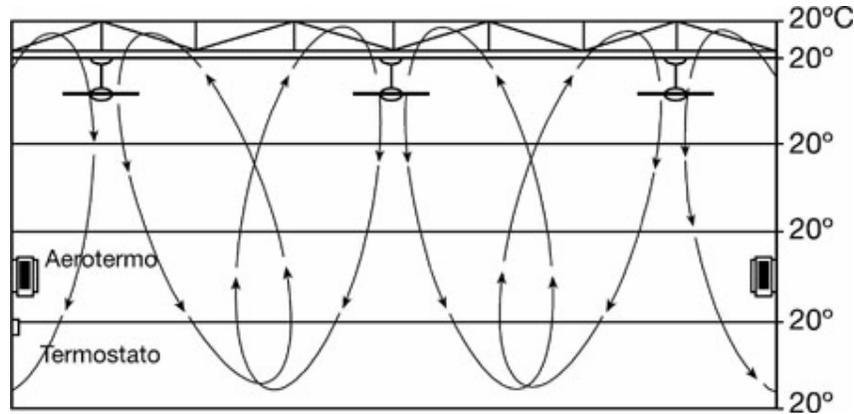


Fig. 2.100. Rectificación de la estratificación de la temperatura.

A tener en cuenta.

- En edificios altos el aire más caliente sube a las zonas altas del edificio formándose capas de diferentes temperaturas. Dicha estratificación supone mayores pérdidas energéticas.
- Dependiendo del tipo de calefacción usada, el gradiente de temperatura puede ser mayor de 2,5°C por metro.
- Os mayores problemas de estratificación suceden cuando se usan bombas de calor como sistema de calefacción.
- Con los ventiladores de techo se consigue mezclar el aire caliente de las capas superiores con el más frío de las zonas de trabajo, consiguiéndose una temperatura media apropiada.
- El uso de ventiladores de techo, además reduce la degradación térmica de lámparas, acabados de techo y ventanas.

2.4.5.5 Utilizar calor recuperado para la calefacción (p.ej: de compresores).

Descripción: Una gran parte de la energía empleada por el compresor se transforma en calor, esto hace que su recuperación pueda suponer un ahorro de energía importante. La recuperación del calor generado durante la compresión debe ser tenida en cuenta en el diseño de nuevas instalaciones, siendo un elemento importante a discutir con el proveedor y una característica fundamental para la decisión en una comparación de ofertas.

Durante el proceso de compresión aumenta la temperatura del aire, por lo que será necesario su enfriamiento para mantener la temperatura de trabajo del

compresor dentro de los límites de diseño, mejorar el rendimiento o deshumedecer el aire comprimido. Esta refrigeración se realiza después de cada etapa de compresión mediante refrigeradores intermedios o posteriores.

De forma genérica puede afirmarse que aproximadamente un 90 % de la energía consumida por el compresor se transforma en energía recuperable, mientras que un 10 % permanece en el aire comprimido o pasa a la sala de compresores irremediablemente. Aun así, no toda la energía puede recuperarse, pero con distintas disposiciones pueden obtenerse altos rendimientos, de forma que la inversión inicial pueden compensarse con los ahorros de energía obtenidos.

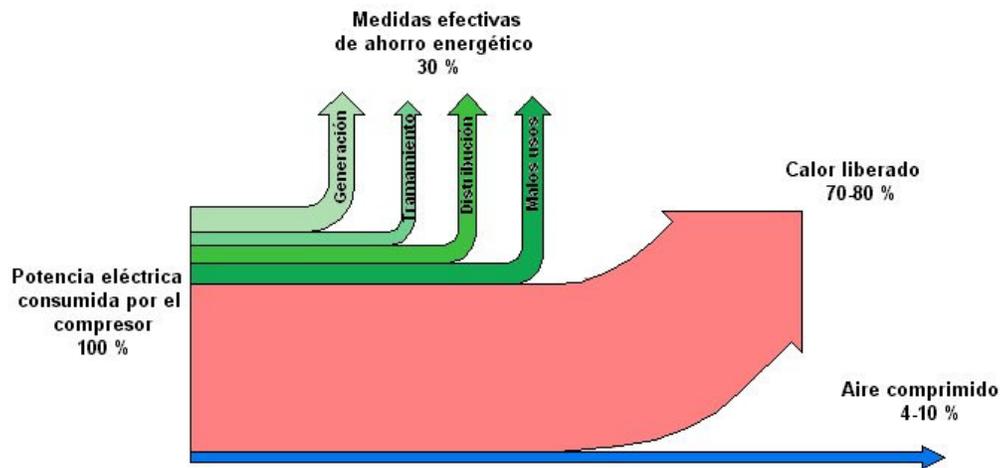


Fig. 1.101. Diagrama de Sankey de un sistema de aire comprimido.

En los compresores refrigerados por agua puede recuperarse hasta el 90 % de entrada, en forma de agua caliente a temperatura de 70-95° C. Este agua puede emplearse para duchas, calefacción, alimentación a calderas, etc...

En los compresores refrigerados por aire, el aire caliente que sale del refrigerador intermedio y posterior, con temperaturas de 10-20° C superior a la ambiente, puede emplearse para calefacción, regeneración del desecante en los secadores, secado, alimentación de quemadores...

Existen multitud de aplicaciones para realizar la recuperación del calor. Identificar qué alternativa y que mecanismo de recuperación son los más adecuados dependerá principalmente de las diferentes demandas de calor que existan en la planta, del tamaño del compresor y del tipo de refrigeración que emplee.

A continuación se describen las aplicaciones más comunes del calor recuperado en función del tipo de compresor instalado y de su tamaño:

2. Compresores alternativos:

- Refrigerados por aire:
 - a. Unidades de pequeña capacidad: En estos equipos el aire caliente se extrae de la planta de compresión a través de ventanucos practicados en las paredes para utilizarlo en la calefacción del recinto.
 - b. Unidades de gran capacidad con refrigeradores integrados: El equipo de refrigeración puede conectarse a un sistema de conducción para su utilización en calefacción, secado...
 - c. Unidades de gran capacidad con refrigeradores separados: En estos equipos será más difícil recuperar el calor emitido. Sin embargo, conectando a un sistema de distribución el refrigerador intermedio o el refrigerador posterior puede recuperarse hasta un 50 % del calor disponible.
- Refrigerados por agua:
 - 2) Normalmente el refrigerador intermedio, posterior y los encamisados de los cilindros están refrigerados por un circuito exterior conectado a un intercambiador de calor que puede emplearse para calentar agua para uso sanitario, para alimentar calderas, para calefacción u otras demandas de proceso.
- 3) Compresores de tornillo lubricados (de inyección en aceite):
 - Refrigerados por aire:
 - d. Unidades de pequeña capacidad: En estas unidades es normalmente sencillo recuperar el aire caliente a través de un toldo o marquesina o directamente desde la habitación donde se encuentre el compresor.
 - e. Unidades de gran capacidad: Normalmente están cubiertas por un toldo que permite recuperar el aire caliente, para su posterior transporte mediante un sistema de conducción hasta donde se emplee para calefacción.
 - f. Adicionalmente podrá producirse agua caliente incorporando un intercambiador de calor agua-aceite como refrigerador del lubricante.
 - Refrigerados por agua:
 - a. Los circuitos de los refrigeradores intermedios y posteriores, están refrigerados a su vez mediante un circuito externo de agua. Para

ello se emplea un intercambiador de calor que puede generar agua caliente para uso sanitario o para alimentar una caldera o para satisfacer otras demandas de proceso.

4) Compresores rotativos de tornillo no lubricados:

▪ Refrigerados por aire:

Normalmente se encuentran encerrados en marquesinas acústicas, de forma que el calor evacuado en los refrigeradores intermedios, de aceite y posterior puede ser recuperado mediante un sistema de conducción conectado a la salida del aire de refrigeración del equipo.

▪ Refrigerados por agua:

d. Puede emplearse un intercambiador de calor para el circuito de refrigeración en el que se genere agua caliente sanitaria o para alimentar calderas o para satisfacer la demanda de otros procesos.

e. Algunos modelos especiales disponen de refrigeradores intermedios y posteriores de doble paso capaces de producir agua a 95° C.

f. Algunos modelos vienen equipados con un secador de adsorción integral que emplea el calor liberado para regenerar el desecante.

5) Compresores centrífugos:

a. La mayoría de estos equipos están refrigerados por agua y presentan dos, tres o cuatro etapas de compresión. Para refrigerar el propio agua de refrigeración se emplea un intercambiador que a su vez produce agua caliente para cualquiera de los usos ya mencionados.

c. El rendimiento y control de estas unidades debe ser muy estrictos para que la temperatura del agua de refrigeración se mantenga próxima a su valor óptimo de funcionamiento. Será necesario consultar al fabricante antes de introducir medidas de recuperación de energía en estos equipos.

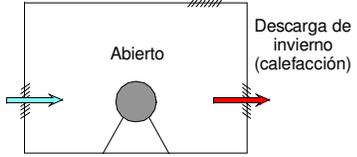
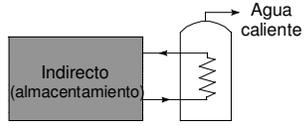
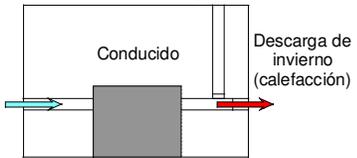
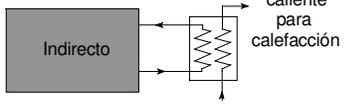
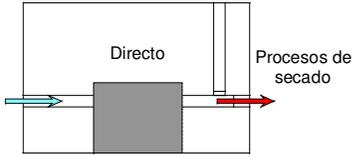
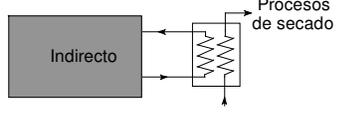
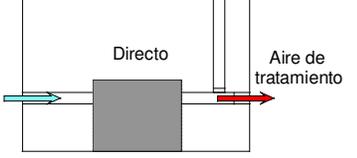
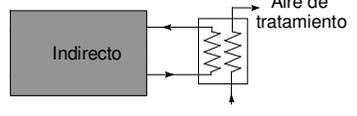
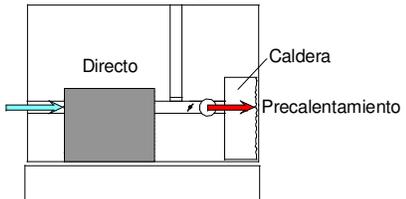
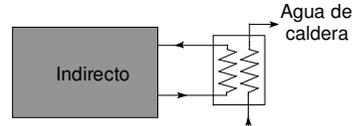
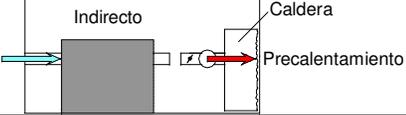
		Medio de refrigeración	
		<p>Aire</p> <p>Normalmente se emplea en compresores alternativos, de tornillo o de paletas de pequeña capacidad (refrigerados por aire)</p>	<p>Agua</p> <p>Normalmente se emplea en compresores centrífugos, alternativos y de tornillo de gran capacidad (Refrigerados por agua o por aire que posteriormente es alimentado a un intercambiador)</p>
Calefacción y agua para servicios sanitarios	<p>Calefacción</p> <p>Descarga de verano</p> 	<p>Agua caliente</p> 	
	<p>Descarga de verano</p> 	<p>Calefacción</p> 	
Procesos	<p>Procesos de secado</p> <p>Descarga</p> 	<p>Calentamiento de procesos</p> 	
	<p>Secado de aire comprimido</p> <p>Descarga</p> 	<p>Secado de aire comprimido</p> 	
Pre calentamiento en calderas	<p>Pre calentamiento del aire de combustión</p> <p>Descarga</p> 	<p>Pre calentamiento del agua de caldera</p> 	
	<p>Indirecto</p> <p>Caldera</p> 		

Fig. 2.102. Mecanismos de recuperación del calor liberado por los compresores.

En los circuitos de agua caliente se instalan válvulas reguladas termostáticamente para evitar la fuerte dependencia de la temperatura del agua de refrigeración con las fluctuaciones de carga del compresor. Si el agua de salida va a ser almacenada en un recipiente para su utilización directa en baños, estufas, etc..., solo se requiere un recipiente común; si el agua una vez enfriada va a ser recirculada al compresor, se recomienda la instalación de un intercambiador de calor que caliente el agua de aplicación industrial o sanitaria; en cualquier caso debe preverse la posibilidad de aplicación directa del agua caliente del compresor antes o después de pasar por el intercambiador de calor.

A tener en cuenta.

- La calefacción de la industria puede ser suplementada con el calor recuperado de compresores o de algún otro proceso.
- Esta energía es “gratuita” y puede reducir los costes de calefacción si sustituye el uso de combustibles.
- Es especialmente económico el uso de recuperación de calor cuando la fuente y el destinatario están lo más cerca posible.
- Las corrientes de aire recuperado pueden ser contaminadas químicamente, o de cualquier otra forma, de manera que pueden quedar inservibles para su uso como calefacción.
- Si esto ocurre, los intercambiadores deben utilizarse para producir calor indirectamente.
- El calor producido por una CHP podría ser utilizado para calentamiento de espacios.

2.4.5.6 Calefacción radiante frente a convectiva.

Descripción: La calefacción del edificio puede ser llevada a cabo de dos maneras, mediante radiadores o mediante calefacción por convección.

- 1.- Radiadores y tubos aleteados. Los radiadores tienen el cometido de poner en comunicación el circuito de agua caliente con los ambientes que deben ser caldeados, es decir, emiten calor al ambiente aumentando su temperatura. El cuerpo emisor de calor resulta ser un intercambiador de calor entre el fluido caloportador primario, el agua, y el secundario, el aire del ambiente. El agua y el aire pueden circular por entre o sobre la superficie de intercambio térmico por medios naturales o forzados, aunque en la mayoría de las unidades terminales tienen circulación forzada de agua y natural de aire.

Los radiadores transmiten el calor mediante convección y radiación. El calor es por una parte radiado por la superficie exterior del radiador y por otra el aire caliente circula por toda la habitación (convección). El calor total, por lo tanto, es suma de transmisión por radiación y convección.

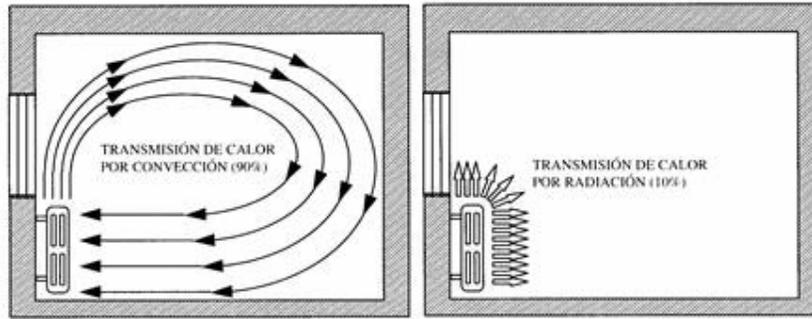


Fig. 2.103. Transmisión de calor en un radiador.

2.- Ventiloinectores. Se denomina así a un tipo de unidad terminal constituido por una batería de tubos de cobre y aletas de aluminio por cuyo interior circula el fluido caloportador, mientras que por el lado exterior lo hace aire impulsado por un ventilador. Los dos tipos fundamentales de ventiloinectores son:

a) Fancoils: Estos equipos terminales son básicamente de acondicionamiento de aire y no de calefacción. Un fancoil está constituido por la batería, un ventilador centrífugo, generalmente de tres velocidades y un filtro, alojados en una carcasa dotada de rejillas de impulsión.

Cuando se utiliza como sistema de calefacción, el agua de alimentación está a baja o media temperatura, por lo que es un sistema apto para integrarse con equipos de energía solar o bomba de calor.

Generalmente se encuentra en dos posiciones, vertical y en disposición horizontal, apto para ser colocado en un falso techo, lo que le hace casi insustituible en instalaciones hoteleras. En caso de disposición vertical, puede funcionar a ventilador parado, con lo que se convierte prácticamente en un convector, o con distintas velocidades de giro del ventilador, lo que permite graduar la potencia térmica, generalmente además se le dota de válvulas reguladoras de caudal, pudiendo en ocasiones conseguirse un control fino de la temperatura de los locales merced a las dos posibilidades de regulación que presenta.

b) Aerotermos: También conocidos bajo el nombre de unitermos, son aparatos contruidos con una batería aleteada, generalmente de cobre o acero y un ventilador helicoidal que puede estar colocado antes o después de la batería; son aparatos muy compactos, que emiten gran cantidad de calor por unidad de volumen, presentando el grave inconveniente de ser normalmente muy ruidosos debido al tipo de ventilador de que están dotados.

Su campo de utilización es el de calefacción industrial, debido a su alto nivel sonoro, pudiendo emplearse tanto en instalaciones de agua a media o alta temperatura como en las de vapor, existiendo también en el mercado nacional con baterías de calentamiento eléctricas, que los hacen idóneos para calentar locales aislados, situados en zonas sin redes de distribución de fluidos caloportadores.

A tener en cuenta.

- La calefacción de tipo convectiva es especialmente apropiada para edificios bien aislados, no muy altos y que requieren una distribución de temperaturas uniforme.
- Sin embargo, es menos apropiada para edificios altos (6m o más), dado que se produce con más facilidad la estratificación del aire, con el aumento de las pérdidas que esto suscita.
- La calefacción por radiación ofrece un calentamiento rápido particularmente en edificios grandes.
- La calefacción por radiación produce unas condiciones de confort con temperaturas mucho inferiores a las necesarias con sistemas convectivos y de ahí que sean más eficientes para espacios grandes como recibidores y entradas, edificios con un pobre aislamiento o zonas con corrientes de aire (debido frecuentemente a la constante apertura de grandes puertas).
- La calefacción por radiación es mucho más direccional y focalizable. Es por tanto muy adecuada para realizar una calefacción puntual.
- Pueden aparecer problemas como “el síndrome de la cabeza caliente” si los radiadores se instalan a muy baja altura, sobre todo para trabajadores que estén quietos en una ubicación fija.
- Los termostatos de bulbo son los más apropiados para controlar los radiadores.
- La calefacción por radiación tiene más dificultades en zonas peligrosas.

2.4.5.7 Aislamiento del edificio.

Descripción: Las pérdidas caloríficas en un edificio pueden venir por dos caminos diferentes:

- Conducción a través de las paredes del edificio (paredes, techo suelo, etc).
- Infiltración de corrientes frías del exterior.

Estos dos mecanismos pueden reducirse mediante un aislamiento sellado respectivamente.

1) *Reducción de las pérdidas por conducción.*

Las mejoras en las calidades térmicas de un edificio reducen las pérdidas de calor y, por tanto, reducen los costes de operación. En muchos casos se requieren importantes reformas que no tienen periodos de retorno especialmente cortos.

En áreas donde las pérdidas sean ciertamente elevadas debe evaluarse la posibilidad de mejorar ciertos elementos como techos corrugados, que pueden aliviar problemas asociados como son las entradas de aire, ganancia calorífica por luz solar etc.

Las áreas que deben ser consideradas son muros con cámara de aire, techos y suelos.

a) *Muros con cámara de aire.*

Si el edificio tiene cámaras de aire, puede ser posible rellenar de un material aislante dicha cavidad. Para evaluar esta opción, un técnico debe realizar un estudio de viabilidad de dicha posibilidad.

b) *Techos.*

El techo puede ser la fuente de las mayores pérdidas caloríficas del edificio. En el caso de que el techo sea una simple capa de material corrugado, este puede ser como 15 veces un techo moderno bien aislado.

Hay muchos tratamientos que se pueden llevar a cabo, como poner aislamiento en los techos desnudos, o esparcir espuma aislante tanto en la capa interna como en la externa del techo.

Normalmente, las cubiertas antiguas tienen un aislamiento pobre, siendo estos la primera opción de mejora. Las interrupciones y costes pueden no ser atractivos mero la implementación de mejoras en periodos de mantenimiento de las cubiertas pueden paliar estos inconvenientes.

Hay circunstancias donde se pueden mantener bajos niveles de aislamiento. Donde se puedan llevar a cabo soluciones simples, deben realizarse.

c) Suelos.

Las pérdidas térmicas a través del suelo pueden suponer el 10-15% de las pérdidas caloríficas de un edificio. Normalmente el aislamiento del suelo suele resultar caro y suele provocar paradas de producción por lo que se recomienda tomar medidas cuando se realicen reformas en la industria.

2) Reducción de las pérdidas por infiltración.

Se puede ahorrar más de un tercio de los costes de calefacción mediante la reducción de las pérdidas por infiltración. Debe asegurarse que todas las ventanas y puertas se encuentren cerradas durante periodos de ocupación normal. Es importante que la plantilla esté atenta a esto, cerrando cada puerta y ventana que se encuentre abierta.

El sellado permanente de ventanas, puertas, chimeneas, etc, que no se utilicen, es una buena manera de reducir la infiltración de corrientes de aire frío. Se deben identificar las zonas que van a ser selladas para tener informada a la plantilla.

Deben instalarse tiradores en todas las puertas exteriores para prevenir que se queden abiertas. Es importante elegir el tipo de cierre según la utilidad que tenga cada puerta.

En zonas como muelles de carga, garajes y talleres, deben colocarse un controlador automático para prevenir el funcionamiento de la calefacción cuando las puertas se encuentren abiertas.

Debe realizarse un mantenimiento regular de ventanas, puertas, techos para reparar roturas, cierres que no funcionen correctamente etc.

A tener en cuenta.

- Es importante que los edificios se encuentren correctamente aislados.
- Todos los elementos del edificio pueden mejorarse, térmicamente hablando, con un aislamiento adicional, incluyéndose suelo, techo, puertas de acceso, etc.
- Mediante el aislamiento del edificio se pueden reducir las pérdidas en un 90%.
- Hay muchas técnicas de aislamiento, apropiadas para cada tipo de edificio.

- Ventanas de doble vidrio pueden reducir las pérdidas de calor entorno a un 50%, siendo particularmente importante en edificios altos.
- La infiltración incontrolada de corrientes de aire frío suponen una carga térmica adicional que hay que vencer.
- Los muelles de carga son una importante cuestión que puede ser solucionada con la instalación de un sistema de cierre de doble puerta hermético.
- Las particiones internas son una medida efectiva para reducir las exigencias térmicas que tienen los espacios grandes.
- El ahorro energético produce no sólo el ahorro en sí, si no que también se consigue un mas confort en el entorno de trabajo, con lo que el rendimiento de los trabajadores aumenta.

2.5 Instalación de enfriamiento de agua.

2.5.1 Proceso de Refrigeración.

En la siguiente tabla se exponen una lista de Medidas de Ahorro Energético referido al proceso de enfriamiento que muestra un estimado periodo de retorno, ahorro energético típico y el coste de inversión basado en recientes estudios.

MEDIDA	PERIODO DE RETORNO*	POT. AHORRO**	INVERSIÓN***
Seleccionar correctamente la temperatura de enfriamiento y el aumento de temperatura admisible	Inmediato	2	Ninguna
Control de los puntos de uso(tiempo y temperatura)	Corto	3	Baja
Dimensionar correctamente las bombas	Corto	5	Baja
Establecer un controlador termostático de los ventiladores de las torres de refrigeración.	Corto	10	Baja
Control del sumidero de la torre de refrigeración y de cables calefactores para traceado de tuberías	Corto	11	Baja
Tratar el agua	Corto	12	Baja
Correcta elección del sistema de refrigeración	Medio	1	Alta
Capacidad de control de las bombas (secuencia, VSD,etc).	Medio	4	Media
Diseño de tuberías.	Medio	6	Media
Especificaciones de la torre y ubicación.	Medio	8	Media
Aplicar lubricantes antifricción en bombas.	Largo	8	Media
Recuperación de calor e integración en el proceso.	Medio	15	Baja

*El periodo de retorno esta dado como Corto, Medio o Largo donde: Corto < 1 año, Medio de 1 a 3 años y Largo > 3 años.

**En el ahorro 1 representa la medida que ofrece mayor potencial de ahorro.

***La inversión está dispuesta en diferentes categorías que son: Baja < 3000€, Media entre 3000€ y 15000€ y Alta > 15000€.

Tabla 2.30. Medidas de Ahorro Energético en el proceso de Refrigeración.

2.5.1.1 Seleccionar correctamente la temperatura de enfriamiento y el aumento de temperatura admisible.

Descripción: La correcta elección de la temperatura del agua de refrigeración está influida por una serie de factores tales como:

- Temperatura requerida por el proceso final.

- El funcionamiento del intercambiador de calor para la producción de agua fría.
- El coste de suministrar agua a menor temperatura.
- El coste de bombeo asociado a la circulación del agua de refrigeración.

Deben tenerse en cuenta todos estos factores para llegar a una solución de compromiso que minimice los costes.

Temperatura final del proceso.

Lo que finalmente determina la temperatura del agua de refrigeración es la temperatura final del producto o proceso. Si se permite que esta temperatura sea lo más alta posible, se minimiza la cantidad de refrigeración que se requiere. Debe revisarse cada etapa del proceso para determinar la máxima temperatura admisible.

En algunas circunstancias la temperatura final es crítica u requiere una solución muy precisa y controlada, mientras que en otras circunstancias esto no es preciso.

Máximo aumento de la temperatura admisible.

Se define este aumento de temperatura como la diferencia entre la temperatura final del agua de refrigeración y la temperatura de aporte. Típicamente una diferencia de temperatura de 10-20 °C representa una solución económica para la mayoría de los sistemas de refrigeración.

- Grandes diferencias de temperatura (correspondiente a una temperatura del agua de refrigeración baja), requieren una refrigeración adicional o capacidad de la torre de refrigeración.
- Pequeñas diferencias de temperatura (correspondiente a una temperatura del agua de refrigeración alta), requieren grandes intercambiadores de calor y bombas que supone un aumento del consumo energético.

Es común que muchos sistemas de refrigeración trabajan con diferencias de temperatura mucho más grandes que la estrictamente necesaria, resultando por tanto una operación excesiva de la planta de refrigeración.

A tener en cuenta.

- Para cada aplicación del agua fría hay una combinación de temperatura de aporte e incremento de temperatura que optimiza el proceso.

- La instalación óptima viene definida por un compromiso entre los costes de operación y los costes de la instalación de enfriado.
- Frecuentemente, una temperatura de aporte de agua de 10 a 20°C menor que la temperatura requerida por el proceso es una razonable medida.
- Un incremento de temperatura menor de 5°C indica un caudal de agua excesivo.
- Considerar el uso de diferentes instalaciones de enfriamiento de agua cuando procesos requieran agua a diferentes temperaturas.

2.5.1.2 Control de los puntos de uso (tiempo y temperatura).

Descripción: A continuación se describe los diferentes tipos de control.

a) Controles de tiempo.

Los controles de tiempo pueden regular los servicios de refrigeración para ajustarse a los tiempos de operación, o tiempos de ocupación para diferentes zonas del sistema centralizado.

Los modernos controles electrónicos pueden acomodarse a diferentes patrones diarios de trabajo con una resolución mayor a un minuto.

b) Controles termostáticos.

El uso de válvulas autogobernadas termostáticamente previene el flujo de refrigeración cuando un proceso no requiera de estas prestaciones. Se pueden usar sensores remotos para controlar las válvulas en las situaciones como la expuesta anteriormente.

Los termostatos y sensores pueden también ser usados para controlar válvulas de corte electromecánicas que previenen el flujo de agua de refrigeración cuando no se requiere. Los termostatos que funcionen con una placa bimetalica pueden admitir variaciones de la temperatura de hasta 3 °C del punto fijado. Esto conduce a un mal control y a un gasto energético y económico innecesario. Los termostatos modernos que disponen de un termistor como sensor son mucho más precisos y tienen una desviación menor de 0.5 °C, por lo tanto ofrecen un mayor control.

A tener en cuenta.

- Llevar agua fría donde no es requerida es un gasto innecesario en bombeo y potencia de refrigeración.

- Del mismo modo, se desperdicia energía si los procesos o equipos reciben el agua más fría de lo necesario.
- Es muy importante proveer a cada punto de consumo con un control termostático y de tiempo.
- En sistemas de refrigeración centralizados, es necesario un control adicional que regule la producción en concordancia con las caídas de demanda local que se puedan producir.

2.5.1.3 Dimensionar correctamente las bombas.

Descripción: En muchas ocasiones, la incertidumbre asociada al proceso de estimación de la carga futura que tendrá el motor a lo largo de su vida útil, ha conducido a la práctica de seleccionar un motor de mayor potencia (sobredimensionamiento) del realmente necesario. Entre las ventajas de esta práctica hay que citar una menor temperatura de funcionamiento y la posibilidad de atender un cierto nivel de crecimiento de la demanda del motor. Pero también hay inconvenientes de entre los que destacan:

- Mayor coste de adquisición del motor.
- Mayor coste del equipamiento eléctrico de maniobra, protección y control.
- Mayor coste de instalación.
- Menor rendimiento.
- Menor factor de potencia.

En la siguiente figura se muestra la variación del rendimiento y el factor de potencia de un motor con la carga. La elección de un motor sobredimensionado para una aplicación dada hace que éste funcione con cargas parciales (fracción de la potencia nominal).

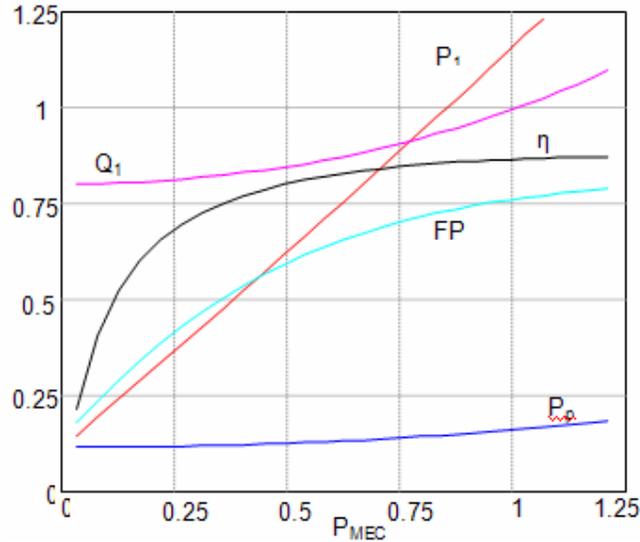


Fig. 2.104. Variación de las características de funcionamiento en función de la carga.

Como puede verse, el funcionamiento con cargas parciales se produce con rendimiento y factor de potencia inferiores a los valores correspondientes entre el 0.75 y la plena carga.

El peor rendimiento produce un mayor coste de explotación del motor (hay que pagar más por más pérdidas) y el peor factor de potencia obliga a poner una batería de compensación de la potencia reactiva de mayor capacidad, más costosa, o pagar la penalización por consumo de energía reactiva, lo que encarece los costes de adquisición e instalación.

A tener en cuenta.

- Las bombas sobredimensionadas (y sus motores) no trabajan al máximo de su eficiencia y pueden necesitar ser reguladas para obtener los flujos necesarios.
- Dimensionar correctamente nuevas bombas de la instalación supone ahorrar energía.
- Las bombas sobredimensionadas pueden ser modificadas instalándole un rotor más pequeño o reduciendo el existente.

2.5.1.4 Establecer un controlador termostático de los ventiladores de las torres de refrigeración.

Descripción: Existen muchos tipos de torres de refrigeración, de entre ellos, algunos enfrían el agua con una corriente de aire forzada por medio de unos ventiladores. El grado de enfriamiento del agua viene determinado, principalmente por el caudal de aire y la superficie de contacto. Es por esta

razón que un controlador termostático sería capaz de controlar el caudal de aire que han de suministrar los ventiladores en cada momento según la demanda de la instalación, incurriendo por tanto en un ahorro de energía.

Los diferentes controles que se pueden instalar son los siguientes:

a) Controles termostáticos.

Las torres de refrigeración están generalmente diseñadas para la máxima temperatura de bulbo húmedo e verano, que puede ser mucho mayor que la del resto del año. En torres de evaporación forzada, los ventiladores pueden ser apagados o reducirse su velocidad sin necesidad de obtener resultados adversos. Un sensor que controle la temperatura de aporte del agua puede ser empleado para determinar el uso de los ventiladores.

b) Control ON/OFF.

Los termostatos ofrecen un simple control de apagado/enendido de los ventiladores, permitiendo así, controlar diferentes temperaturas de agua. Donde los termostatos son usados para controlar la evacuación de calor, se debe tener cuidado al usar interruptores diferenciales ya que estos deben tener un ancho de banda lo suficientemente grande para prevenir continuos cortes.

c) Control paso a paso.

El control paso a paso se puede conseguir de dos maneras.

1. En primer lugar, en sistemas que utilizan múltiples ventiladores, el número de ventiladores que funcionen simultáneamente depende de la temperatura de agua que se pretende alcanzar. Por ejemplo, tres ventiladores pueden proporcionar 0%, 33%, 66% y 100% del efecto frigorífico a 20 °C, 22 °C y 24 °C respectivamente. Bajo este tipo de funcionamiento lo más indicado es utilizar un sistema de secuenciación para ajustar el funcionamiento de los ventiladores de manera que se incurra en el menor coste posible.
2. La segunda opción de control sería utilizar motores de múltiples velocidades. Por ejemplo con ventiladores de dos velocidades se puede obtener el 0%, 50% o el 100% del efecto frigorífico. Aunque los motores de múltiples velocidades son más caros que los de velocidad constante, el ahorro potencial que presentan hace que su instalación sea una opción importante a tener en cuenta.

d) Control de velocidad variable.

Se explica en la medida 2.5.1.8

La opción de elegir variadores de frecuencia es la que proporciona un ahorro mayor teniendo un rendimiento muy elevado y un coste más que aceptable.

A tener en cuenta.

- No es necesario hacer un uso total de los ventiladores de las torres de refrigeración en días fríos ni cuando la demanda de agua fría es baja.
- Un control termostático puede ser instalado para variar la capacidad de los ventiladores según sea la temperatura del agua fría que se requiera.
- La capacidad de los ventiladores puede variarse con un simple interruptor (ON, OFF), con un motor de dos velocidades o con un variador continuo de velocidad.

2.5.1.5 Control del sumidero de la torre de refrigeración y de cables calefactores.

Descripción: Las torres de refrigeración deben ser protegidas ante el congelamiento del agua en periodos de tiempo fríos. Para ello se instalan calefactores en el sumidero del agua. Éstos generalmente son eléctricos por lo que se convierten en un gasto energético extra. Estos calefactores están gobernados generalmente con un control termostático, que debe ser revisado anualmente para controlar su calibración y efectividad.

Las tuberías externas también pueden ser protegidas frente al congelamiento mediante un traceado con cables eléctricos que tienen la misión de calefactar las tuberías.



Fig. 2.105. Cables calefactados para el traceado de tuberías.

A tener en cuenta.

- El correcto funcionamiento de estos controles debe ser revisado anualmente.

- El sumidero de la torre de refrigeración debe estar provisto de calefacción para evitar el congelamiento del agua en invierno.

2.5.1.6 Tratar el agua.

Descripción: El tratamiento del agua de refrigeración es necesario por muchas razones. La más importante es que el agua de refrigeración es propensa a generar microorganismos. Los contaminantes biológicos permiten el crecimiento de bacterias en el agua como por ejemplo la legionela, o la pneumophilia. Estas bacterias y hongos pueden bloquear conductos reduciendo la efectividad en un 50%

Además de los aspectos biológicos, hay que realizar un tratamiento del agua para prevenir la corrosión y la formación de fangos y lodos. Todo esto requiere un aumento de los costes de mantenimiento y de operación del equipo.

El tratamiento del agua normalmente involucra una serie de etapas para conseguir el efecto deseado, estas son:

- Filtración: Para eliminar los sólidos en suspensión.
- Intercambio iónico: Para eliminar los iones disueltos.
- Tratamiento químico: Para cambiar la composición química y sus propiedades.
- Purga de agua: Para disminuir la concentración de sólidos disueltos y otros contaminantes.

a) Filtración.

Para prevenir la corrosión y el desgaste de los elementos, y maximizar el intercambio de calor, es imprescindible eliminar los sólidos disueltos que contiene el agua.

Los beneficios de una filtración directa son que se reduce el tratamiento químico necesario, la necesidad de purgar y que las superficies de transferencia se encuentran más limpias por lo que los periodos de limpieza se alargan en el tiempo.

Se hace necesario reemplazar o limpiar periódicamente el material de filtrado por lo que debe pararse la instalación temporalmente.

b) Intercambio iónico.

El intercambio iónico es un proceso reversible de cambio de iones entre la fase sólida y la líquida. Este fenómeno puede ocurrir en las zeolitas naturales o en resinas sintéticas formadas por la polimerización de compuestos orgánicos.

Los indeseables iones disueltos, como los iones metálicos, son capturados por la resina e intercambiados con iones inocuos tales como el hidróxido de sodio. Este tipo de tratamiento permite el acondicionamiento del agua que, de otra forma, causarían corrosión en las tuberías.

La resina debe ser regenerada periódicamente porque su capacidad de absorción merma con el uso. Para ello basta con limpiar la resina de los iones que ha recogido.

Típicamente, el intercambio iónico, suele realizarse mediante el bombeo de un agua pretratada y filtrada a través de una columna de resina y posteriormente utilizándola directamente como agua de alimentación.

c) Tratamiento químico.

El tratamiento químico permite el acondicionamiento del agua para utilizarla en multitud de procesos. Las áreas más importantes del tratamiento químico están relacionadas con el control biológico, formación de lodos, mediante el cambio de sus propiedades químicas. Estos procesos pueden ser muy caros.

d) Purgas de agua.

La eliminación de agua de refrigeración y sustitución por agua fresca ayuda a diluir las impurezas y previene los problemas anteriormente citados.

Se debe tener cuidado en no gastar la “valiosa” agua ya tratada mediante excesivas purgas.

A tener en cuenta.

- Un efectivo tratamiento del agua es esencial para evitar la corrosión, la formación de depósitos y el crecimiento biológico.
- Estos problemas tienen como consecuencia un incremento de la resistencia por fricción en tuberías, conllevando un aumento de la potencia de bombeo.
- También se ve afectada negativamente la transferencia de calor, incrementando los costes de mantenimiento y posibles problemas de higiene.
- Un tratamiento del agua efectivo puede ser conseguido mediante una combinación de procesos físicos y químicos.

2.5.1.7 Correcta elección del sistema de refrigeración.

Descripción: Cuando se estudian los diferentes sistemas de refrigeración, se han de tener en cuenta numerosos factores para escoger la alternativa más

apropiada desde el punto de vista económico y energético. Estos factores se enumeran a continuación:

- Temperatura mínima de entrada del agua de refrigeración.
- Máxima evacuación de calor.
- Tamaño de la industria y localización.
- Eficiencia.
- Costes de mantenimiento.
- Coste de inversión.
- Costes de operación.

En muchos casos, el proceso y su operación son los factores más determinantes a la hora de elegir un sistema u otro de refrigeración.

Las aplicaciones que puedan desarrollarse a 45 °C pueden refrigerarse con el aire del ambiente, si se desarrolla a 15 °C se utilizará como refrigerante el agua, pero por debajo de esta temperatura será necesario utilizar diferentes formas de refrigeración.

A tener en cuenta.

- Cada método tiene sus propias características, pero generalmente el que consigue menores temperaturas tiene unos costes de operación y de mantenimiento mayores.
- Es lo más importante seleccionar el tipo de refrigeración más apropiado para cada aplicación.

2.5.1.8 Capacidad de control de las bombas (secuencia, VSD, etc).

Descripción: En toda instalación frigorífica existe un cambio continuo de la demanda de refrigeración, lo cual indica que la producción frigorífica debe ser variable para satisfacer la demanda. En la realidad nos encontramos con el hecho de tener instalaciones diseñadas para una capacidad máxima determinada, por lo general sobredimensionadas y luego en la práctica las necesidades son variables e inferiores. El buen acoplamiento a condiciones de carga variable tan importante de cara al ahorro energético, es lo que se interpreta como “adecuación a la demanda”.

Esto afecta de forma directa en la selección de los compresores (tipo, tamaño, número, gestión o control), a los condensadores de aire y evaporativos, a las bombas de agua de condensación, al trazado de tuberías (velocidades

mínimas, sifones para aceite), control y gestión de los evaporadores (termostato modulante), a las bombas de recirculación de refrigerante en sistemas inundados, etc.

Lo ideal es la parcialización de la potencia de los equipos en la medida de lo posible. Es decir, disponer de un número de compresores, ventiladores y bombas de distinta potencia para poder ajustarse de mejor forma a la carga.

En la siguiente figura se puede observar porcentaje de carga que es posible adoptar en dos instalaciones, una con compresores del mismo tamaño y otra con compresores de distinto tamaño. La variación de la carga en la segunda instalación tiene mayor número de escalones y por tanto existen mayores posibilidades de adecuación a la demanda.

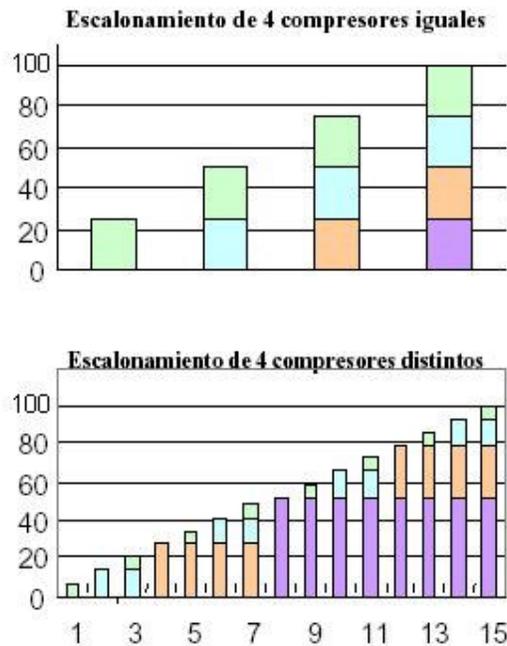


Fig. 2.106. Parcialización de la carga en compresores.

Aunque ese procedimiento es un paso en el proceso de diseño y selección de la planta, y no siempre es realizado. Aún así existen métodos para mejorar el funcionamiento a carga parcial.

El método más eficiente para adecuar el funcionamiento de los equipos que consumen electricidad a la carga de la instalación, una vez que ésta está en funcionamiento, es la introducción de variadores de frecuencia en los motores eléctricos.

Un variador de frecuencia es un dispositivo electrónico, que toma la tensión de alimentación de la red eléctrica, la rectifica y luego la vuelve a transformar en corriente alterna de la frecuencia y tensión que en cada momento se necesita

para que la velocidad de rotación del motor eléctrico y del equipo (compresores, ventiladores y bombas) varíen según las necesidades de la instalación que le marca un controlador interno o externo basándose en la presión o temperatura de referencia ajustada.

Con esto se consigue que el equipo funcione en su punto de máximo rendimiento sea cual sea la carga. Además se producen menores paradas de la instalación, con lo que aumenta su vida útil.

Es necesario destacar que esta medida de ahorro energético es incompatible con la adopción del control flotante de la presión de condensación. Las estrategias son diferentes:

- En el caso de la instalación de los variadores de frecuencia, la presión de condensación se mantiene fija en un valor alto y la regulación se realiza a través de la variación de velocidad de los motores, tanto de ventiladores como de bombas y compresores.
- En el caso de la presión flotante de condensación, los ventiladores del condensador (o de la torre de refrigeración) deben mantenerse en funcionamiento a plena potencia durante todo el funcionamiento.

A tener en cuenta.

- El consumo eléctrico puede ser minimizado dado que la capacidad de bombeo puede ser ajustada a la demanda instantánea.
- El uso de válvulas para reducir el caudal supone un importante desperdicio de energía.
- La eficiencia de la instalación mejora sustancialmente tras la instalación de motores de velocidad variable.
- La capacidad de instalaciones con múltiples bombas puede ser regulada mediante el accionamiento secuencial de las bombas de acuerdo a la demanda de agua de refrigeración existente.

2.5.1.9 Diseño de tuberías.

Descripción: El sistema de distribución de agua de refrigeración debe ser cuidadosamente diseñada para minimizar las pérdidas de carga. Se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Adecuar el tamaño de la tubería a una velocidad del fluido correcta (alrededor de 2m/s).
- Equilibrar las caídas de presión para evitar la formación de cuellos de botella. En una red bien equilibrada, las caídas de presión en la torre, en

el sistema de distribución y e los equipos de proceso deben estar al mismo nivel.

- Utilizar accesorios que minimicen las pérdidas, como por ejemplo el uso de curvas suaves.
- Detallar posibles puntos críticos en los alrededores, como las bombas, para que no se perjudique su funcionamiento y eficiencia.

El diseño de redes pequeñas y medianas se puede hacer manualmente. En el momento que el tamaño de la red crece es recomendable realizar el diseño con la ayuda de algún soporte informático.

A tener en cuenta.

- El sistema de distribución del agua de refrigeración debe ser diseñado de manera que la caída de presión sea mínima, para minimizar los gastos eléctricos de bombeo.

2.5.1.10 Especificaciones de la torre y ubicación.

Descripción: Existen diferentes tipos de torres de refrigeración, cada una de las cuales tiene una serie de características y especificaciones. Dependiendo de las condiciones de operación de la planta será más conveniente la elección de un tipo de torre que otra. Los diferentes tipos son los siguientes.

- 1.- Torre de tiro natural. En estas torres el agua se enfría contra una corriente de aire que no es forzado.
- 2.- Torre de tiro forzado. En este caso el agua se enfría frente a una corriente de aire generado por un ventilador situado en el fondo de la torre de refrigeración.
- 3.- Torre de tiro inducido. En este caso la corriente se produce al extraer aire del interior de la torre mediante un extractor situado en la parte superior de la torre.

En torres donde el flujo es forzado hay dos tipos de configuraciones posibles:

- Flujo cruzado.
- Contracorriente.

En la siguiente figura se muestra un ejemplo de estas dos configuraciones.

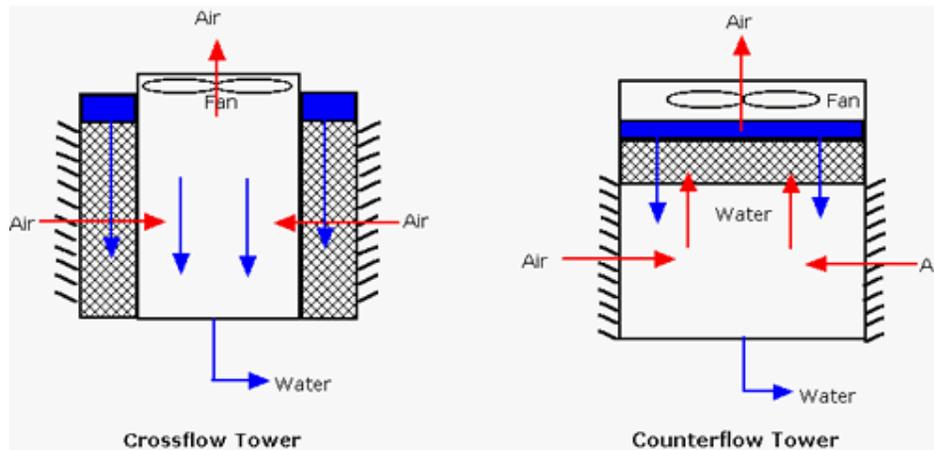


Fig. 2.107. Torre de flujo cruzado y de contracorriente.

Para cada tipo de torre y en función de las características del producto final las especificaciones de operación son diferentes y han de adaptarse a la necesidad en cada momento.

Las torres antiguas tienden a tener menor eficiencia, y puede que necesiten el doble de potencia de ventiladores (para un mismo efecto frigorífico) que una de diseño actual.

Las torres modernas están equipadas con multitud de tecnologías de refrigeración como son el tiro natural o forzado con diferentes configuraciones como flujo cruzado o a contracorriente.

Una característica que hay que tener en cuenta es el tipo de acceso que la torre ofrece a los equipos. Es mucho mejor poder tener acceso a los equipos desde el exterior que tener que hacer el mantenimiento desde el interior.

Los motores y ventiladores trabajan bajo condiciones de alta humedad tienen una vida menor y mayores costes de mantenimiento.

La ubicación de la torre también es un factor muy importante. El viento puede tener una fuerte influencia en el funcionamiento de las torres de refrigeración ya sea de tiro natural o forzado. Corrientes de aire moderadas pueden afectar negativamente al funcionamiento de la torre ya que puede perturbar el flujo de aire en el interior de la torre incluso haciendo que el aire que sale de la torre vuelva a entrar de nuevo. Por el contrario, si la corriente es muy fuerte tiene consecuencias beneficiosas dado que aumenta la succión y así el flujo en el interior de la torre.

Las torres han de instalarse lejos de construcciones vecinas que impidan la corriente natural del aire.

A tener en cuenta.

- Unas especificaciones correctas de la torre de refrigeración reduce la potencia de los ventiladores necesaria para obtener el refrigerante.
- Las torres de refrigeración deben estar correctamente situadas para prevenir pérdidas debido a corrientes de aire entrantes en la torre y/o humedad.

2.5.1.11 Aplicar lubricantes antifricción en bombas.

Descripción: Cuando dos cuerpos sólidos se frotan entre sí, hay una considerable resistencia al movimiento sin importar lo cuidadosamente que las superficies se hayan maquinado y pulido. La resistencia se debe a la acción abrasiva de las aristas y salientes microscópicas y la energía necesaria para superar esta fricción se disipa en forma de calor o como desgaste de las partes móviles. La fricción se puede reducir por el uso de partes móviles con energía de superficie baja que se deslizan con facilidad una sobre otra. El polietileno, el nylon y el olitetrafluoretileno tienen energías de superficies bajas. Aunque estos materiales son útiles en aplicaciones especializadas, es más usual emplear lubricantes para reducir la fricción.

En la actualidad los lubricantes suelen clasificarse de acuerdo con sus necesidades, en grasas y aceites. Estas dos clases de lubricantes aparecieron teniendo en cuenta factores tales como velocidades de operación, temperaturas, cargas, contaminantes en el medio ambiente, tolerancias entre las piezas a lubricar, períodos de lubricación y tipos de mecanismos; la grasa generalmente se utiliza en la lubricación de elementos tales como cojinetes de fricción y antifricción, levas, guías, correderas y piñonería abierta. El aceite, por su parte, tiene su mayor aplicación en la lubricación de compresores, motores de combustión interna, reductores, motorreductores, transformadores, sistemas de transferencia de calor, piñonería abierta, cojinetes de fricción y antifricción y como fluidos hidráulicos. Existen diferentes grados de grasas y aceites dependiendo de la necesidad que se tenga y de los factores de operación. Una mala selección es tan peligrosa como si se hubiese dejado el mecanismo sin lubricante alguno. Muchas de las fallas que ocurren en este campo tienen su origen aquí; de ahí la seguridad que se debe tener cuando se seleccione un lubricante.

A tener en cuenta.

- Una capa de lubricante debe ser aplicada a las superficies interiores de las bombas.
- Los lubricantes pueden suponer una mejora en la eficiencia energética del 2-8%, reduciendo las pérdidas por fricción y prolongando la vida de las bombas.

2.5.1.12 Recuperación de calor e integración en el proceso.

Descripción: La temperatura de descarga del refrigerante es mayor que la ambiente, y en ocasiones puede hasta superar los 100 °C, lo cual ofrece la posibilidad de recuperar parte de ese calor. También es posible recuperar calor de otras zonas, como el aceite de refrigeración de algunos compresores. Las posibilidades para recuperar calor provienen de:

- Extraer calor del vapor de descarga del compresor en un vaso desrecalentador situado entre el compresor y el condensador. La temperatura depende de las condiciones con que trabaje el ciclo y del refrigerante. El R22 y el amoníaco trabajan con temperaturas de descarga sensiblemente superiores que otros refrigerantes para la misma temperatura de condensación. La cantidad de calor que puede extraerse es de todas formas pequeña y por tanto sólo es usado en contadas ocasiones.
- Calor del condensador, cuya temperatura es de unos 10 a 30 °C mayor que la ambiente.
- Calor del aceite de refrigeración del compresor, que puede estar a una temperatura de 60 a 80 °C. Para sistemas que utilicen R22 aproximadamente el 38 % de la potencia del motor es absorbida por el aceite, cantidad que aumenta hasta el 60 % en el caso del amoníaco.

Es esencial analizar detenidamente el funcionamiento del sistema después de la recuperación, ya que en muchos casos recuperar calor puede implicar que el ciclo tenga que trabajar a mayores presiones y por tanto opere menos eficientemente, y el ahorro no supere el coste extra.

Se trata de hacer circular el refrigerante de descarga del compresor por un intercambiador para calentar el fluido que se desee. La aplicación más extendida debido a la temperatura de descarga de las instalaciones de refrigeración, entre 60 y 70 °C, es la producción de agua caliente sanitaria (ACS).

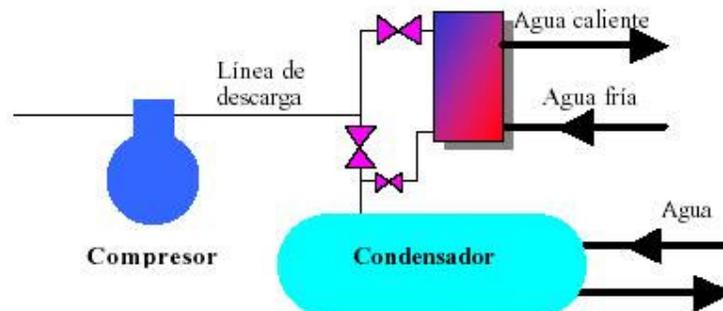


Fig. 2.108. Recuperación de calor del condensador.

La tecnología Pinch es un método de análisis que identifica el mejor uso de las transferencias de calor entre fuentes de calientes (que necesitan ser refrigeradas) y fuentes de frío (que necesitan ser calentadas), que minimice la necesidad de calentamiento y enfriamiento mediante el uso de fuentes de calor y de frío externas. Mediante un cuidadoso diseño de la recuperación de calor, el uso de fuentes de calor externas (como por ejemplo el vapor) y de fuentes de refrigeración fueron disminuidas significativamente.

El “Pinch point” es una temperatura teórica de referencia determinada por las características de la planta que va a ser analizada. El Pinch point es crucial para el éxito de la tecnología Pinch, como se indica en las tres “reglas de oro”:

- Permitir la transferencia de calor entre fuentes que se encuentren cada una a un lado del Pinch point.
- No utilizar refrigeración externa en procesos que tengan una temperatura superior al Pinch point.
- No utilizar calefacción externa en procesos que tengan una temperatura inferior al Pinch point.

A tener en cuenta.

- Es posible reutilizar el calor extraído por el proceso de refrigeración en el calentamiento de edificios o en algún proceso.
- Del mismo modo es posible generar refrigerante usando otra corriente que necesite ser calentada.
- La tecnología Pinch es una probada metodología para identificar medidas de ahorro en procesos con diversos requerimientos de calentamiento y enfriamiento.

2.6 Bombas.

2.6.1 Bombeo de Slurry.

En la siguiente tabla se exponen una lista de Medidas de Ahorro Energético referido al bombeo de Slurry que muestra un estimado periodo de retorno, ahorro energético típico y el coste de inversión basado en recientes estudios.

MEDIDA	PERIODO DE RETORNO*	POT. AHORRO**	INVERSIÓN***
Trabajar a la máxima densidad posible del producto	Inmediato	1	Ninguna
Optimizar la capacidad del sistema para minimizar las paradas y los reajustes de producto	Inmediato	2	Ninguna
Utilizar tuberías de baja fricción	Inmediato	3	Ninguna
Solo estar en funcionamiento cuando sea necesario	Inmediato	4	Ninguna
Proporcionar el mínimo caudal y presión	Inmediato	5	Ninguna
Seleccionar la bomba más adecuada en cada caso	Inmediato	6	Ninguna
Realizar un seguimiento del funcionamiento de las bombas y reparar los daños de corrosión.	Corto	7	Baja
Usar lubricantes de baja fricción en las bombas.	Corto	8	Baja

*El periodo de retorno esta dado como Corto, Medio o Largo donde: Corto < 1 año, Medio de 1 a 3 años y Largo > 3 años.

**En el ahorro 1 representa la medida que ofrece mayor potencial de ahorro.

***La inversión está dispuesta en diferentes categorías que son: Baja < 3000€, Media entre 3000€ y 15000€ y Alta > 15000€.

Tabla 2.31. Medidas de Ahorro Energético en bombeo de Slurry.

2.6.1.1 Trabajar a la máxima densidad posible del producto.

Descripción: Hay muchos tipos de slurry por lo que los diseñadores de sistemas de bombeo de slurry necesitan conocer todas las características del slurry que tienen entre manos. Si él es capaz de optimizar las características del slurry como por ejemplo la cantidad de sólidos transportados por m³ de líquido o variar la temperatura, el necesitará conocer todos los aspectos del proceso además del sistema de bombeo antes de decidir las condiciones óptimas.

Los factores de importancia con respecto a las conducciones y las bombas son:

- Maximizar la cantidad de producto y minimizar la cantidad de líquido transportado teniendo en cuenta las siguientes restricciones.
 - El slurry debe comportarse como un fluido evitando la formación de bloqueos.

- Debe haber la suficiente cantidad de líquido de transporte para conseguir que el slurry no sea muy abrasivo.

A tener en cuenta.

- Cuanto mayor sea la densidad del slurry menos energía se consumirá en transportar líquido.

2.6.1.2 Optimizar la capacidad del sistema para minimizar las paradas y los reajustes de producto.

Descripción: Cuando una línea de transporte de slurry se detiene, los sólidos dejan de estar en suspensión. En muchos tipos de slurry es completamente imposible poder reestablecer el flujo de grano y agua. En estas circunstancias las líneas se bloquean y es muy costoso volver a establecer las condiciones de operación.

La dificultad se puede resolver mediante el diseño del sistema para que esté en funcionamiento continuamente o en el caso de que se detenga seguir mandando líquido de transporte únicamente con la misión de limpiar los conductos de grano.

Los sistemas de transporte de slurry no deben parar nunca para sostener un nivel aceptable de eficiencia.

A tener en cuenta.

- Idealmente el bombeo de slurry debe funcionar continuamente y con un flujo constante.
- Si se paran las líneas de bombeo se producirán pérdidas y formación de efluentes que hay que bombear.

2.6.1.3 Utilizar tuberías de baja fricción.

Descripción: Tuberías que tienen una superficie interior más lisa ofrecen menor resistencia al flujo y por tanto requiere menos presión de bombeo y por tanto se consume menos energía.

El material de que estén hechas las tuberías debe soportar el transporte de slurry sin que sufran un desgaste prematuro.

Deben realizarse pruebas para determinar que materiales van mejor para cada slurry. En muchas circunstancias las tuberías de polietileno tienen mejores resultados que las de acero.

A tener en cuenta.

- Las tuberías de baja fricción reducen el consumo de energía.
- Las tuberías que transporten slurry han de ser resistentes a la abrasión.
- Todos los slurry son diferentes pero las tuberías de polietileno tienen una mayor duración en la mayoría de circunstancias.

2.6.1.4 Solo estar en funcionamiento cuando sea necesario.

Descripción: Anteriormente se ha comentado que lo idóneo es no detener bajo ninguna circunstancia el funcionamiento del transporte de slurry, pero esta medida no debe llevarse a cabo en instalaciones pequeñas.

Muchos sistemas disponen de un sistema de drenaje de manera que el sólido es expulsado fuera de los conductos cuando se detiene el bombeo. Si el sistema de drenaje funciona correctamente resulta económico no utilizar el sistema cuando no sea necesario.

El tiempo de la comida representa un octavo de la jornada de trabajo y si el bombeo de slurry se detiene durante ese periodo se ahorrará un 12.5% en la factura.

Si la detección del bombeo de slurry requiere de una complicada manipulación de los controles, puede que sea un problema para los operadores realizarlo en cada parada para comer. Para solucionarlo se podría instalar un sistema automático.

A tener en cuenta.

- Pequeños sistemas de autodrenado del slurry pueden ser desconectados fácilmente.
- Dejar una bomba funcionando durante el descanso de la comida incrementa los costes energéticos en un 12,5%.
- Para evitar que las bombas sigan funcionando durante paradas, debido por ejemplo a un olvido, pueden instalarse interruptores automáticos que resuelvan el problema.
- No es apropiado desconectar las bombas durante paradas muy cortas para luego volver a hacerlas funcionar.
- Los interruptores de las bombas de slurry pueden ser integrados en el control de la planta.

2.6.1.5 Proporcionar el mínimo caudal y presión.

Descripción: La mayoría de los diseñadores normalmente cometen un error excesivo en las especificaciones de las bombas por encontrarse demasiado del “lado de la seguridad”.

Las bombas se suelen elegir para trabajar en la zona de mayor eficiencia a plena carga. Si, debido a las precauciones del diseñador, la fricción de los conductos es menor que la estimada, las bombas no funcionarán eficientemente.

En la mayoría de las instalaciones las bombas se encuentran sobredimensionadas y generalmente se cae en ello durante años. Una medida para mejorar el funcionamiento puede ser modificar el rotor para trabajar en zonas de mejor rendimiento.

En términos generales el caudal que proporciona una bomba es proporcional al cuadrado del diámetro del rotor.

La potencia desarrollada por una bomba también es proporcional al cuadrado del diámetro del rotor.

Usando la información anterior es posible tomar la curva característica de la bomba original y hacer la curva correspondiente a una bomba con un rotor un 10% menor.

Se debe tener mucho cuidado porque este método de cálculo solo ofrece un resultado aproximado y orientativo. Si se rectifica demasiado el rotor de una bomba, ésta funciona muy mal. El rectificado del rotor solo tiene un buen resultado en un determinado rango y debe ser llevado a cabo por el fabricante de las bombas.

A tener en cuenta.

- Generalmente se suele incurrir en el error de sobreestimar las pérdidas en tuberías quedando las bombas sobredimensionadas. Este error hace que se consuma más energía de la necesaria y permanece sin detectar durante muchos años.
- Los rotores de las bombas pueden ser rectificadas para reducir el consumo energético.

2.6.1.6 Seleccionar la bomba más adecuada en cada caso.

Descripción: Para el bombeo de slurry es muy importante el tipo de bomba que se va a utilizar. Existen bombas especiales para estos cometidos donde la resistencia a la abrasión es uno de los aspectos más importantes. El diseño del rodete también es muy importante porque además de tener buena resistencia a

la abrasión ha de tener una sección de paso suficiente para que pasen los sólidos en suspensión.

En la siguiente imagen se muestra un corte de una bomba para el transporte de slurry.

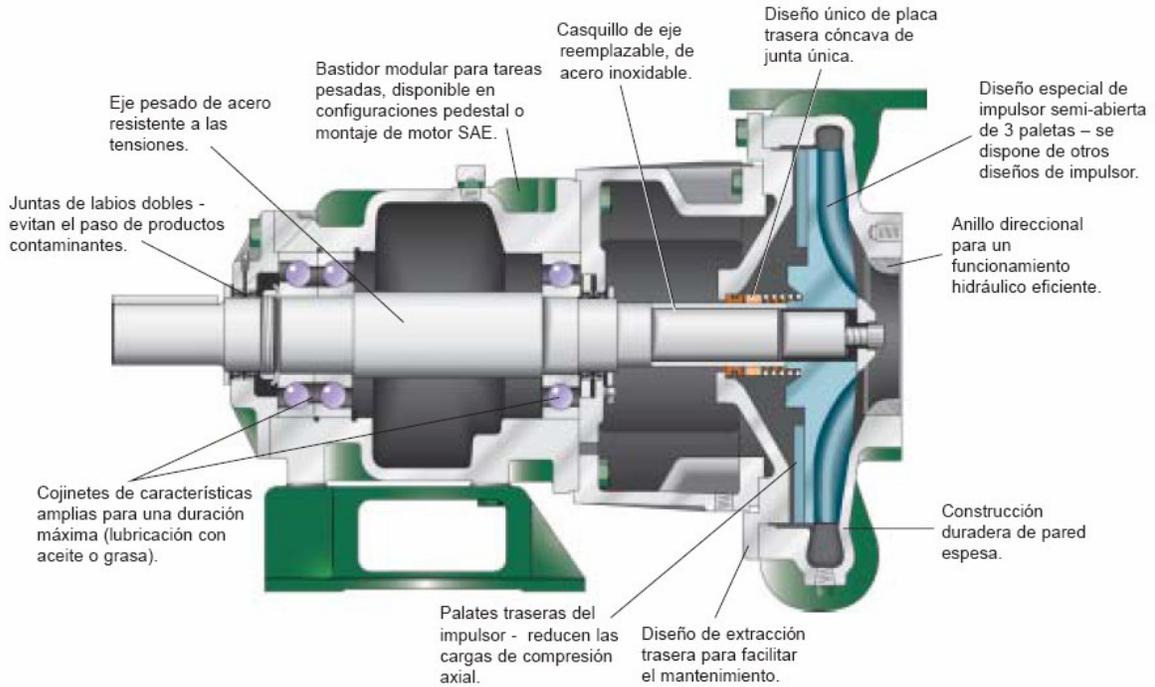


Fig. 2.109. Bomba para slurry con diferentes rodetes.

2.6.1.7 Realizar un seguimiento del funcionamiento de las bombas y reparar los daños de corrosión.

Descripción: Como medida de mantenimiento es muy importante realizar un seguimiento del funcionamiento de las bombas. De este modo se pueden detectar fallos en la instalación antes de que sean graves y conocer cuando una bomba no trabaja bien, debido a un mal funcionamiento de alguna de sus partes, ya sea por desgaste o por alguna otra razón, pudiendo realizar el recambio de la misma.

A tener en cuenta.

- Las bombas de slurry son muy vulnerables a la erosión y la corrosión.
- Una bomba desgastada reduce muchísimo su rendimiento, gastando por tanto más energía de la necesaria.
- Un seguimiento de la presión, caudal y potencia consumida pueden revelar fallos en la instalación.
- Renovar bombas desgastadas tiene un periodo de retorno muy corto.
- Algunas bombas normales pueden ser utilizadas como bombas de slurry proporcionando una capa antiabrasiva que reduzca la erosión y el consumo de potencia.

2.6.1.8 Usar lubricantes de baja fricción en las bombas.

Descripción: En algunas ocasiones es posible reparar bombas dañadas mediante la aplicación de una capa de material plástico. Este material plástico rellena las zonas más desgastadas y además reduce la fricción por ser un material más liso.

A pesar de que una capa de material plástico reduce la sección de paso de la bomba, como se disminuye la fricción, es posible que se mejore el funcionamiento con respecto a la bomba nueva.

Algunos recubrimientos de las bombas tienen una mejor respuesta a la abrasión, logrando con ello alargar la vida de las bombas.

A tener en cuenta.

- Una capa de lubricante para bombas puede ser aplicado en las bombas de nueva instalación permitiendo, de este modo, realizar la reparación de las bombas ya desgastadas para mejorar su funcionamiento.

2.6.2 Bombas de cerveza.

En la siguiente tabla se exponen una lista de Medidas de Ahorro Energético referido a las bombas que muestra un estimado periodo de retorno, ahorro energético típico y el coste de inversión basado en recientes estudios.

MEDIDA	PERIODO DE RETORNO*	POT. AHORRO**	INVERSIÓN***
Funcionar únicamente cuando sea necesario	Inmediato	1	Ninguna
Seleccionar la bomba con máxima eficiencia para las condiciones de operación.	Inmediato	2	Ninguna
Asegurarse de que los filtros están limpios	Inmediato	5	Ninguna
Operar las bombas adecuadamente	Corto	3	Baja
Instalar control de bombas (secuencia, variadores de velocidad)	Corto	4	Media
Eliminar atascos en el sistema de tuberías	Corto	6	Baja
Realizar un seguimiento del funcionamiento de las bombas y reparar los daños de corrosión.	Corto	7	Baja

*El periodo de retorno esta dado como Corto, Medio o Largo donde: Corto < 1 año, Medio de 1 a 3 años y Largo > 3 años.

**En el ahorro 1 representa la medida que ofrece mayor potencial de ahorro.

***La inversión está dispuesta en diferentes categorías que son: Baja < 3000€, Media entre 3000€ y 15000€ y Alta > 15000€.

Tabla 2.32 . Medidas de Ahorro Energético en Bombas de Cerveza.

2.6.2.1 Funcionar únicamente cuando sea necesario.

Descripción: Es posible que en muchas instalaciones las bombas estén en funcionamiento cuando esto no es realmente necesario. El exceso de flujo se convierte en un efluente o se devuelve a la fuente de alimentación.

Si las bombas no tienen ningún problema es probable que estén funcionando sin que nadie repare en ellas cuando la planta esté parada. Muchas plantas están en parada durante una importante parte del día debido a situaciones como cambio del tamaño de los lotes o por paradas de la plantilla.

El funcionamiento innecesario de estas bombas se traduce en un gasto energético cuando operan cuando no es necesario y paran cuando realmente lo es.

¿Puede el operador de las bombas anticiparse a la parada de las bombas cuando estas no van a ser necesarias?

No, si hay muchas bombas que parar. La parada de las bombas y el reestablecimiento de la marcha no es un proceso simple y podría tener resultados negativos si se olvida poner en marcha alguna bomba.

Por ello, es lo más indicado en muchas circunstancias instalar un control automático de arranque y parada. Generalmente es preferible que el sistema de control esté integrado con los controles de la planta a los cuales la planta va a servir.

Si la instalación del control automático no es viable, siempre es conveniente instalar un control manual que es la manera más fácil y sencilla de asegurar que tanto las bombas como las válvulas están operadas correctamente.

A tener en cuenta.

- Dejar el sistema de bombeo funcionando durante paradas para el almuerzo incrementan los costes energéticos en un 12,5%.
- No es apropiado desconectar las bombas durante paradas muy cortas para luego volver a hacerlas funcionar.
- Sistemas de conexión basados en sensores de nivel o de temperatura normalmente no son muy caros.
- Los interruptores de las bombas pueden ser integrados en el control de la planta.

2.6.2.2 Seleccionar la bomba con máxima eficiencia para las condiciones de operación.

Descripción: Muchos diseñadores de bombas están muy “del lado de la seguridad” cuando especifican la potencia mínima de la bomba.

Las bombas son escogidas bajo ese criterio de modo que su máxima eficiencia está en es rango de trabajo. Pero en muchas ocasiones los diseñadores sobreestiman las pérdidas de carga del sistema por muchas razones, haciendo que la bomba que finalmente es elegida para una aplicación no sea la óptima su punto de funcionamiento se aleje de la zona de máxima rendimiento.

El consumo de energía de una bomba es proporcional al flujo generado. Un incremento del flujo del 10% supone un incremento de fricción en el sistema de distribución del 21% y por tanto un consumo de potencia extra del 33%.

Es mucho más fácil tomar una buena decisión, en cuanto a la elección de una bomba, si se dispone datos fiables. Caudalímetros instalados en las propias tuberías es la mejor opción para tener una buena medida del caudal. En las instalaciones antiguas las presiones a la salida y la entrada especificada de las

bombas suele no ser demasiado fiables. Realizar unas nuevas medidas no es muy caro y pueden moverse los dispositivos de bomba a bomba.

Con unos conocimientos fiables de presión y caudal, se pueden realizar programas para eliminar presiones excesivas y el flujo puede ser conducido mucho más fiablemente.

En términos generales el caudal que proporciona una bomba es proporcional al cuadrado del diámetro del rotor.

La potencia desarrollada por una bomba también es proporcional al cuadrado del diámetro del rotor.

Usando la información anterior es posible tomar la curva característica de la bomba original y hacer la curva correspondiente a una bomba con un rotor un 10% menor.

Se debe tener mucho cuidado porque este método de cálculo solo ofrece un resultado aproximado y orientativo. Si se rectifica demasiado el rotor de una bomba, ésta funciona muy mal. El rectificando del rotor solo tiene un buen resultado en un determinado rango y debe ser llevado a cabo por el fabricante de las bombas.

Si es necesario mantener la válvula de descarga de la bomba parcialmente cerrada permanentemente para prevenir la sobrecarga del motor, probablemente la bomba está sobredimensionada. El estrangulamiento de la válvula de descarga consume excesiva energía y también reduce la vida de la bomba y de la válvula.

Rectificando el rotor, sustituyéndolo por otro menor o por otra bomba completamente nueva más ajustada a las necesidades se elimina la necesidad de tener que estrangular la válvula de descarga.

De forma alternativa, cambiar la velocidad mediante variadores de frecuencia o los ajustes de bombas gobernadas con aire comprimido son métodos de reducir la velocidad de giro y eliminar la necesidad de estrangular la salida.

A tener en cuenta.

- El rendimiento de una bomba decrece muy rápidamente a medida que las condiciones de operación se alejan de los caudales óptimos de trabajo.
- Las pérdidas de carga en conductos suelen ser sobredimensionadas de modo que las bombas suelen resultar sobredimensionadas de igual manera.

- Equipos portátiles de medida alquilados suelen ser utilizados para encontrar fallos en la instalación existente.
- No es de buen uso añadir márgenes de seguridad en las especificaciones de las bombas. Normalmente los diseñadores de procesos ya tienen en cuenta suficientes márgenes.
- Los rodetes de bombas sobredimensionadas son comúnmente rectificadas para dar el caudal adecuado.
- Si es necesario estrangular la descarga de alguna bomba, quiere decir que la bomba estará sobredimensionada y es candidata a sufrir un rectificado del rodete.

2.6.2.3 Asegurarse de que los filtros están limpios.

Descripción: Los filtros hacen que la limpieza de la instalación sea más dificultosa y sólo deberían ser instalados en plantas alimenticias donde no hay otra alternativa. Deben ser fácilmente visibles y accesibles.

Los filtros de succión suelen encontrarse sumergidos y por lo tanto difíciles de ver. Si los filtros de succión están parcial o totalmente bloqueados restringen el caudal que llega a las bombas pero el funcionamiento intermitente de las bombas se puede compensar con un continuo funcionamiento durante largos periodos de tiempo y que por lo tanto el problema no sea detectado.

Además se incurre en un mayor gasto energético y se incurre en una reducción del NPSH disponible de la bomba.

Los problemas de cavitación causados por un inadecuado NPSH pueden reducir el rendimiento y aumentar el consumo energético. Ocasionalmente la cavitación de una bomba la puede destruir.

Una tarea muy importante es la revisión de los filtros. Incluso un filtro que no ha tenido problemas de bloqueos durante años puede bloquearse en cualquier momento causando la parada de la instalación. Un simple mecanismo para medir este ensuciamiento de los filtros es ver la caída de presión que tiene el fluido al atravesar el filtro. Si la caída de presión es grande, quiere decir que el filtro está bastante bloqueado. Si la diferencia es anormalmente pequeña puede ser una señal de que el filtro se encuentre agujereado.

El tamaño de la malla del filtro debe ser elegido con mucho cuidado según la aplicación. Cuanto más fina sea la malla mayor será la pérdida de carga que proporcione el filtro. Por eso se debe llegar a una solución de compromiso entre el tamaño de partículas que el filtro deja pasar y la pérdida de carga máxima que se puede admitir.

Si un filtro lleva en la misma posición durante años y nunca requiere ser limpiado, debe cuestionarse la necesidad de dicho filtro. Tener instalados más filtros de los necesarios no mejora el funcionamiento del sistema, en todo caso lo empeora porque las pérdidas de carga son mayores.

A tener en cuenta.

- La limpieza de los filtros puede ser descuidada durante años.
- A veces hay filtros de succión en las bombas que no se ven debido al nivel del líquido.
- Los filtros de succión no pueden ser siempre desechados porque la válvula de aspiración deje de devolver fluido.
- Todos los filtros necesitan revisiones periódicas.
- Todos los filtros tienen un nivel de presión diferencial que indiquen el fallo.
- El mallado del filtro debe de ser lo más fino posible pero teniendo en cuenta que no se formen bloqueos.
- Si un filtro nunca necesita ser limpiado los pros y contras de prescindir de él deben de ser considerados.
- Si un filtro necesita ser limpiado muy a menudo, un limpiador automático podría ser muy apropiado.

2.6.2.4 Operar las bombas adecuadamente.

Descripción: Aunque se intente ajustar el caudal proporcionado por la bomba a los requerimientos del sistema, una bomba sobredimensionada proporciona más caudal del requerido que, por lo tanto, regresa a la bomba.

Cuanto mayor sea la red de distribución, mayor es el gasto energético asociado al exceso de caudal. Una válvula de estrangulamiento a la salida de una bomba centrífuga controlada desde un sensor de nivel en un depósito puede reducir el consumo energético. Este sistema solo está disponible para usarse con bombas de desplazamiento positivo.

Los variadores de frecuencia, en cambio son aplicables tanto a bombas de desplazamiento positivo como bombas centrífugas proporcionando un ahorro energético muy importante.

Las pérdidas por fricción en un conducto es proporcional al cuadrado del caudal. El coste de bombeo para vencer el incremento de fricción es de un 33% para un aumento de caudal de solo el 10%.

A tener en cuenta.

- En instalaciones donde se bombea un exceso de caudal, puede ocurrir que el flujo extra retorne a la bomba.
- Estrangular la salida de una bomba para reducir el caudal consume menos energía que realizar un bypass o recircular el exceso de caudal.
- Una excesiva potencia de bombeo puede dañar ciertos productos.
- Una reducción del 10% en el caudal reduce las pérdidas energéticas en las tuberías en un 33%.

2.6.2.5 Instalar control de bombas (secuencia, variadores de velocidad).

Descripción: La mayor parte de las bombas, compresores y ventiladores en el campo industrial funcionan a velocidad constante. Esto obliga a ajustar la capacidad (caudal) de estos equipos aumentando artificialmente las pérdidas por fricción (resistencia) del sistema (instalación) por medio de algún dispositivo de estrangulamiento (diafragmas), que suele ser una válvula de ajuste o control, o las rejillas (persianas) de control de tiro. Este procedimiento lleva consigo que se produzcan unas pérdidas elevadas que suelen denominarse pérdidas por estrangulamiento. Estas pérdidas pueden evitarse dejando los dispositivos de estrangulamiento completamente abiertos (o eliminándolos) y utilizando un accionamiento de corriente alterna (motor de inducción) con velocidad variable para ajustar la capacidad de funcionamiento.

En la siguiente figura se muestra, en su parte superior, la curva de capacidad (altura-caudal, o H-Q) de una bomba centrífuga que funciona a velocidad constante (la nominal del motor que la acciona, por ejemplo). Sobre esta misma curva se ha representado la característica H-Q resistente de la instalación con la válvula de estrangulamiento completamente abierta. Estas dos curvas se cortan en el punto A_1 , de funcionamiento nominal. En este punto, la bomba funciona a su velocidad nominal (Ω_N) y con su caudal máximo (Q_1). Una reducción del caudal (Q_2) requiere un nuevo punto de funcionamiento sobre la curva de capacidad (H-Q) de la bomba (A_2). Dado que la bomba funciona a velocidad constante (sólo tiene una curva H-Q), este nuevo punto de funcionamiento sólo puede obtenerse incrementando la resistencia de la conducción a la salida de la bomba (cierre parcial de la válvula de estrangulamiento y consiguientes pérdidas por fricción). Los puntos A_2 y A_3 muestran los puntos de intersección de la curva de capacidad de la bomba con las características H-Q resistentes resultantes, correspondientes a dos posiciones diferentes de la válvula de estrangulamiento.

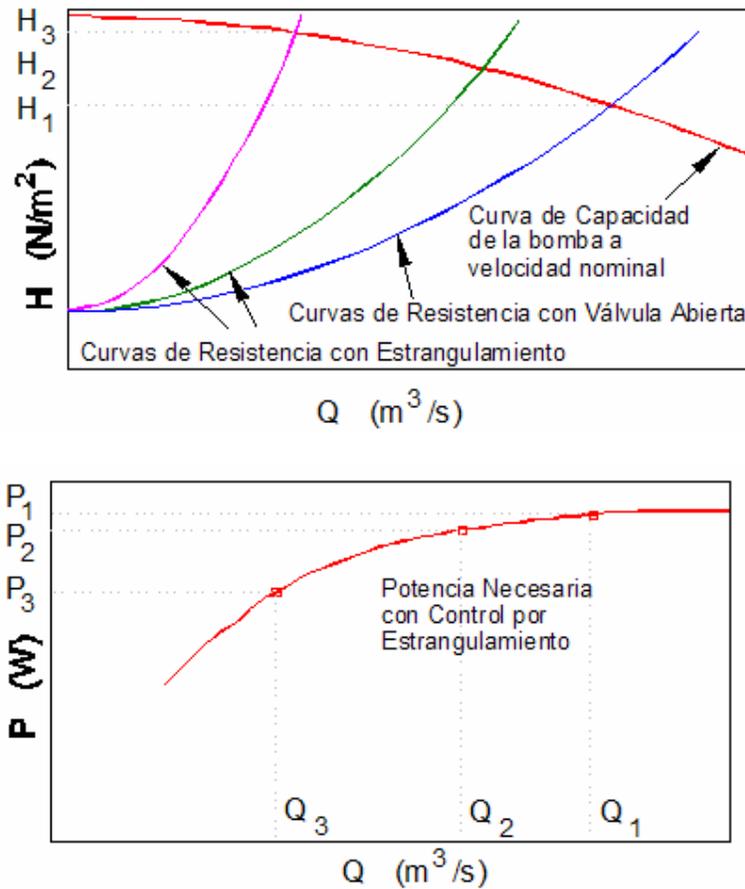


Fig. 2.110. Control de caudal por estrangulamiento de la válvula de salida (bomba velocidad constante).

La parte inferior de la Fig 2.110 muestra la potencia eléctrica absorbida por el motor de inducción que acciona la bomba en función del caudal.

La parte superior de la Fig. 2.111 muestra de nuevo la característica H-Q resistente de la instalación con la válvula completamente abierta. Sobre esta misma curva se ha superpuesto la curva de capacidad de la bomba funcionando a velocidad nominal. Estas dos curvas se cortan en el mismo punto A_1 del caso anterior (nominal). Como en el caso anterior, la bomba funciona a su velocidad nominal (Ω_N) y con su caudal máximo (Q_1). Ahora se acciona la bomba a velocidad variable. Ahora, para conseguir el caudal Q_2 se reduce la velocidad desde Ω_N hasta Ω_2 . Como puede verse, la curva de capacidad de la bomba para esta nueva velocidad interseca la característica H-Q resistente de la instalación (válvula completamente abierta) en el nuevo punto de funcionamiento (A_2).

La parte inferior de la Fig. 2.111 muestra la demanda de potencia eléctrica absorbida de la red con la bomba funcionando a velocidad constante y cuando se controla su velocidad de funcionamiento. La comparación de ambas curvas

permite evaluar el ahorro energético que puede derivarse del accionamiento de la bomba a velocidad variable.

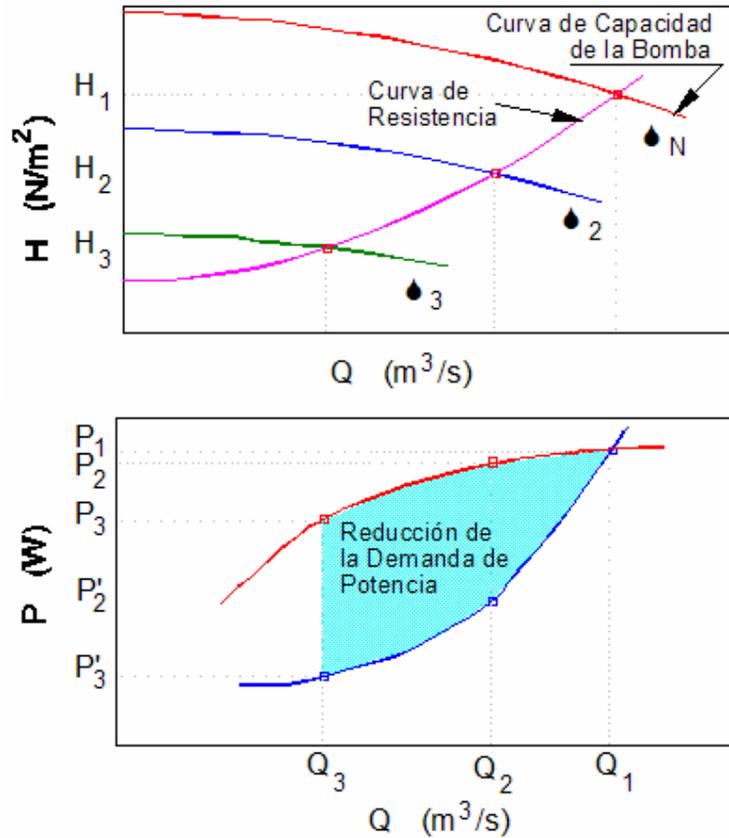


Fig. 2.111. Control de caudal por variación de la velocidad de funcionamiento de la bomba.

Las principales ventajas que se derivan de la utilización de motores de inducción con velocidad variable para el accionamiento de bombas, compresores, ventiladores y equipos similares son los siguientes:

- Reducción de los costes de explotación de la instalación debido al ahorro energético que se produce con este método en comparación con aquellos otros métodos que utilizan circuitos de recirculación o válvulas de estrangulamiento en bombas, y paletas (persianas) o rejillas de guía del flujo de admisión y diafragmas en ventiladores.
- El arranque suave que proporciona el propio equipo de control de velocidad elimina la circulación de las elevadas intensidades por la instalación y las consecuentes caídas de tensión en la red, que se producen como consecuencia del arranque directo. El arranque suave, además, reduce la fatiga mecánica del motor, del sistema mecánico de transmisión (acoplamientos, tren de engranajes, etc.) y de la máquina accionada.

- La protección que confiere el equipo de control de velocidad y la suavidad del arranque permite un número ilimitado de arranques sucesivos. La maniobra de arranque, además, se simplifica enormemente.
- El accionamiento no contribuye a las faltas en la instalación.
- Pueden conseguirse velocidades superiores a 3000 (3600) rev./min. sin multiplicador de engranajes, ya que el equipo de control puede generar tensiones de frecuencia superior a 50 (60) Hz.
- El rango permisible de caudal controlable suele ser superior al que puede conseguirse con otros métodos, que suelen exhibir problemas de vibración y calentamiento con niveles de flujo reducidos.
- El funcionamiento a velocidades más bajas reduce el desgaste de todos componentes de la instalación y reduce (o elimina) las necesidades de mantenimiento de dispositivos como válvulas de estrangulamiento y rejillas de admisión que, en otro caso suelen ser intensivas.

Aunque la relación precedente indica que existen muchas razones que hacen aconsejable la utilización de motores de inducción con velocidad variable para el accionamiento de bombas y ventiladores, la reducción de los costes de explotación asociada al ahorro energético suele el principal incentivo para su utilización.

Si bien es cierto que la sustitución de un sistema de velocidad constante por otro con velocidad variable conlleva un cierto ahorro energético y, en consecuencia, una reducción en los costes de explotación, la evaluación de estas reducciones energéticas y de costes suele exigir un completo análisis de la instalación. Dado que los equipos de control de velocidad de los motores de inducción son componentes relativamente costosos, el grado de reducción de los costes de explotación derivados del ahorro energético, deben ser lo suficientemente alto como para compensar el elevado costo inicial de adquisición del equipo de control. Esto reduce el número de aplicaciones en las que resulta rentable la utilización de accionamientos con velocidad variable.

De lo dicho anteriormente se deduce que para cada accionamiento con velocidad variable resulta fundamental llevar a cabo una evaluación económica realista del ahorro energético que asegure una adecuada tasa de retorno de la inversión. Para la realización del estudio son necesarios los siguientes datos de partida:

- Método de control de caudal con el que se compara el accionamiento con velocidad variable.

- Datos de la bomba o el ventilador.
 - Curva altura-caudal (H-Q) para cada uno de los diferentes líquidos (bombas) o gases (ventiladores) utilizados.
 - Curva de rendimiento-caudal (normalmente superpuesta a la H-Q).
- Datos del proceso.
 - Densidad de los productos.
 - Curva altura-caudal de resistencia de la instalación.
 - Ciclo de funcionamiento del proceso (niveles de caudal y duración).
- Rendimiento de todo el equipo eléctrico implicado, con suficiente grado de detalle para permitir un análisis del funcionamiento con cargas parciales.
 - Motores (velocidad constante y con acoplamiento con velocidad regulable (hidráulicos, de corrientes parásitas, etc.)).
 - Accionamientos de corriente alterna con velocidad variable.
 - Transformadores.
 - Trenes de engranajes.

Los métodos convencionales de regulación de caudal en sistemas de bombas, ventiladores y compresores se enumeran a continuación:

6. Válvula de estrangulamiento a la salida (bombas) o rejillas (ventiladores).
7. Recirculación (bombas) o flujo (ventiladores).
8. Acoplamiento con velocidad variable (embrague, corrientes parásitas, etc.).
9. Rejillas de control del flujo de entrada (ventiladores).
10. Motores de dos velocidades en combinación con cualquiera de los anteriores.

Los variadores de frecuencia presentarán ventajas desde el punto de vista energético con respecto a estas regulaciones clásicas.

A tener en cuenta.

- El consumo eléctrico puede ser minimizado dado que la capacidad de bombeo puede ser ajustada a la demanda instantánea.
- El uso de válvulas para reducir el caudal supone un importante desperdicio de energía.
- La eficiencia de la instalación mejora sustancialmente tras la instalación de motores de velocidad variable.
- La capacidad de instalaciones con múltiples bombas puede ser regulada mediante el accionamiento secuencial de las bombas de acuerdo a la demanda de agua de refrigeración existente.

2.6.2.6 Eliminar atascos en el sistema de tuberías.

Descripción: Es muy común incrementar la capacidad de bombeo de una instalación mediante la instalación de bombas adicionales.

En muchas ocasiones no se toman más medidas en la red. Si un sistema de distribución ha sido diseñado para ser alimentado con una bomba y más tarde se le conectan dos, tres, o más bombas, puede ser que no tenga capacidad suficiente y aumente mucho la pérdida de carga del sistema debido a la formación de cuellos de botella en los conductos.

Las pérdidas por fricción en un conducto es proporcional al (diámetro)⁻⁵. Como el efecto del diámetro es muy importante muchas veces es posible reducir las pérdidas de fricción en una red compleja mediante el cambio de conductos cortos que se encuentren infradimensionados.

A tener en cuenta.

- En muchas ocasiones se instalan bombas extras para aumentar el caudal.
- El caudal extra produce pérdidas en los conductos si éstos no son lo suficientemente grandes.
- Las acumulaciones de sólidos ser muy localizadas por lo que su eliminación es una importante medida de ahorro energético.

2.6.2.7 Realizar un seguimiento del funcionamiento de las bombas y reparar los daños de corrosión.

Descripción: Como medida de mantenimiento es muy importante realizar un seguimiento del funcionamiento de las bombas. De este modo se pueden detectar fallos en la instalación antes de que sean graves y conocer cuando

una bomba no trabaja bien, debido a un mal funcionamiento de alguna de sus partes, ya sea por desgaste o por alguna otra razón, pudiendo realizar el recambio de la misma.

A tener en cuenta.

- Las bombas son muy vulnerables a la erosión y la corrosión.
- Una bomba desgastada reduce muchísimo su rendimiento, gastando por tanto más energía de la necesaria.
- Un seguimiento de la presión, caudal y potencia consumida pueden revelar fallos en la instalación.
- Renovar bombas desgastadas tiene un periodo de retorno muy corto.

2.6.3 Bombeo de agua recogida de procesos.

En la siguiente tabla se exponen una lista de Medidas de Ahorro Energético referido al bombeo de agua recogida de procesos que muestra un estimado periodo de retorno, ahorro energético típico y el coste de inversión basado en recientes estudios.

MEDIDA	PERIODO DE RETORNO*	POT. AHORRO**	INVERSIÓN***
Mínimizar el consumo de agua y por tanto el excedente de agua	Inmediato	1	Ninguna
Solo estar en funcionamiento cuando sea necesario	Inmediato	2	Ninguna
Seleccionar la bomba con máxima eficiencia para las condiciones de operación.	Inmediato	3	Ninguna
Asegurarse de que los filtros están limpios	Inmediato	6	Ninguna
Operar las bombas adecuadamente	Corto	4	Baja
Instalar control de bombas (secuencia, variadores de velocidad)	Corta	5	Medio
Eliminar atascos en el sistema de tuberías	Corto	7	Baja
Reparar o reemplazar el material defectuoso.	Corto	8	Baja

*El periodo de retorno esta dado como Corto, Medio o Largo donde: Corto < 1 año, Medio de 1 a 3 años y Largo > 3 años.

**En el ahorro 1 representa la medida que ofrece mayor potencial de ahorro.

***La inversión está dispuesta en diferentes categorías que son: Baja < 3000€, Media entre 3000€ y 15000€ y Alta > 15000€.

Tabla 2.33. Medidas de Ahorro Energético en bombeo de Agua recogida de Procesos.

2.6.3.1 Minimizar el consumo de agua y por tanto el excedente de agua.

Descripción: Hay muchos procesos en la industria que requieren un suministro de agua. Muchas veces hay excedente, o simplemente en el propio proceso se tira agua (algún proceso de lavado), produciéndose unos efluentes que suelen ser recogidos en unos colectores. Cada cierto tiempo hay que eliminar esa agua, para lo que se utiliza un sistema de bombeo. Cuanto menor sea el agua utilizada, menor será la cantidad que hay que bombear.

Otro factor a tener en cuenta es el agua de lluvia. Después de prolongados periodos de lluvia, el agua de lluvia puede infiltrarse en el sistema de drenado de las tuberías. Muchas veces este sistema de drenaje está conectado con el sistema de efluentes, por lo que se aumenta el coste de bombeo de efluentes.

A tener en cuenta.

- La mejor manera de reducir la energía consumida en el bombeo es reducir la cantidad de efluente.
- La mejor manera de reducir el efluente es reducir el consumo de agua.
- Grandes reducciones de consumo de agua son generalmente posibles y los ahorros obtenidos suelen superar las expectativas.
- Asegurarse de que no se infiltran en el efluente ni agua de lluvia ni agua subterránea.

2.6.3.2 Solo estar en funcionamiento cuando sea necesario.

Descripción: El bombeo de efluentes es generalmente un sistema muy difícil de controlar. Normalmente el efluente se acumula en depósitos o sumideros y cuando se alcanza un determinado nivel, un sensor acciona la bomba de extracción. Cuando el nivel alcanza un determinado valor, otro control para la bomba. Si hay más de una bomba, el control debe estar preparado para que arranque la segunda bomba si la primera no consigue hacer descender el nivel de agua del depósito.

Si como resultado de un proceso de descarga se genera un efluente, el bombeo de efluente puede ser controlado por el mismo sistema que gobierna el proceso.

En efluentes que contengan fibras o algún material pegajoso, no son indicados sensores de nivel por flotador ya que tienen uniones mecánicas. Sistemas de ultrasonidos o de radar no tienen estos elementos mecánicos y son mucho más indicados en estas circunstancias.

A tener en cuenta.

- Las bombas de efluente están normalmente situadas en colectores y son accionadas mediante interruptores de nivel.
- Si el efluente es de una fuente controlada, como una instalación de lavado, las bombas deben de ser controladas conjuntamente con la instalación.

2.6.3.3 Seleccionar la bomba con máxima eficiencia para las condiciones de operación.

Descripción: Muchos diseñadores de bombas están muy “del lado de la seguridad” cuando especifican la potencia mínima de la bomba.

Las bombas son escogidas bajo ese criterio de modo que su máxima eficiencia está en es rango de trabajo. Pero en muchas ocasiones los diseñadores sobreestiman las pérdidas de carga del sistema por muchas razones, haciendo que la bomba que finalmente es elegida para una aplicación no sea la óptima su punto de funcionamiento se aleje de la zona de máxima rendimiento.

El consumo de energía de una bomba es proporcional al flujo generado. Un incremento del flujo del 10% supone un incremento de fricción en el sistema de distribución del 21% y por tanto un consumo de potencia extra del 33%.

Es mucho más fácil tomar una buena decisión, en cuanto a la elección de una bomba, si se dispone datos fiables. Caudalímetros instalados en las propias tuberías es la mejor opción para tener una buena medida del caudal. En las instalaciones antiguas las presiones a la salida y la entrada especificada de las bombas suele no ser demasiado fiables. Realizar unas nuevas medidas no es muy caro y pueden moverse los dispositivos de bomba a bomba.

Con unos conocimientos fiables de presión y caudal, se pueden realizar programas para eliminar presiones excesivas y el flujo puede ser conducido mucho más fiablemente.

En términos generales el caudal que proporciona una bomba es proporcional al cuadrado del diámetro del rotor.

La potencia desarrollada por una bomba también es proporcional al cuadrado del diámetro del rotor.

Usando la información anterior es posible tomar la curva característica de la bomba original y hacer la curva correspondiente a una bomba con un rotor un 10% menor.

Se debe tener mucho cuidado porque este método de cálculo solo ofrece un resultado aproximado y orientativo. Si se rectifica demasiado el rotor de una

bomba, ésta funciona muy mal. El rectificado del rotor solo tiene un buen resultado en un determinado rango y debe ser llevado a cabo por el fabricante de las bombas.

Si es necesario mantener la válvula de descarga de la bomba parcialmente cerrada permanentemente para prevenir la sobrecarga del motor, probablemente la bomba está sobredimensionada. El estrangulamiento de la válvula de descarga consume excesiva energía y también reduce la vida de la bomba y de la válvula.

Rectificando el rotor, sustituyéndolo por otro menor o por otra bomba completamente nueva más ajustada a las necesidades se elimina la necesidad de tener que estrangular la válvula de descarga.

De forma alternativa, cambiar la velocidad mediante variadores de frecuencia o los ajustes de bombas gobernadas con aire comprimido son métodos de reducir la velocidad de giro y eliminar la necesidad de estrangular la salida.

A tener en cuenta.

- Los diseñadores de circuitos tienden a sobreestimar las pérdidas en tuberías para calcular las bombas. Este error puede pasar desapercibido durante años consumiendo un exceso de energía.
- Una bomba que suministre un 10% más de caudal que el necesario consume un 33% más de energía.
- Los rodets de las bombas suelen ser rectificadas para disminuir el caudal.
- Si es necesario limitar la salida de la bomba, la bomba seguramente está sobredimensionada y es una gran candidata a que su rodete tenga que ser rectificado.

2.6.3.4 Asegurarse de que los filtros están limpios.

Descripción: Los filtros hacen que la limpieza de la instalación sea mas dificultosa y sólo deberían ser instalados en plantas alimenticias donde no hay otra alternativa. Deben ser fácilmente visibles y accesibles.

Los filtros de succión suelen encontrarse sumergidos y por lo tanto difíciles de ver. Si los filtros de succión están parcial o totalmente bloqueados restringen el caudal que llega a las bombas pero el funcionamiento intermitente de las bombas se puede compensar con un continuo funcionamiento durante largos periodos de tiempo y que por lo tanto el problema no sea detectado.

Además se incurre en un mayor gasto energético y se incurre en una reducción del NPSH disponible de la bomba.

Los problemas de cavitación causados por un inadecuado NPSH pueden reducir el rendimiento y aumentar el consumo energético. Ocasionalmente la cavitación de una bomba la puede destruir.

Una tarea muy importante es la revisión de los filtros. Incluso un filtro que no ha tenido problemas de bloqueos durante años puede bloquearse en cualquier momento causando la parada de la instalación. Un simple mecanismo para medir este ensuciamiento de los filtros es ver la caída de presión que tiene el fluido al atravesar el filtro. Si la caída de presión es grande, quiere decir que el filtro está bastante bloqueado. Si la diferencia es anormalmente pequeña puede ser una señal de que el filtro se encuentre agujereado.

El tamaño de la malla del filtro debe ser elegido con mucho cuidado según la aplicación. Cuanto más fina sea la malla mayor será la pérdida de carga que proporcione el filtro. Por eso se debe llegar a una solución de compromiso entre el tamaño de partículas que el filtro deja pasar y la pérdida de carga máxima que se puede admitir.

Si un filtro lleva en la misma posición durante años y nunca requiere ser limpiado, debe cuestionarse la necesidad de dicho filtro. Tener instalados más filtros de los necesarios no mejora el funcionamiento del sistema, en todo caso lo empeora porque las pérdidas de carga son mayores.

A tener en cuenta.

- La limpieza de los filtros puede ser descuidada durante años.
- A veces hay filtros de succión en las bombas que no se ven debido al nivel del líquido.
- Los filtros de succión no pueden ser siempre desechados porque la válvula de aspiración deje de devolver fluido.
- Todos los filtros necesitan revisiones periódicas.
- Todos los filtros tienen un nivel de presión diferencial que indiquen el fallo.
- El mallado del filtro debe de ser lo más fino posible pero teniendo en cuenta que no se formen bloqueos.
- Si un filtro nunca necesita ser limpiado los pros y contras de prescindir de él deben de ser considerados.
- Si un filtro necesita ser limpiado muy a menudo, un limpiador automático podría ser muy apropiado.

2.6.3.5 Operar las bombas adecuadamente.

Descripción: Normalmente, bombas relativamente pequeñas pueden ser controladas por un simple sensor de nivel pero si el caudal es grande, un sistema más sofisticado puede conseguir un ahorro mayor.

Una bomba que funciona generalmente a carga total generalmente usa un 25% de la energía que usaría una bomba del doble de capacidad que trabajase solo a media carga (teniendo solo en cuenta las pérdidas por fricción).

Si la variación de caudal es previsible se puede obtener un importante ahorro mediante la utilización de bombas de diferente capacidad, funcionando siempre la más apropiada para la carga conocida para cada periodo. En la práctica, lo más efectivo y más eficiente, económicamente hablando, es la instalación de variadores de frecuencia.

Si el efluente está siendo bombeado desde un sumidero, un detector de nivel ultrasónico es una opción mejor para controlar el bombeo y mantener el nivel en un valor constante que no el uso convencional de dos sensores de nivel mínimo y máximo

A tener en cuenta.

- Las bombas de efluente están normalmente situadas en colectores y son accionadas mediante interruptores de nivel.
- Si el efluente es de una fuente controlada, como una instalación de lavado, las bombas deben de ser instaladas conjuntamente con la instalación.
- Si hay varias bombas disponibles (p.ej: dos de servicio y una de repuesto) tener una funcionando normalmente y otra que arranque cuando un control de nivel indique que ha subido demasiado.
- Si los requerimientos de caudal son variables y pueden ser grandes, se debe considerar controlar las bombas manteniendo un nivel constante en los colectores mediante la utilización de sensores ultrasónicos y variadores de velocidad en los motores.

2.6.3.6 Instalar control de bombas (secuencia, variadores de velocidad).

Descripción: La mayor parte de las bombas, compresores y ventiladores en el campo industrial funcionan a velocidad constante. Esto obliga a ajustar la capacidad (caudal) de estos equipos aumentando artificialmente las pérdidas por fricción (resistencia) del sistema (instalación) por medio de algún dispositivo de estrangulamiento (diafragmas), que suele ser una válvula de ajuste o control, o las rejillas (persianas) de control de tiro. Este procedimiento lleva consigo que se produzcan unas pérdidas elevadas que suelen denominarse

pérdidas por estrangulamiento. Estas pérdidas pueden evitarse dejando los dispositivos de estrangulamiento completamente abiertos (o eliminándolos) y utilizando un accionamiento de corriente alterna (motor de inducción) con velocidad variable para ajustar la capacidad de funcionamiento.

En la siguiente figura se muestra, en su parte superior, la curva de capacidad (altura-caudal, o H-Q) de una bomba centrífuga que funciona a velocidad constante (la nominal del motor que la acciona, por ejemplo). Sobre esta misma curva se ha representado la característica H-Q resistente de la instalación con la válvula de estrangulamiento completamente abierta. Estas dos curvas se cortan en el punto A_1 , de funcionamiento nominal. En este punto, la bomba funciona a su velocidad nominal (Ω_N) y con su caudal máximo (Q_1). Una reducción del caudal (Q_2) requiere un nuevo punto de funcionamiento sobre la curva de capacidad (H-Q) de la bomba (A_2). Dado que la bomba funciona a velocidad constante (sólo tiene una curva H-Q), este nuevo punto de funcionamiento sólo puede obtenerse incrementando la resistencia de la conducción a la salida de la bomba (cierre parcial de la válvula de estrangulamiento y consiguientes pérdidas por fricción). Los puntos A_2 y A_3 muestran los puntos de intersección de la curva de capacidad de la bomba con las características H-Q resistentes resultantes, correspondientes a dos posiciones diferentes de la válvula de estrangulamiento.

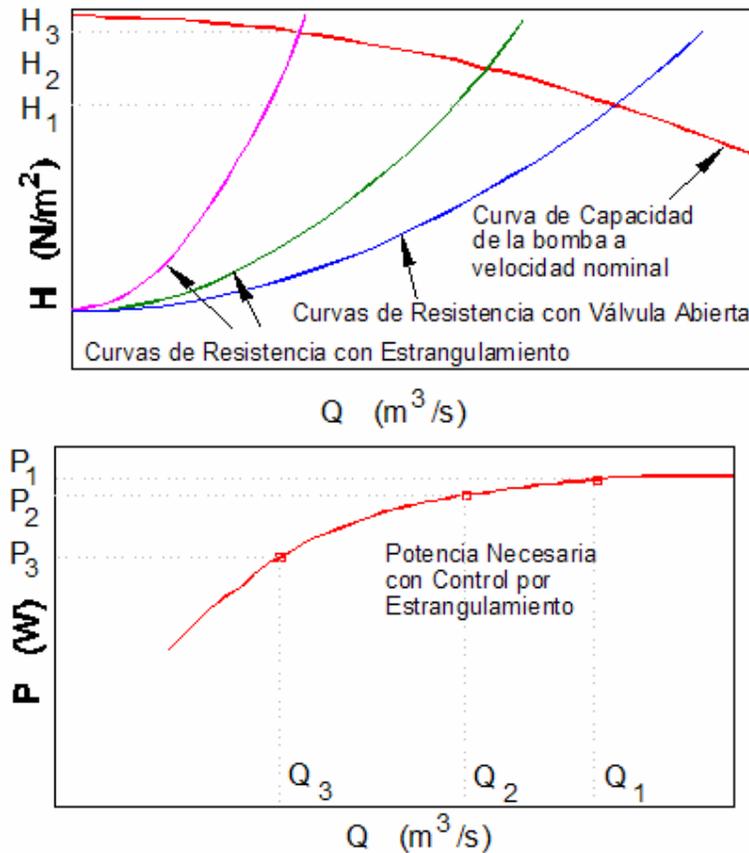


Fig. 2.112. Control de caudal por estrangulamiento de la válvula de salida (bomba velocidad constante).

La parte inferior de la Fig 2.112 muestra la potencia eléctrica absorbida por el motor de inducción que acciona la bomba en función del caudal.

La parte superior de la Fig. 2.113 muestra de nuevo la característica H-Q resistente de la instalación con la válvula completamente abierta. Sobre esta misma curva se ha superpuesto la curva de capacidad de la bomba funcionando a velocidad nominal. Estas dos curvas se cortan en el mismo punto A_1 del caso anterior (nominal). Como en el caso anterior, la bomba funciona a su velocidad nominal (Ω_N) y con su caudal máximo (Q_1). Ahora se acciona la bomba a velocidad variable. Ahora, para conseguir el caudal Q_2 se reduce la velocidad desde Ω_N hasta Ω_2 . Como puede verse, la curva de capacidad de la bomba para esta nueva velocidad interseca la característica H-Q resistente de la instalación (válvula completamente abierta) en el nuevo punto de funcionamiento (A_2).

La parte inferior de la Fig. 2.113 muestra la demanda de potencia eléctrica absorbida de la red con la bomba funcionando a velocidad constante y cuando se controla su velocidad de funcionamiento. La comparación de ambas curvas permite evaluar el ahorro energético que puede derivarse del accionamiento de la bomba a velocidad variable.

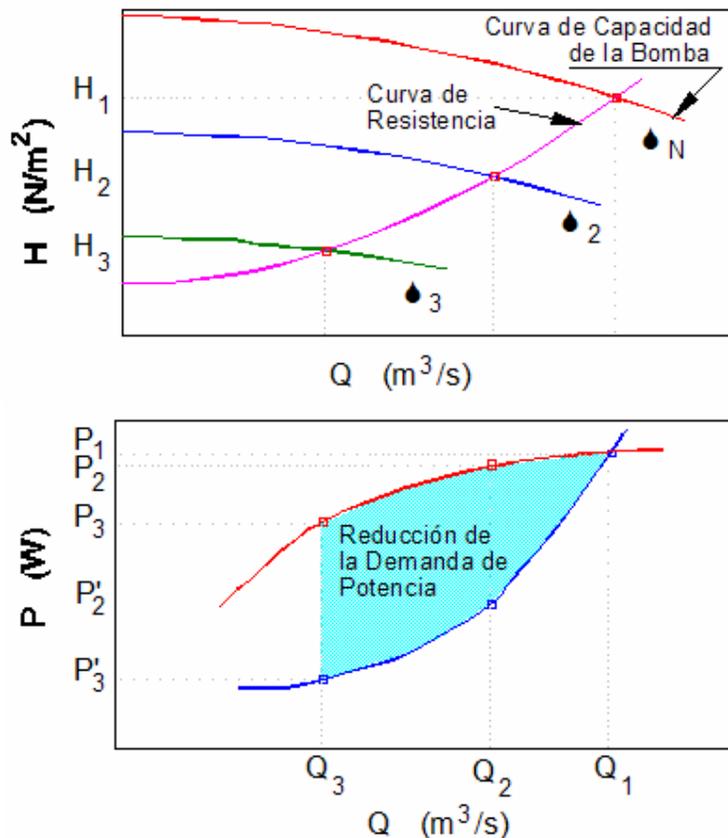


Fig. 2.113. Control de caudal por variación de la velocidad de funcionamiento de la bomba.

Las principales ventajas que se derivan de la utilización de motores de inducción con velocidad variable para el accionamiento de bombas, compresores, ventiladores y equipos similares son los siguientes:

- Reducción de los costes de explotación de la instalación debido al ahorro energético que se produce con este método en comparación con aquellos otros métodos que utilizan circuitos de recirculación o válvulas de estrangulamiento en bombas, y paletas (persianas) o rejillas de guía del flujo de admisión y diafragmas en ventiladores.
- El arranque suave que proporciona el propio equipo de control de velocidad elimina la circulación de las elevadas intensidades por la instalación y las consecuentes caídas de tensión en la red, que se producen como consecuencia del arranque directo. El arranque suave, además, reduce la fatiga mecánica del motor, del sistema mecánico de transmisión (acoplamientos, tren de engranajes, etc.) y de la máquina accionada.
- La protección que confiere el equipo de control de velocidad y la suavidad del arranque permite un número ilimitado de arranques sucesivos. La maniobra de arranque, además, se simplifica enormemente.
- El accionamiento no contribuye a las faltas en la instalación.
- Pueden conseguirse velocidades superiores a 3000 (3600) rev./min. sin multiplicador de engranajes, ya que el equipo de control puede generar tensiones de frecuencia superior a 50 (60) Hz.
- El rango permisible de caudal controlable suele ser superior al que puede conseguirse con otros métodos, que suelen exhibir problemas de vibración y calentamiento con niveles de flujo reducidos.
- El funcionamiento a velocidades más bajas reduce el desgaste de todos componentes de la instalación y reduce (o elimina) las necesidades de mantenimiento de dispositivos como válvulas de estrangulamiento y rejillas de admisión que, en otro caso suelen ser intensivas.

Aunque la relación precedente indica que existen muchas razones que hacen aconsejable la utilización de motores de inducción con velocidad variable para el accionamiento de bombas y ventiladores, la reducción de los costes de explotación asociada al ahorro energético suele el principal incentivo para su utilización.

Si bien es cierto que la sustitución de un sistema de velocidad constante por otro con velocidad variable conlleva un cierto ahorro energético y, en consecuencia, una reducción en los costes de explotación, la evaluación de

estas reducciones energéticas y de costes suele exigir un completo análisis de la instalación. Dado que los equipos de control de velocidad de los motores de inducción son componentes relativamente costosos, el grado de reducción de los costes de explotación derivados del ahorro energético, deben ser lo suficientemente alto como para compensar el elevado costo inicial de adquisición del equipo de control. Esto reduce el número de aplicaciones en las que resulta rentable la utilización de accionamientos con velocidad variable.

De lo dicho anteriormente se deduce que para cada accionamiento con velocidad variable resulta fundamental llevar a cabo una evaluación económica realista del ahorro energético que asegure una adecuada tasa de retorno de la inversión. Para la realización del estudio son necesarios los siguientes datos de partida:

- Método de control de caudal con el que se compara el accionamiento con velocidad variable.
- Datos de la bomba o el ventilador.
 - Curva altura-caudal (H-Q) para cada uno de los diferentes líquidos (bombas) o gases (ventiladores) utilizados.
 - Curva de rendimiento-caudal (normalmente superpuesta a la H-Q).
- Datos del proceso.
 - Densidad de los productos.
 - Curva altura-caudal de resistencia de la instalación.
 - Ciclo de funcionamiento del proceso (niveles de caudal y duración).
- Rendimiento de todo el equipo eléctrico implicado, con suficiente grado de detalle para permitir un análisis del funcionamiento con cargas parciales.
 - Motores (velocidad constante y con acoplamiento con velocidad regulable (hidráulicos, de corrientes parásitas, etc.)).
 - Accionamientos de corriente alterna con velocidad variable.
 - Transformadores.
 - Trenes de engranajes.

Los métodos convencionales de regulación de caudal en sistemas de bombas, ventiladores y compresores se enumeran a continuación:

11. Válvula de estrangulamiento a la salida (bombas) o rejillas (ventiladores).
12. Recirculación (bombas) o flujo (ventiladores).
13. Acoplamiento con velocidad variable (embrague, corrientes parásitas, etc.).
14. Rejillas de control del flujo de entrada (ventiladores).
15. Motores de dos velocidades en combinación con cualquiera de los anteriores.

Los variadores de frecuencia presentarán ventajas desde el punto de vista energético con respecto a estas regulaciones clásicas.

A tener en cuenta.

- Los variadores de velocidad permiten aumentar los rangos de caudales y de presiones consiguiendo un mejor rendimiento de las bombas.

2.6.3.7 Eliminar atascos en el sistema de tuberías.

Descripción: Es muy común incrementar la capacidad de bombeo de una instalación mediante la instalación de bombas adicionales.

En muchas ocasiones no se toman más medidas en la red. Si un sistema de distribución ha sido diseñado para ser alimentado con una bomba y más tarde se le conectan dos, tres, o más bombas, puede ser que no tenga capacidad suficiente y aumente mucho la pérdida de carga del sistema debido a la formación de cuellos de botella en los conductos.

Las pérdidas por fricción en un conducto es proporcional al (diámetro)⁻⁵. Como el efecto del diámetro es muy importante muchas veces es posible reducir las pérdidas de fricción en una red compleja mediante el cambio de conductos cortos que se encuentren infradimensionados.

A tener en cuenta.

- En muchas ocasiones se instalan bombas extras para aumentar el caudal.
- El caudal extra produce pérdidas en los conductos si éstos no son lo suficientemente grandes.

- Las acumulaciones de sólidos ser muy localizadas por lo que su eliminación es una importante medida de ahorro energético.

2.6.3.8 Reparar o reemplazar el material defectuoso.

Descripción: En algunas ocasiones es posible reparar bombas dañadas mediante la aplicación de una capa de material plástico. Este material plástico rellena las zonas más desgastadas y además reduce la fricción por ser un material más liso.

A pesar de que una capa de material plástico reduce la sección de paso de la bomba, como se disminuye la fricción, es posible que se mejore el funcionamiento con respecto a la bomba nueva.

Algunos recubrimientos de las bombas tienen una mejor respuesta a la abrasión, logrando con ello alargar la vida de las bombas.

A tener en cuenta.

- Bombas desgastadas producen menos caudal y consumen más energía.
- La mala operación de las bombas puede producir cavitación, lo que supone un desgaste prematuro del rodete.
- Cambiar bombas en mal estado tiene un periodo de retorno corto.
- La mayoría de las bombas pueden ser acondicionadas usando lubricantes que mejoren el rendimiento.

2.6.4 Bombas de agua de refrigeración.

En la siguiente tabla se exponen una lista de Medidas de Ahorro Energético referido al bombeo de agua de refrigeración que muestra un estimado periodo de retorno, ahorro energético típico y el coste de inversión basado en recientes estudios.

MEDIDA	PERIODO DE RETORNO*	POT. AHORRO**	INVERSIÓN***
Seleccionar la bomba con máxima eficiencia para las condiciones de operación.	Inmediato		Ninguna
Instalar varias bombas pequeñas en vez de un más grande.	Inmediato		Ninguna
Asegurarse de que el sistema esté en funcionamiento solo si es necesario	Inmediato		Ninguna
Desconectar del sistema los enfriadores que no se usen	Inmediato		Ninguna
Asegurarse de que los filtros estén limpios	Inmediato		Ninguna
Eliminar atascos en el sistema de tuberías.	Corto		Baja
Reparar o reemplazar el material defectuoso	Corto		Baja
Controlar el caudal de agua en cada punto de uso p. ej: en cada intercambiador	Corto		Baja
Operar las bombas eficientemente.	Corto		Baja
Instalar control de bombas (secuencia, variadores de velocidad).	Corto		Media

*El periodo de retorno esta dado como Corto, Medio o Largo donde: Corto < 1 año, Medio de 1 a 3 años y Largo > 3 años.

**En el ahorro 1 representa la medida que ofrece mayor potencial de ahorro.

***La inversión está dispuesta en diferentes categorías que son: Baja < 3000€, Media entre 3000€ y 15000€ y Alta > 15000€.

Tabla 2.34. Medidas de Ahorro Energético en bombeo de Agua de Refrigeración.

2.6.4.1 Seleccionar la bomba con máxima eficiencia para las condiciones de operación.

Descripción: Muchos diseñadores de bombas están muy “del lado de la seguridad” cuando especifican la potencia mínima de la bomba.

Las bombas son escogidas bajo ese criterio de modo que su máxima eficiencia está en es rango de trabajo. Pero en muchas ocasiones los diseñadores sobreestiman las pérdidas de carga del sistema por muchas razones, haciendo que la bomba que finalmente es elegida para una aplicación no sea la óptima su punto de funcionamiento se aleje de la zona de máxima rendimiento.

El consumo de energía de una bomba es proporcional al flujo generado. Un incremento del flujo del 10% supone un incremento de fricción en el sistema de distribución del 21% y por tanto un consumo de potencia extra del 33%.

Es mucho más fácil tomar una buena decisión, en cuanto a la elección de una bomba, si se dispone datos fiables. Caudalímetros instalados en las propias tuberías es la mejor opción para tener una buena medida del caudal. En las instalaciones antiguas las presiones a la salida y la entrada especificada de las bombas suele no ser demasiado fiables. Realizar unas nuevas medidas no es muy caro y pueden moverse los dispositivos de bomba a bomba.

Con unos conocimientos fiables de presión y caudal, se pueden realizar programas para eliminar presiones excesivas y el flujo puede ser conducido mucho más fiablemente.

En términos generales el caudal que proporciona una bomba es proporcional al cuadrado del diámetro del rotor.

La potencia desarrollada por una bomba también es proporcional al cuadrado del diámetro del rotor.

Usando la información anterior es posible tomar la curva característica de la bomba original y hacer la curva correspondiente a una bomba con un rotor un 10% menor.

Se debe tener mucho cuidado porque este método de cálculo solo ofrece un resultado aproximado y orientativo. Si se rectifica demasiado el rotor de una bomba, ésta funciona muy mal. El rectificado del rotor solo tiene un buen resultado en un determinado rango y debe ser llevado a cabo por el fabricante de las bombas.

Si es necesario mantener la válvula de descarga de la bomba parcialmente cerrada permanentemente para prevenir la sobrecarga del motor, probablemente la bomba está sobredimensionada. El estrangulamiento de la válvula de descarga consume excesiva energía y también reduce la vida de la bomba y de la válvula.

Rectificando el rotor, sustituyéndolo por otro menor o por otra bomba completamente nueva más ajustada a las necesidades se elimina la necesidad de tener que estrangular la válvula de descarga.

De forma alternativa, cambiar la velocidad mediante variadores de frecuencia o los ajustes de bombas gobernadas con aire comprimido son métodos de reducir la velocidad de giro y eliminar la necesidad de estrangular la salida.

A tener en cuenta.

- El rendimiento de una bomba decrece muy rápidamente a medida que las condiciones de operación se alejan de los caudales óptimos de trabajo.
- Las pérdidas de carga en conductos suelen ser sobredimensionadas de modo que las bombas suelen resultar sobredimensionadas de igual manera.
- Equipos portátiles de medida alquilados suelen ser utilizados para encontrar fallos en la instalación existente.
- No es de buen uso añadir márgenes de seguridad en las especificaciones de las bombas. Normalmente los diseñadores de procesos ya tienen en cuenta suficientes márgenes.
- Los rodetes de bombas sobredimensionadas son comúnmente rectificadas para dar el caudal adecuado.
- Si es necesario estrangular la descarga de alguna bomba, quiere decir que la bomba estará sobredimensionada y es candidata a sufrir un rectificado del rodete.

2.6.4.2 Instalar varias bombas pequeñas en vez de un más grande.

Descripción: El coste de inversión tiende a ser menor si los requerimientos de caudal son satisfechos con una bomba mayor en vez de varias de menor caudal. El beneficio es menor si la bomba permanece cierto tiempo en standby. Es más barato y tiene otros beneficios adicionales la instalación de tres bombas que cada una tenga el 50% de capacidad de la mayor (o 4 bombas al 33% o cinco al 25%) que dos bombas de una capacidad del 100% cada una.

Si el requerimiento de caudal varía según un patrón simple como es el caso del servicio del agua de refrigeración sería muy efectivo energéticamente instalar tres intercambiadores de placas, uno por cada bomba.

Para cada instalación debe tenerse una bomba de reserva y el número de bombas funcionando debe de corresponderse con el número de intercambiadores necesarios para obtener la refrigeración requerida.

Es importante que el sistema de distribución esté generosamente dimensionado o los requerimientos de presión variarán excesivamente de acuerdo con el número de bombas que estén en uso.

La otra alternativa a tener en cuenta es la instalación de un variador de frecuencia en una única bomba para obtener todos los rangos de caudal.

A tener en cuenta.

- Si el caudal es variable, un grupo de cinco bombas capaces de suministrar el 25% del máximo caudal cada una, podrían dar cobertura total y además quedar una de repuesto por si alguna falla.
- Cambiar el número de bombas en servicio es una eficiente forma de controlar el caudal del sistema.
- Si no es posible utilizar un sistema de múltiples bombas se debe considerar la instalación de variadores e velocidad.

2.6.4.3 Asegurarse de que esté en funcionamiento sólo si es necesario.

Descripción: Generalmente en la industria alimenticia, el sistema de refrigeración está en marcha el mismo tiempo que la planta está funcionando.

Con muchas plantas es necesario estar seguro al 100% que el sistema de refrigeración está funcionando bien antes de que el proceso de la planta entre en marcha y debe pararse después de que la fuente de calor deje de generar.

El miedo a olvidar volver a poner en marcha el sistema de refrigeración, y por tanto los importantes daños que como resultado se pueden tener, es una de las principales causas de por qué no se detiene el bombeo de refrigerante cuando esto no se requiere.

Interruptores y temporizadores para poner en marcha y desconectar el sistema de refrigeración cuando sea necesario puede reducir el riesgo de un daño accidental a la planta y el coste energético.

En la industria alimentaria es muy importante integrar el control del sistema de refrigeración al control general del proceso al que presta servicio.

A tener en cuenta.

- Mantener el sistema de refrigeración funcionando durante descansos incrementa la potencia de bombeo en un 12,5%.
- Si una avería de las bombas puede acarrear consecuencias serias, puede que los operarios sean reacios a desconectarlas en periodos cortos. Un sistema automático de desconexión sería lo apropiado.
- Interruptores automáticos para la conexión y desconexión de las bombas no suelen ser muy caros.
- El sistema de desconexión de bombas puede ser integrado en al sistema de control general de la planta.

2.6.4.4 Desconectar del sistema los enfriadores que no se usen.

Descripción: En los sistemas de refrigeración centralizada se distribuye el líquido refrigerante a través de toda la planta.

En ocasiones, mientras que un proceso se encuentra en standby el sistema de refrigeración sigue mandando refrigerante continuamente. Si se pueden aislar dichos elementos, el requerimiento total de caudal se puede reducir y proporcionalmente se reducen las pérdidas de fricción en la conducción principal.

Mantener en línea intercambiadores que no son utilizados es una manera importante de aumentar los costes energéticos.

Si se reduce a la mitad el caudal en un conducto mediante el aislamiento de unidades que no están en uso, se pueden reducir los requerimientos energéticos. Además, se reduce la energía usada por el sistema de refrigeración a la mitad.

Una torre de refrigeración disipa más calor si la entrada de agua se encuentra a mayor temperatura. Las torres están diseñadas para tener un buen rendimiento trabajando con un rango determinado de caudal, si el caudal es mucho mayor la efectividad decrece rápidamente.

Dejar pasar el agua por intercambiadores que no estén en uso aumentan el caudal de retorno a la torre y disminuye la temperatura de esta corriente, por lo que el rendimiento de la torre decrece y por tanto el consumo energético aumenta.

A tener en cuenta.

- Es común que se bombee agua a equipos suplentes.
- Aislar los equipos suplentes puede suponer un ahorro en energía de bombeo de un 50%. Además, se puede mejorar el funcionamiento de las torres de enfriamiento.
- Sistemas automáticos son necesarios para reestablecer el flujo en equipos suplentes cuando esto sea necesario.

2.6.4.5 Asegurarse de que los filtros estén limpios.

Descripción: Los filtros hacen que la limpieza de la instalación sea más dificultosa y sólo deberían ser instalados en plantas alimenticias donde no hay otra alternativa. Deben ser fácilmente visibles y accesibles.

Los filtros de succión suelen encontrarse sumergidos y por lo tanto difíciles de ver. Si los filtros de succión están parcial o totalmente bloqueados restringen el

caudal que llega a las bombas pero el funcionamiento intermitente de las bombas se puede compensar con un continuo funcionamiento durante largos periodos de tiempo y que por lo tanto el problema no sea detectado.

Además se incurre en un mayor gasto energético y se incurre en una reducción del NPSH disponible de la bomba.

Los problemas de cavitación causados por un inadecuado NPSH pueden reducir el rendimiento y aumentar el consumo energético. Ocasionalmente la cavitación de una bomba la puede destruir.

Una tarea muy importante es la revisión de los filtros. Incluso un filtro que no ha tenido problemas de bloqueos durante años puede bloquearse en cualquier momento causando la parada de la instalación. Un simple mecanismo para medir este ensuciamiento de los filtros es ver la caída de presión que tiene el fluido al atravesar el filtro. Si la caída de presión es grande, quiere decir que el filtro está bastante bloqueado. Si la diferencia es anormalmente pequeña puede ser una señal de que el filtro se encuentre agujereado.

El tamaño de la malla del filtro debe ser elegido con mucho cuidado según la aplicación. Cuanto más fina sea la malla mayor será la pérdida de carga que proporcione el filtro. Por eso se debe llegar a una solución de compromiso entre el tamaño de partículas que el filtro deja pasar y la pérdida de carga máxima que se puede admitir.

Si un filtro lleva en la misma posición durante años y nunca requiere ser limpiado, debe cuestionarse la necesidad de dicho filtro. Tener instalados más filtros de los necesarios no mejora el funcionamiento del sistema, en todo caso lo empeora porque las pérdidas de carga son mayores.

A tener en cuenta.

- La limpieza de los filtros puede ser descuidada durante años.
- A veces hay filtros de succión en las bombas que no se ven debido al nivel del líquido.
- Los filtros de succión no pueden ser siempre desechados porque la válvula de aspiración deje de devolver fluido.
- Todos los filtros necesitan revisiones periódicas.
- Todos los filtros tienen un nivel de presión diferencial que indiquen el fallo.
- El mallado del filtro debe de ser lo más fino posible pero teniendo en cuenta que no se formen bloqueos.

- Si un filtro nunca necesita ser limpiado los pros y contras de prescindir de él deben de ser considerados.
- Si un filtro necesita ser limpiado muy a menudo, un limpiador automático podría ser muy apropiado.

2.6.4.6 Eliminar atascos en el sistema de tuberías.

Descripción: Es muy común incrementar la capacidad de bombeo de una instalación mediante la instalación de bombas adicionales.

En muchas ocasiones no se toman más medidas en la red. Si un sistema de distribución ha sido diseñado para ser alimentado con una bomba y más tarde se le conectan dos, tres, o más bombas, puede ser que no tenga capacidad suficiente y aumente mucho la pérdida de carga del sistema debido a la formación de cuellos de botella en los conductos.

Las pérdidas por fricción en un conducto es proporcional al (diámetro)⁻⁵. Como el efecto del diámetro es muy importante muchas veces es posible reducir las pérdidas de fricción en una red compleja mediante el cambio de conductos cortos que se encuentren infradimensionados.

A tener en cuenta.

- En muchas ocasiones se instalan bombas extras para aumentar el caudal.
- El caudal extra produce pérdidas en los conductos si éstos no son lo suficientemente grandes.
- Las acumulaciones de sólidos ser muy localizadas por lo que su eliminación es una importante medida de ahorro energético.

2.6.4.7 Reparar o reemplazar el material defectuoso.

Descripción: En algunas ocasiones es posible reparar bombas dañadas mediante la aplicación de una capa de material plástico. Este material plástico rellena las zonas más desgastadas y además reduce la fricción por ser un material más liso.

A pesar de que una capa de material plástico reduce la sección de paso de la bomba, como se disminuye la fricción, es posible que se mejore el funcionamiento con respecto a la bomba nueva.

Algunos recubrimientos de las bombas tienen una mejor respuesta a la abrasión, logrando con ello alargar la vida de las bombas.

A tener en cuenta.

- Bombas desgastadas producen menos caudal y consumen más energía.
- La mala operación de las bombas puede producir cavitación, lo que supone un desgaste prematuro del rodete.
- Cambiar bombas en mal estado tiene un periodo de retorno corto.
- La mayoría de las bombas pueden ser acondicionadas usando lubricantes que mejoren el rendimiento.

2.6.4.8 Controlar el caudal de agua en cada punto de uso (p. ej. en cada intercambiador).

Descripción: Debido a prudencia de los diseñadores la diferencia de presión disponible en un intercambiador es normalmente mayor que la necesaria y el intercambiador está por tanto sobredimensionado y el requerimiento de disipación de calor de la planta es menor que el especificado.

Una simple válvula de estrangulamiento autocontrolada que mantenga la temperatura óptima del fluido puede cortar drásticamente el flujo y reducir el requerimiento de energía del grupo de bombeo.

El estrangulamiento no es la medida ideal pero puede ser útil. Las válvulas de estrangulamiento no disminuyen la caída de presión global en el intercambiador pero, reduciendo el caudal, el requerimiento energético de las bombas queda sustancialmente reducido.

A tener en cuenta.

- Muchos intercambiadores de calor reciben más refrigerante que la necesaria.
- Auto-actuadores termostáticos reducen el caudal en cada intercambiador al óptimo.
- Una reducción del bombeo en un 10% reduce la potencia de bombeo en un 33%.
- Las bombas que están muy alejadas del intercambiador al que prestan servicio, deben ser controladas con sensores de presión.

2.6.4.9 Operar las bombas eficientemente.

Descripción: Los métodos convencionales de regulación de caudal en sistemas de bombas, ventiladores y compresores se enumeran a continuación:

1. Válvula de estrangulamiento a la salida (bombas) o rejillas (ventiladores).
2. Recirculación (bombas) o flujo (ventiladores).
3. Acoplamiento con velocidad variable (embrague, corrientes parásitas, etc.).
4. Rejillas de control del flujo de entrada (ventiladores).
5. Motores de dos velocidades en combinación con cualquiera de los anteriores.

Los variadores de frecuencia presentarán ventajas desde el punto de vista energético con respecto a estas regulaciones clásicas. En los apartados sucesivos se presenta de una forma detallada el ahorro energético conseguido aplicando los variadores de velocidad con respecto a los métodos de estrangulamiento y de recirculación.

1) Método de estrangulamiento.

La característica altura-caudal (H-Q) resistente que presenta la instalación puede presentar, en general, dos componentes: estática y fricción. En el caso de una bomba, la componente estática se debe a la diferencia de altura entre el punto de admisión y el de descarga. La componente de fricción se debe a las pérdidas por fricción entre el fluido y la canalización. Una instalación de bombeo puede presentar casi cualquier combinación de estas dos componentes. La componente estática se mantiene constante e independiente del caudal requerido, mientras que la componente de fricción varía cuadráticamente con el caudal (aproximadamente). Esto hace que la altura (presión) requerida en condiciones de flujo reducido y, por tanto, la potencia requerida, puedan variar enormemente de un caso a otro, según sea la combinación de altura estática-fricción correspondiente.

Las Fig. 2.114 y 2.115 muestran dos posibles sistemas de bombeo en extremos opuestos del espectro altura estática-fricción, lo que hace que los potenciales de ahorro posibles sean muy diferentes de un caso a otro.

La Fig. 2.114 muestra un caso en el que no hay componente de altura estática. Se trata de una bomba en una tubería horizontal que une dos depósitos. Al estar toda la instalación al mismo nivel (altura), la presión (altura) en el punto de aspiración es la misma que en el punto de descarga. No hay, por tanto, componente de altura estática, por lo que la presión que debe desarrollar la bomba será la necesaria para superar las pérdidas por fricción entre el fluido y la canalización.

Como puede verse, en el caso representado en la Fig. 2.114, las curvas características H-Q resistentes (para cualquier posición de la válvula de

estrangulamiento) tienen todas ellas ordenadas en el origen nulas. La Fig. 2.114 también muestra que, en este caso, la altura (presión) requerida varía cuadráticamente con el caudal.

$$H_{FRIC} = k_H Q^2$$

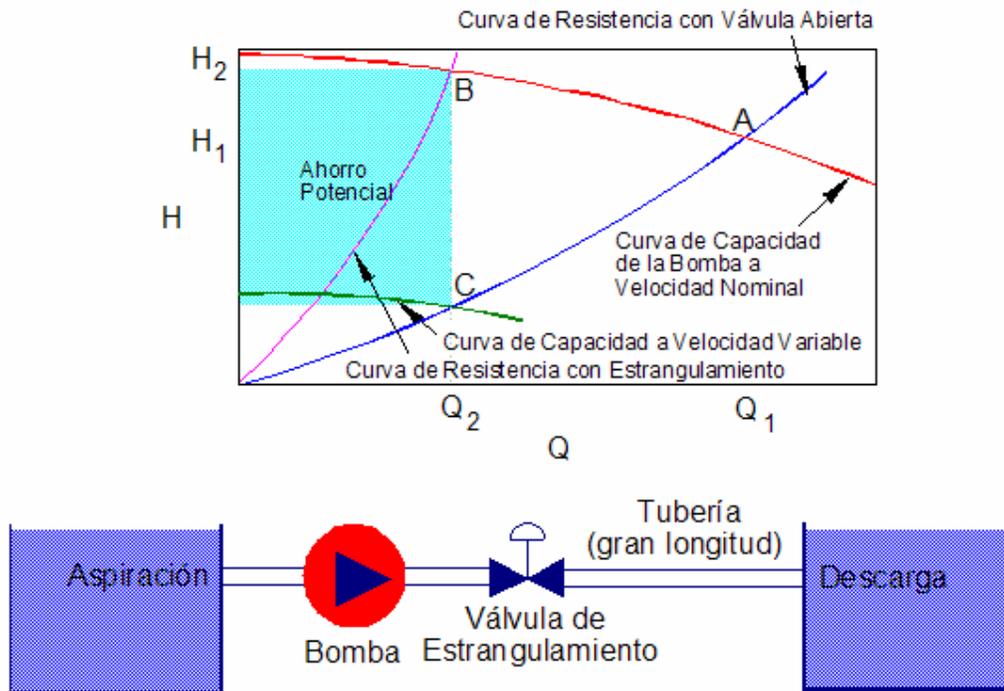


Fig. 2.114. Instalación de bombeo a nivel (curva de resistencia por fricción).

Esto hace que la potencia (mecánica e ideal) requerida por la bomba (producto de la altura por el caudal) varíe con el cubo del caudal.

$$P_{FRIC} = k_P Q^3$$

Para completar las ecuaciones básicas que relacionan la velocidad, el caudal, la altura y la potencia de una bomba, basta tener en cuenta que el caudal de una bomba es proporcional a su velocidad de giro:

$$Q = k_Q \Omega$$

El conjunto de estas tres ecuaciones recibe el nombre de leyes de proporcionalidad, semejanza o afinidad de bombas y ventiladores.

El punto A en el que se intersectan la característica H-Q de la bomba a velocidad nominal (constante) con la característica H-Q resistente con la válvula completamente abierta, define el punto de funcionamiento nominal del sistema, en el que el caudal es Q_1 .

La reducción del caudal hasta Q_2 puede conseguirse de dos formas diferentes:

- Manteniendo constante la velocidad de funcionamiento de la bomba y cerrando convenientemente la válvula de estrangulamiento (*B*).
- Manteniendo la válvula completamente abierta y controlando la velocidad de funcionamiento de la bomba (*C*).

Como puede verse, hay una importante reducción en la altura (presión) que debe desarrollar la bomba en el caso de funcionamiento a velocidad variable y válvula abierta (*C*), respecto del caso de funcionamiento a velocidad constante y estrangulamiento de la válvula (*B*). Además de la reducción de altura (presión), hay que tener en cuenta que el rendimiento de la bomba suele disminuir ligeramente con la reducción de la velocidad, mientras que la reducción del rendimiento debida al progresivo estrangulamiento suele ser mucho más importante. Por tanto, en el caso de funcionamiento de la bomba a velocidad constante, el estrangulamiento de la válvula produce sólo una ligera reducción de la potencia (mecánica, ideal) demandada por el motor que acciona la bomba, mientras que accionamiento de la bomba con velocidad variable produce una reducción de la potencia que varía de forma cúbica con el caudal.

La Fig. 2.115 muestra el otro extremo del espectro. Corresponde a una instalación de bombeo que, mediante una tubería de escasa longitud, permite trasegar un fluido de un depósito a otro que está a una cota más elevada. La escasa longitud de la conducción hace que las pérdidas por fricción sean (prácticamente) nulas, mientras que la diferencia de cota entre el punto de aspiración y la parte superior del fluido en el depósito superior es la altura (presión) estática que debe vencer la bomba. Como puede verse, la altura (presión) que debe desarrollar la bomba en este caso es independiente del caudal que se demande (mientras no varíe el nivel del depósito superior). Esto hace que la característica H-Q resistente del sistema sea horizontal.

El punto *A* en el que se intersectan la característica H-Q de la bomba a velocidad nominal (constante) con la característica H-Q resistente con la válvula completamente abierta, define el punto de funcionamiento nominal del sistema, en el que el caudal es Q_1 .

La Fig. 2.115 también permite ver que, en este caso, una reducción del caudal hasta Q_2 produce una reducción en la altura (presión) que debe desarrollar la bomba en el caso de funcionamiento a velocidad variable y válvula abierta (*C*), respecto del caso de funcionamiento a velocidad constante y estrangulamiento de la válvula (*B*). Pero esta reducción ya no es tan importante como en el caso de la Fig. 2.114.

En un caso como el de la Fig. 2.115 podría llegar a suceder que las pérdidas asociadas al funcionamiento del convertidor electrónico del accionamiento

igualaran o, incluso, superaran a la reducción conseguida en el proceso al variar la velocidad de funcionamiento de la bomba.

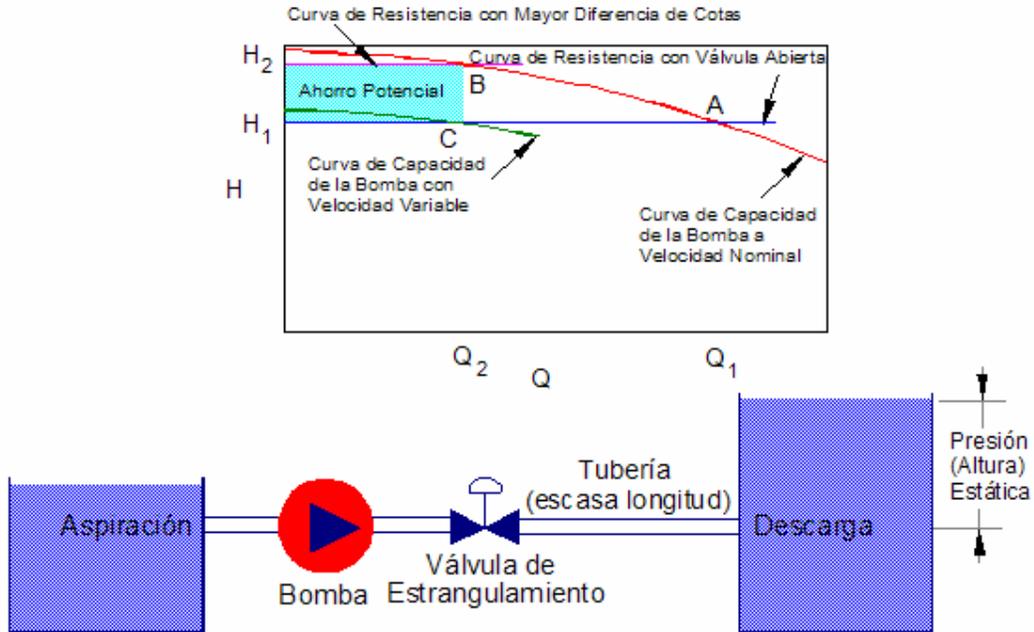


Fig. 2.115. Instalación de bombeo con desnivel.

En la mayor parte de los sistemas industriales la bomba tiene que impulsar el caudal a una cierta altura estática y vencer una cierta resistencia por fricción, como se muestra en la Fig. 2.116, siendo la característica H-Q resultante una mezcla de características de los dos casos extremos de las figuras 2.114 y 2.115.

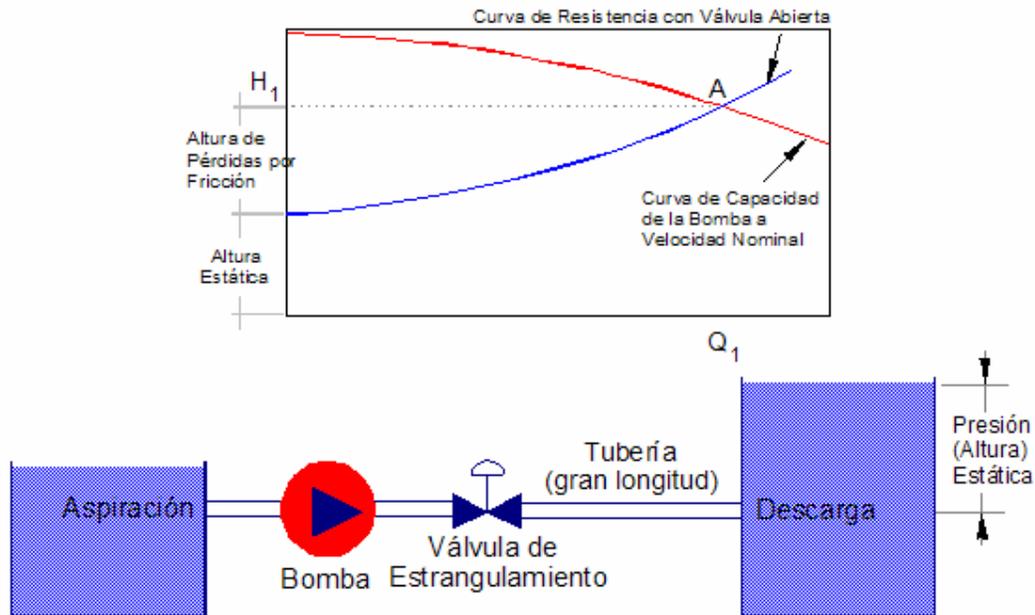


Fig. 2.116. Instalación de bombeo con curva resistente por fricción y desnivel.

El caso de la Fig. anterior corresponde a una instalación de bombeo que, mediante una tubería de cierta longitud, permite trasegar un fluido de un depósito a otro que está a una cota superior. La diferencia de cota entre el punto de aspiración y la parte superior del fluido en el depósito superior es la altura (presión) estática que debe vencer la bomba, mientras que la longitud de la conducción hace que la bomba también deba vencer las pérdidas por fricción correspondientes. La ordenada en el origen (que no es nula) corresponde a la altura estática. El resto corresponde a la resistencia por fricción entre el fluido y la conducción.

2) Recirculación de caudal.

Ciertas instalaciones con ventiladores presentan la peculiaridad de que el proceso es capaz de aceptar siempre el flujo nominal, aunque realmente no sea necesario. El exceso de flujo suministrado por encima de las necesidades del proceso supone una pérdida de energía evitable.

Un ejemplo de este tipo de aplicaciones podría ser una torre de refrigeración con un ventilador funcionando a velocidad constante. El ventilador suministra siempre su flujo de aire nominal aunque, para unas determinadas condiciones de temperatura ambiente, fuera suficiente con una fracción de ese flujo para conseguir la refrigeración deseada.

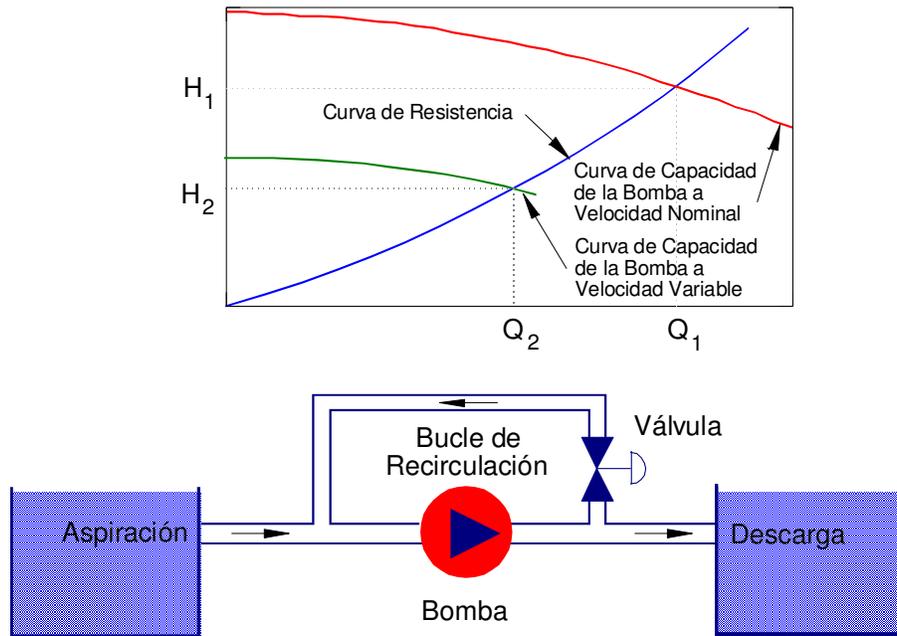


Fig.2.117. Recirculación en una instalación con resistencia por fricción.

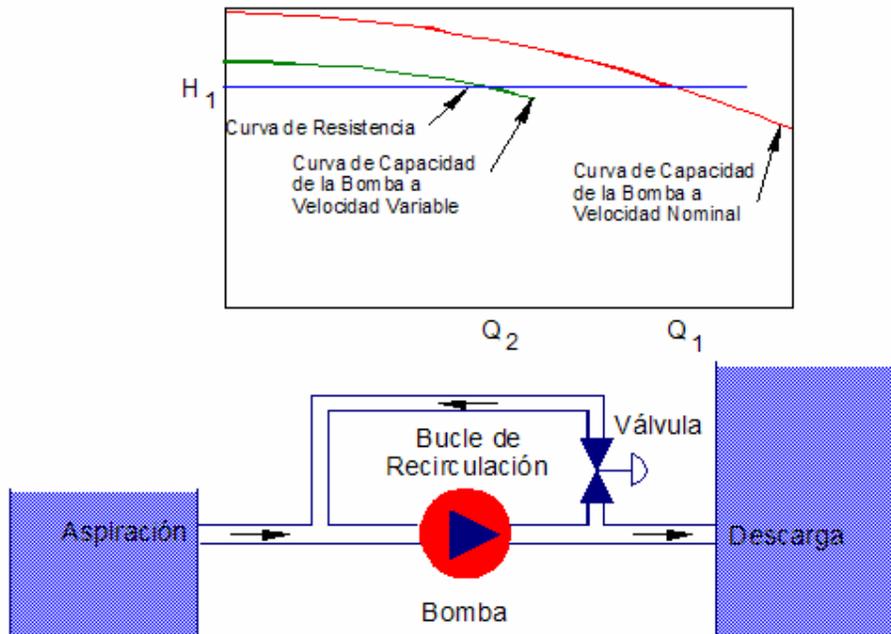


Fig. 2.118. Recirculación en una instalación con resistencia por bombeo.

En instalaciones de bombeo se presentan casos similares cuando se utiliza una tubería de recirculación para volver a conducir a la entrada de la bomba el exceso de caudal no requerido por el proceso. Las figuras 2.117 (fricción) y 2.118 (bombeo) ilustran estos casos. Dado que la bomba funciona continuamente con caudal nominal, con independencia de las necesidades reales del proceso, de nuevo se produce una pérdida de energía evitable. La presión (altura) producida por la bomba se reduce hasta el valor requerido por el proceso, pero en los puntos de funcionamiento resultantes indicados en las figuras 2.117 y 2.118, el rendimiento de la bomba será menor.

Si el proceso requiere presión constante, su característica H-Q de funcionamiento se hará plana (como si fuera un bombeo puro, aunque realmente la curva de resistencia sea debida a la fricción). En este tipo de sistemas, ilustrados en la Fig. 2.118, la bomba funciona siempre con caudal y altura (presión) nominales, con independencia del caudal que realmente demande el proceso, esto permite un sustancial ahorro de energía accionando la bomba a velocidad variable.

3) Variación de la curva H-Q de una bomba con la velocidad.

La utilización de un accionamiento con velocidad variable permite que la bomba exhiba toda una familia de curvas H-Q. Esto hace que controlando la velocidad de la bomba, ésta siempre pueda desarrollar exactamente la altura (presión) requerida por el sistema, para cualquier caudal que se especifique. Conforme se va reduciendo la velocidad de funcionamiento, la característica de la bomba se va desplazando hacia abajo en el plano Q-H, de acuerdo a las leyes de proporcionalidad.

Conocida la característica H-Q de la bomba cuando funciona a velocidad nominal, es posible obtener la curva correspondiente a cualquier otra velocidad de funcionamiento inferior. Para ello basta tener en cuenta las citadas relaciones de proporcionalidad. Por ejemplo, sea $A(Q_1, H_1)$ un punto de la curva altura-caudal de la bomba, cuando ésta funciona a velocidad nominal (Ω_1). Cuando la bomba funcione a una velocidad Ω_2 , el punto A se transforma en otro $B(Q_2, H_2)$, en el que el caudal y la altura correspondientes son:

$$Q_2(\Omega_2) = Q_1(\Omega_1) \frac{\Omega_2}{\Omega_1}$$

$$H(Q_2, \Omega_2) = H(Q_1, \Omega_1) \left(\frac{\Omega_2}{\Omega_1} \right)^2$$

De esta forma, conocida la característica H-Q de la bomba funcionando a velocidad nominal, puede trasladarse a cualquier otra velocidad que interese.

La Fig. 2.119 muestra las curvas de capacidad de una bomba para diferentes velocidades de funcionamiento posibles. Sobre estas curvas se ha representado la curva límite de funcionamiento de la bomba (vibraciones,

calentamiento, etc.). También se ha representado una curva límite de funcionamiento real, con un coeficiente de seguridad del 10 % (aproximadamente) (desplazada un 10 %). La intersección de la curva de capacidad de la bomba con velocidad nominal con la característica resistente de la instalación (caudal nominal (máximo)) y con la curva que señala el límite de funcionamiento real de la bomba (caudal mínimo), definen el rango de caudales obtenibles por estrangulamiento.

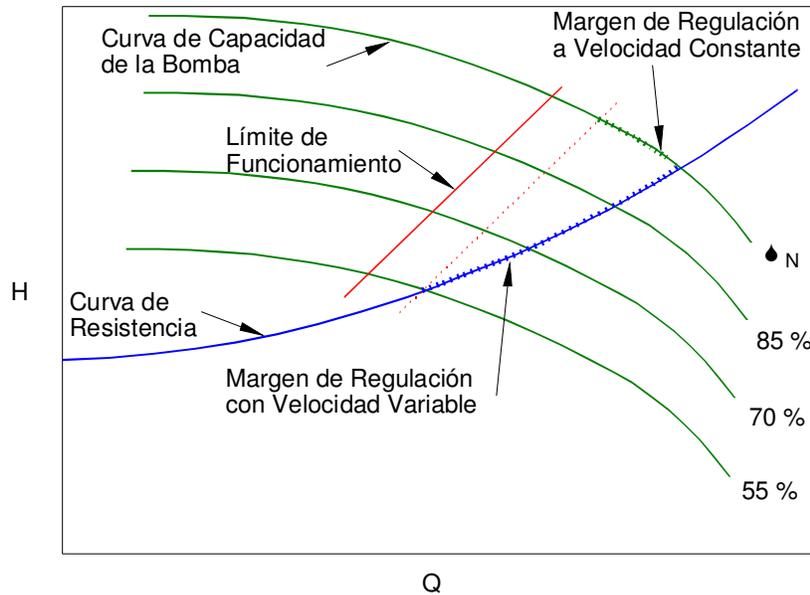


Fig. 2.119. Rango de variación del caudal.

En esta figura también puede verse que el caudal mínimo posible con velocidad variable viene determinado por la intersección de la característica resistente de la instalación con la curva real de límite de funcionamiento (punto que también define la menor velocidad de funcionamiento posible). Es fácil ver que este punto siempre va a corresponder a un caudal inferior al que puede obtenerse por estrangulamiento. Por tanto, el control de velocidad permite un mayor rango de variación del caudal.

A tener en cuenta.

- Dos bombas funcionando durante media hora consumen mucha más potencia que una sola funcionando durante una hora.
- Un estrangulamiento de la salida es más eficiente que una recirculación del fluido.
- Las bombas pueden ser conectadas y desconectadas automáticamente ya sea por temperatura, tiempo, nivel, presión o la demanda del sistema. El accionamiento manual suele ser mucho menos eficiente.

2.6.4.10 Instalar control de bombas (secuencia, variadores de velocidad).

Descripción: La mayor parte de las bombas, compresores y ventiladores en el campo industrial funcionan a velocidad constante. Esto obliga a ajustar la capacidad (caudal) de estos equipos aumentando artificialmente las pérdidas por fricción (resistencia) del sistema (instalación) por medio de algún dispositivo de estrangulamiento (diafragmas), que suele ser una válvula de ajuste o control, o las rejillas (persianas) de control de tiro. Este procedimiento lleva consigo que se produzcan unas pérdidas elevadas que suelen denominarse pérdidas por estrangulamiento. Estas pérdidas pueden evitarse dejando los dispositivos de estrangulamiento completamente abiertos (o eliminándolos) y utilizando un accionamiento de corriente alterna (motor de inducción) con velocidad variable para ajustar la capacidad de funcionamiento.

En la siguiente figura se muestra, en su parte superior, la curva de capacidad (altura-caudal, o H-Q) de una bomba centrífuga que funciona a velocidad constante (la nominal del motor que la acciona, por ejemplo). Sobre esta misma curva se ha representado la característica H-Q resistente de la instalación con la válvula de estrangulamiento completamente abierta. Estas dos curvas se cortan en el punto A_1 , de funcionamiento nominal. En este punto, la bomba funciona a su velocidad nominal (Ω_N) y con su caudal máximo (Q_1). Una reducción del caudal (Q_2) requiere un nuevo punto de funcionamiento sobre la curva de capacidad (H-Q) de la bomba (A_2). Dado que la bomba funciona a velocidad constante (sólo tiene una curva H-Q), este nuevo punto de funcionamiento sólo puede obtenerse incrementando la resistencia de la conducción a la salida de la bomba (cierre parcial de la válvula de estrangulamiento y consiguientes pérdidas por fricción). Los puntos A_2 y A_3 muestran los puntos de intersección de la curva de capacidad de la bomba con las características H-Q resistentes resultantes, correspondientes a dos posiciones diferentes de la válvula de estrangulamiento.

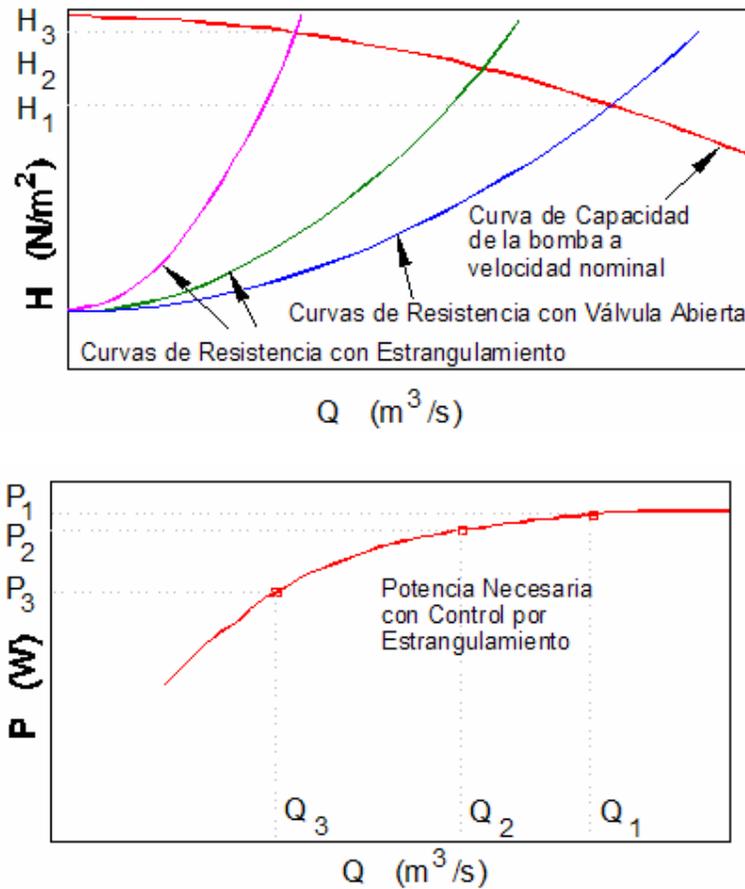


Fig. 2.120. Control de caudal por estrangulamiento de la válvula de salida (bomba velocidad constante).

La parte inferior de la Fig 2.120 muestra la potencia eléctrica absorbida por el motor de inducción que acciona la bomba en función del caudal.

La parte superior de la Fig. 2.121 muestra de nuevo la característica H-Q resistente de la instalación con la válvula completamente abierta. Sobre esta misma curva se ha superpuesto la curva de capacidad de la bomba funcionando a velocidad nominal. Estas dos curvas se cortan en el mismo punto A_1 del caso anterior (nominal). Como en el caso anterior, la bomba funciona a su velocidad nominal (Ω_N) y con su caudal máximo (Q_1). Ahora se acciona la bomba a velocidad variable. Ahora, para conseguir el caudal Q_2 se reduce la velocidad desde Ω_N hasta Ω_2 . Como puede verse, la curva de capacidad de la bomba para esta nueva velocidad interseca la característica H-Q resistente de la instalación (válvula completamente abierta) en el nuevo punto de funcionamiento (A_2).

La parte inferior de la Fig. 2.121 muestra la demanda de potencia eléctrica absorbida de la red con la bomba funcionando a velocidad constante y cuando se controla su velocidad de funcionamiento. La comparación de ambas curvas

permite evaluar el ahorro energético que puede derivarse del accionamiento de la bomba a velocidad variable.

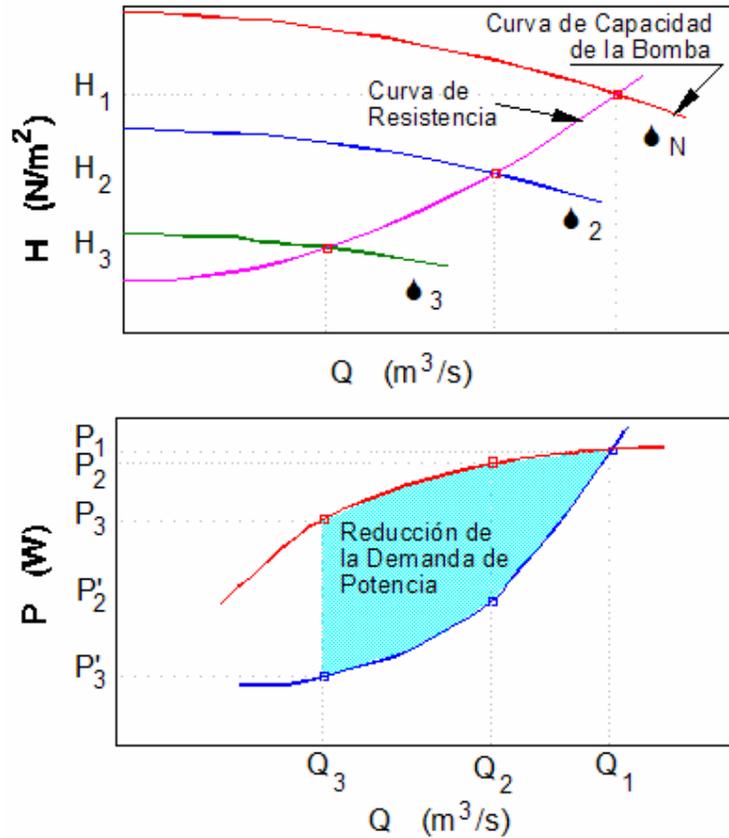


Fig. 2.121. Control de caudal por variación de la velocidad de funcionamiento de la bomba.

Las principales ventajas que se derivan de la utilización de motores de inducción con velocidad variable para el accionamiento de bombas, compresores, ventiladores y equipos similares son los siguientes:

- Reducción de los costes de explotación de la instalación debido al ahorro energético que se produce con este método en comparación con aquellos otros métodos que utilizan circuitos de recirculación o válvulas de estrangulamiento en bombas, y paletas (persianas) o rejillas de guía del flujo de admisión y diafragmas en ventiladores.
- El arranque suave que proporciona el propio equipo de control de velocidad elimina la circulación de las elevadas intensidades por la instalación y las consecuentes caídas de tensión en la red, que se producen como consecuencia del arranque directo. El arranque suave, además, reduce la fatiga mecánica del motor, del sistema mecánico de transmisión (acoplamientos, tren de engranajes, etc.) y de la máquina accionada.

- La protección que confiere el equipo de control de velocidad y la suavidad del arranque permite un número ilimitado de arranques sucesivos. La maniobra de arranque, además, se simplifica enormemente.
- El accionamiento no contribuye a las faltas en la instalación.
- Pueden conseguirse velocidades superiores a 3000 (3600) rev./min. sin multiplicador de engranajes, ya que el equipo de control puede generar tensiones de frecuencia superior a 50 (60) Hz.
- El rango permisible de caudal controlable suele ser superior al que puede conseguirse con otros métodos, que suelen exhibir problemas de vibración y calentamiento con niveles de flujo reducidos.
- El funcionamiento a velocidades más bajas reduce el desgaste de todos componentes de la instalación y reduce (o elimina) las necesidades de mantenimiento de dispositivos como válvulas de estrangulamiento y rejillas de admisión que, en otro caso suelen ser intensivas.

Aunque la relación precedente indica que existen muchas razones que hacen aconsejable la utilización de motores de inducción con velocidad variable para el accionamiento de bombas y ventiladores, la reducción de los costes de explotación asociada al ahorro energético suele el principal incentivo para su utilización.

Si bien es cierto que la sustitución de un sistema de velocidad constante por otro con velocidad variable conlleva un cierto ahorro energético y, en consecuencia, una reducción en los costes de explotación, la evaluación de estas reducciones energéticas y de costes suele exigir un completo análisis de la instalación. Dado que los equipos de control de velocidad de los motores de inducción son componentes relativamente costosos, el grado de reducción de los costes de explotación derivados del ahorro energético, deben ser lo suficientemente alto como para compensar el elevado costo inicial de adquisición del equipo de control. Esto reduce el número de aplicaciones en las que resulta rentable la utilización de accionamientos con velocidad variable.

De lo dicho anteriormente se deduce que para cada accionamiento con velocidad variable resulta fundamental llevar a cabo una evaluación económica realista del ahorro energético que asegure una adecuada tasa de retorno de la inversión. Para la realización del estudio son necesarios los siguientes datos de partida:

- Método de control de caudal con el que se compara el accionamiento con velocidad variable.

- Datos de la bomba o el ventilador.
 - Curva altura-caudal (H-Q) para cada uno de los diferentes líquidos (bombas) o gases (ventiladores) utilizados.
 - Curva de rendimiento-caudal (normalmente superpuesta a la H-Q).
- Datos del proceso.
 - Densidad de los productos.
 - Curva altura-caudal de resistencia de la instalación.
 - Ciclo de funcionamiento del proceso (niveles de caudal y duración).
- Rendimiento de todo el equipo eléctrico implicado, con suficiente grado de detalle para permitir un análisis del funcionamiento con cargas parciales.
 - Motores (velocidad constante y con acoplamiento con velocidad regulable (hidráulicos, de corrientes parásitas, etc.)).
 - Accionamientos de corriente alterna con velocidad variable.
 - Transformadores.
 - Trenes de engranajes.

Los métodos convencionales de regulación de caudal en sistemas de bombas, ventiladores y compresores se enumeran a continuación:

1. Válvula de estrangulamiento a la salida (bombas) o rejillas (ventiladores).
2. Recirculación (bombas) o flujo (ventiladores).
3. Acoplamiento con velocidad variable (embrague, corrientes parásitas, etc.).
4. Rejillas de control del flujo de entrada (ventiladores).
5. Motores de dos velocidades en combinación con cualquiera de los anteriores.

Los variadores de frecuencia presentarán ventajas desde el punto de vista energético con respecto a estas regulaciones clásicas.

A tener en cuenta.

- Los variadores de velocidad permiten aumentar los rangos de caudales y de presiones consiguiendo un mejor rendimiento de las bombas.

2.7 Refrigeración.**2.7.1 Proceso de enfriamiento usando un refrigerante secundario (agua fría).**

En la siguiente tabla se exponen una lista de Medidas de Ahorro Energético referido al proceso de enfriamiento con un refrigerante secundario que muestra un estimado periodo de retorno, ahorro energético típico y el coste de inversión basado en recientes estudios.

MEDIDA	PERIODO DE RETORNO*	POT. AHORRO**	INVERSIÓN***
Optimizar condensadores	Corto	2	Baja
Mantener condensadores y evaporadores limpios	Corto	3	Baja
Optimizar la temperatura del refrigerante secundario	Corto	4	Baja
Reducir la absorción de calor del refrigerante secundario	Corto	5	Media
Estar seguro de que hay suficiente refrigerante primario.	Corto	7	Baja
Aislar el evaporador y la línea de succión	Corto	9	Media
Usar "frío gratuito" cuando sea posible.	Medio	1	Media
Optimizar el caudal en el circuito de distribución.	Medio	6	Medio
Asegurarse de que los compresores están correctamente operados	Medio	8	Alto

*El periodo de retorno esta dado como Corto, Medio o Largo donde: Corto < 1 año, Medio de 1 a 3 años y Largo > 3 años.

**En el ahorro 1 representa la medida que ofrece mayor potencial de ahorro.

***La inversión está dispuesta en diferentes categorías que son: Baja < 3000€, Media entre 3000€ y 15000€ y Alta > 15000€.

Tabla 2.35. Medidas de Ahorro Energético en el proceso de enfriamiento con un refrigerante secundario.

2.7.1.1 Optimizar condensadores.

Descripción: Se pretende con esta medida reducir el trabajo del compresor ya que disminuye la presión de condensación con la que trabaja el ciclo frigorífico. Según el ciclo teórico de Carnot el COP del ciclo aumenta al disminuir la temperatura de condensación.

Aún siendo un ciclo teórico, el resultado se puede extrapolar a los ciclo reales. Como consecuencia se tiene menor consumo energético del compresor, aunque existen otros beneficios, como son una temperatura de descarga menor y aumento de la vida del compresor al trabajar en condiciones menos extremas.

Se tienen varias líneas de acción para disminuir la temperatura de condensación:

La primera consiste en el cambio de la tipología del condensador. Diferentes tipos de condensadores para un mismo emplazamiento dan temperaturas de condensación diferentes, bien sea por el fluido refrigerante utilizado o por el mecanismo de transferencia.

Por otro lado el sistema de condensación debe estar diseñado para poder evacuar todo el calor en las condiciones de máxima carga y cuando las condiciones climatológicas exteriores son más desfavorables. Esto provoca que la mayor parte del tiempo de funcionamiento de la instalación, el sistema esté sobredimensionado. Los sistemas normalmente utilizan un control fijo de la presión de condensación elevado, que se ajusta a las condiciones más desfavorables del año. Se trata entonces de eliminar el control por presión de alta y permitir que la condensación fluctúe con las condiciones ambientes.

La última línea de trabajo consiste en un pre-enfriamiento evaporativo del aire de refrigeración del condensador, reduciendo así la temperatura de entrada del fluido refrigerante.

a) Sustitución del tipo de condensador.

Dependiendo del fluido refrigerante que se utilice, aire o agua, se conseguirán una temperatura de condensación u otra, ya que ésta está completamente influenciada por el ambiente exterior con que se condense. Por tanto el ahorro corresponde a las condiciones límites con que pueden operar cada uno de los diferentes equipos. Se tienen varias opciones:

- *Condensador de Aire:* La temperatura de condensación en este caso depende de la temperatura seca del aire exterior de la localidad. Es donde se alcanzan las mayores temperaturas de condensación, debido a la escasa capacidad del aire para extraer calor en comparación con el agua, por lo que, para no tener un condensador de grandes dimensiones, la diferencia de temperaturas entre refrigerante y aire es elevada. Valores normales son de unos 10 °C. Por tanto se tiene:

$$T_{cond} = T_{sec\ aire} + DT_{aire}$$

Siendo DT_{aire} la diferencia de temperatura entre el aire a la salida del condensador, T_{cond} la temperatura de condensación y $T_{secaaire}$ la temperatura de entrada del aire al condensador.

- *Condensadores de agua:* Se usa agua como refrigerante del ciclo. Dependiendo de la temperatura de retorno del agua se tendrá una temperatura de condensación. Además la capacidad de absorber calor del agua es mayor que la del aire, con lo que se trabaja con menores incrementos de temperatura. La diferencia de temperaturas entre el refrigerante y el agua a la salida del condensador (DT_{agua}) se encuentra por regla general alrededor de los 5 °C.

$$T_{cond} = T_{agua} + DT_{agua}$$

El agua se puede enfriar en una torre de refrigeración, que es el procedimiento más habitual. El límite está en la temperatura de bulbo húmedo de la localidad que es menor que la temperatura seca del aire, con lo que se obtienen temperaturas de condensación más bajas. La temperatura con la que sale el agua de la torre dependerá de la cercanía y el rango con que trabaje la torre. El rango es la diferencia de temperatura del agua entre la entrada y la salida de la torre. La cercanía es la diferencia de temperatura entre la salida del agua de la torre y la temperatura de bulbo húmedo del aire ambiente. Cuanto menor es la cercanía más grande es la torre.

- *Condensador evaporativo:* Es mejor que utilizar agua de una torre de refrigeración, porque puede operar con menor temperatura, la de bulbo húmedo de la localidad más el salto de temperatura que se le quiera dar. Con una torre, aparte del salto de la torre, el agua se devuelve al condensador que funcionará con una diferencia de temperatura entre refrigerante y agua determinada, y con el evaporativo sólo se da el salto de un equipo. La diferencia de temperatura suele ser de unos 10 °C, pero con respecto a la temperatura de bulbo húmedo.

$$T_{cond} = T_{bh} + DT_{evaporativo}$$

TIPO CONDENSADOR	T ° DE CONDENSACIÓN TÍPICAS
CONDENSADOR DE AIRE	<p>Refrigerante 45 °C Tcond 5 °C aumento de T 5 °C DT 30 °C T seca del aire</p>
CONDENSADOR EVAPORATIVO	<p>38 °C Tcond Aire húmedo 12 °C DT 26 °C Tbh</p>
CONDENSADOR DE AGUA (agua bruta)	<p>Refrigerante 30 °C Tcond 5 °C aumento de T 5 °C DT 20 °C Tagua</p>
CONDENSADOR DE AGUA (agua recirculada)	Condensador
	Torre Refrig.
	<p>41 °C Tcond 5 °C aumento de T 5 °C DT 31 °C</p> <p>31 °C 5 °C DT 26 °C Tbh</p>

Fig. 2.122. Comparativa de temperaturas de condensación.

b) Control Flotante de la presión de condensación.

Existe la oportunidad de reducir la presión de condensación cuando el sistema de condensación, ya sea de aire, por agua de torre o evaporativo, está operando por debajo de su máxima capacidad. Debido a que el sistema de condensación está diseñado para condiciones de verano, el exceso de capacidad se hará patente en otras épocas del año con climas más benignos. En vez de controlar el sistema con una temperatura fija de condensación (como hacen la mayoría de las instalaciones), es conveniente usar la mínima temperatura de condensación, que nos permita el ambiente exterior, compatible con el correcto funcionamiento de la instalación.

Aún así una temperatura de condensación puede no ser posible debido a ciertas limitaciones. El principal factor limitante es la válvula de expansión. Una temperatura de condensación demasiado baja reduce la diferencia de presión a lo largo del sistema de expansión, con lo que se reduce la capacidad de control, originándose problemas de alimentación del evaporador. Dependiendo de la mínima diferencia de presión necesaria en la válvula de expansión podrá ajustarse el valor mínimo de presión de condensación. La temperatura de condensación a su vez puede estar condicionada por la presión de desescarche (si es por gas caliente) o por la presión del aceite de lubricación (compresores de tornillo).

Por tanto dependiendo de si la válvula de expansión ofrece limitación o no, se adoptan diferentes estrategias. Estas son:

- 1) Disminuir la presión de alta hasta el mínimo que permita la válvula de expansión.
- 2) Instalar bombas amplificadoras de presión en la línea de líquido.
- 3) Instalar dos circuitos con presiones diferentes.

Estrategia 1: Reducción del valor de la presión de alta hasta el mínimo posible.

La estrategia consiste simplemente en cambiar el valor de la presión de alta de condensación, que por defecto es demasiado alta, compatible con el funcionamiento de la válvula de expansión. El sistema trabaja entonces con presión flotante hasta el límite nuevo impuesto.

La siguiente figura ilustra el ahorro que es posible alcanzar al ajustar la presión de alta de condensación, para una temperatura de condensación de diseño de 40 °C y asumiendo una temperatura de evaporación de -30°C.

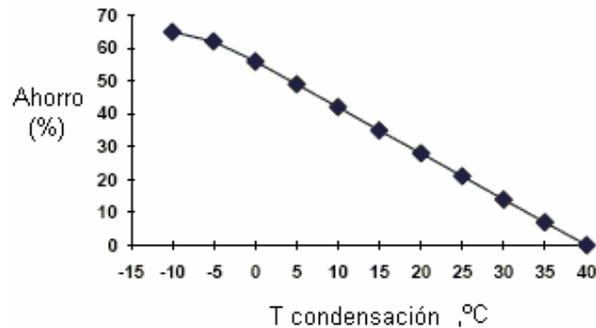


Fig. 2.123. Ahorro al reajustar el control por presión de alta.

Estrategia 2: Instalar bomba amplificadora de presión en la línea de líquido.

Las bombas de amplificadoras de presión aumentan la presión del refrigerante entre el condensador y la válvula de expansión. Esto permite no tener que utilizar una regulación fija de la presión de condensación, permitiendo que esta varíe en función del ambiente exterior o el porcentaje de carga y no existirá problema con la válvula de expansión que trabajará con el salto de presiones óptimo. Además reduce los efectos de la caída de presión en la línea de líquido que puede provocar formación de gas en la línea.

El esquema de la instalación es el siguiente:

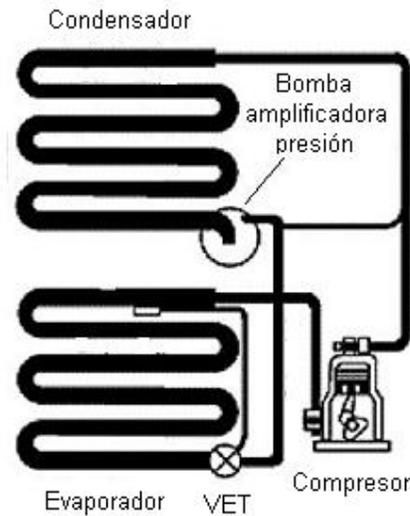


Fig. 2.124. Instalación con bomba amplificadora de presión.

La temperatura de condensación puede ser tan baja como permitan las condiciones exteriores, y la bomba dará el aumento de presión necesario al líquido para que funcione correctamente la válvula de expansión. Mientras la presión de condensación sea lo suficientemente alta para permitir una buena alimentación del evaporador por parte de la válvula de expansión, no es necesaria la utilización de la bomba, y el líquido no será bombeado. Cuando se detecta que la presión de condensación es baja, se manda la orden a la bomba de líquido de que aumente la presión, de esta manera la bomba sólo funcionará en caso de que sea estrictamente necesario, reduciéndose así su consumo.

Estrategia 3: Instalar dos circuitos con presiones diferentes.

La instalación consiste en dividir el sistema en dos, de manera que cada uno de ellos trabaje a una presión. Los dos circuitos no trabajan a la vez, uno de ellos representa la práctica totalidad de la potencia y funciona con presión completamente flotante, y el otro se utiliza cuando la presión de condensación se hace tan baja que provoca problemas en la válvula de expansión.

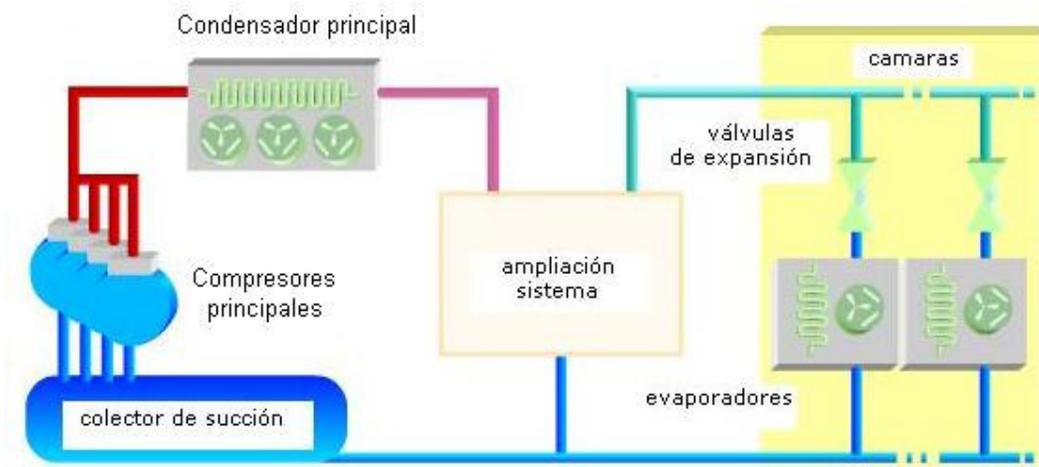


Fig. 2.125. Ampliación de la instalación antigua

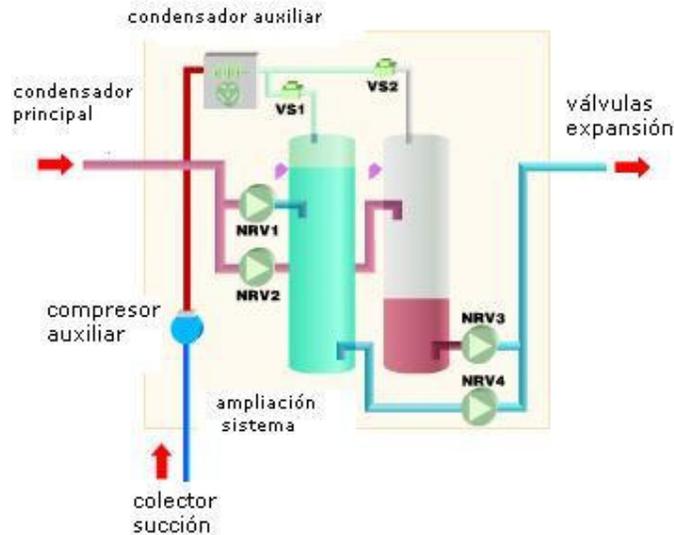


Fig. 2.126. Detalle de la ampliación del sistema

El funcionamiento es el siguiente:

Durante el funcionamiento normal se utiliza el sistema principal que funciona con presión completamente flotante. Cuando la presión es demasiado baja para el correcto funcionamiento de las válvulas de expansión, una válvula de solenoide corta la alimentación a la central de compresores principal y abre la auxiliar.

En ese momento del colector de succión se aspira el refrigerante hacia el compresor auxiliar que trabaja con mayor diferencia de presiones, permitiendo el funcionamiento idóneo del dispositivo de expansión.

El cierre del circuito principal provoca un paulatino aumento de la presión en el condensador principal, y cuando está presión ha aumentado lo suficiente se vuelve a abrir el circuito principal y se cierra el auxiliar. Durante el transitorio se ha estado utilizando el sistema auxiliar, que aunque tenga menor capacidad no provoca un aumento de la temperatura del proceso debido al poco tiempo que está en funcionamiento.

El sistema cuenta con una doble sección de compresión y condensación. Cada una de ellas actúa sobre uno de los dos recipientes de líquido, permitiendo las presiones de condensación diferenciadas.

c) Instalar un enfriador evaporativo en la toma de aire del condensador.

Se pretende con esta medida provocar un enfriamiento previo del aire de refrigeración del condensador. Cuanto menor sea la temperatura del aire a la entrada de la unidad condensadora, menor será la temperatura de condensación del refrigerante, y se reduce de esta manera el consumo del compresor. La aplicación, por tanto, está reservada a sistemas de condensación por aire.

Se trata de una unidad montada en la toma de aire del condensador. El enfriador consiste en una carcasa metálica en donde se aloja un relleno. Se pulveriza agua sobre el relleno (con el relleno se aumenta la superficie de transferencia) y la corriente de aire lo atraviesa, provocando la evaporación de una cantidad mínima de agua, proceso que absorbe calor y enfría el aire. Una válvula de solenoide activada por temperatura controla los ciclos de marcha y parada para proporcionar suficiente agua a la superficie del relleno con el mínimo gasto de agua. En la siguiente figura se puede observar un enfriador evaporativo.

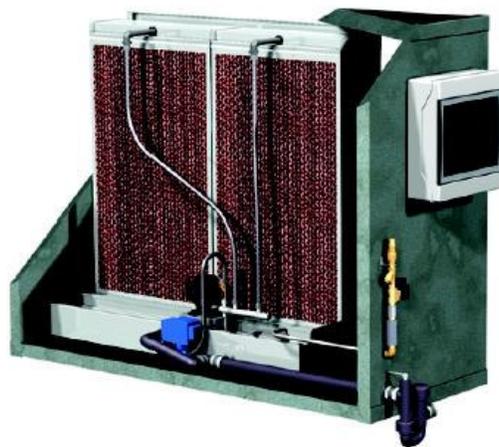


Fig. 2.127. Enfriador evaporativo.

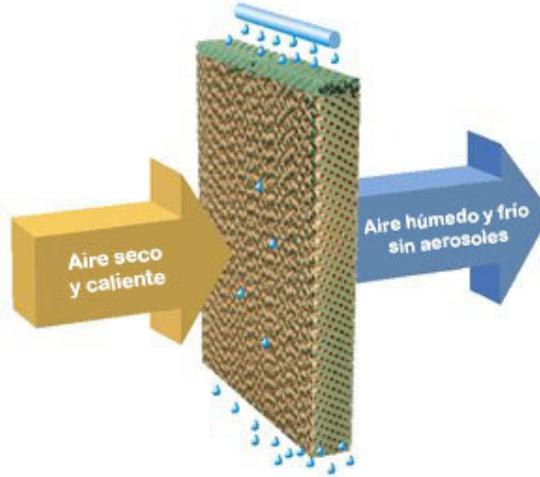


Fig. 2.128. Proceso enfriamiento del aire al atravesar el relleno.

Los ahorros energéticos que se obtienen son muy dependientes de las temperaturas de bulbo seco y húmedo exteriores. Y debido a esto, es un método muy apropiado para climas cálidos y secos, ya que de esta manera se podrá evaporar mayor cantidad de agua y enfriar más el aire. Y es en los meses más cálidos cuando presenta mejores resultados. En la siguiente figura se aprecia el potencial de reducción de temperatura en un clima cálido como en España.

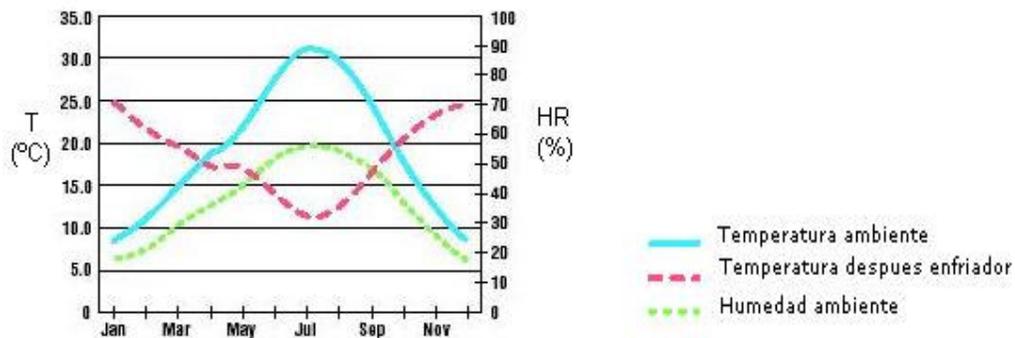


Fig. 2.129. Reducción de la temperatura del aire en climas cálidos.

A tener en cuenta.

- Enfriadores de aire seco, torres de refrigeración y condensadores aire-agua pueden conseguir temperaturas mucho más frías en invierno que en verano.
- En los condensadores de aire seco y los evaporativos, es común desconectar algunos ventiladores para evitar que la presión de condensación caiga demasiado.

- Similarmente, las torres de refrigeración o los condensadores aire-agua son usados para eliminar calor de la refrigeración.
- Estos ajustes son raramente optimizados, y es muy posible trabajar a temperaturas menores que a las correspondientes en verano.
- Una presión de condensación menor, si es posible, necesita un consumo menor de energía.
- Muchos controladores de presión de la condensación no hacen sino empeorar la situación.

2.7.1.2 Mantener condensadores y evaporadores limpios.

Descripción: Los condensadores y evaporadores son intercambiadores de calor. Su funcionamiento será el correcto y tendrán la eficiencia especificada siempre que se mantengan en buen estado. De lo contrario se vería afectada la diferencia de temperatura entre la evaporación y la condensación. El coste adicional está entre en 2% y 4% por cada grado extra de diferencia.

El efecto de una disminución de la temperatura de condensación ha sido explicado en la medida 2.7.1.1, el efecto de un aumento de la temperatura de evaporación se presenta a continuación.

La temperatura de evaporación viene determinada por el servicio dado por el equipo y por la temperatura requerida en la instalación y no siempre será posible aumentarla. Al aumentar la temperatura de evaporación, al igual que disminuir la de condensación, disminuye el trabajo que debe realizar el compresor para poder evacuar el calor en el condensador, y por tanto disminuye su consumo.

El frío producido en un evaporador siempre es consecuencia del salto térmico ΔT y el área de intercambio de calor A . También es conocido, que en todo circuito de refrigeración, la demanda energética no es constante, de forma que cuando ésta es baja, en muchas instalaciones se puede conseguir evaporar reduciendo el salto térmico y alargando el tiempo de refrigeración pero con menos compresores en marcha.

Se pretende por tanto mantener una presión de evaporación flotante con las condiciones de carga. Se consigue a través de controladores electrónicos, que ofertan determinados fabricantes.

Hay que indicar que es mucho más importante desde la óptica del ahorro de energía tener una presión de evaporación alta que una condensación baja.

A tener en cuenta.

- Cuando los intercambiadores de calor están sucios, funcionan menos eficientemente.
- En sistemas de refrigeración, los condensadores y evaporadores están dimensionados con una serie de especificaciones. Si se acumula suciedad, el funcionamiento se saldrá de las condiciones normales de operación.
- Con esto se disminuirá la presión de evaporación y se aumentará la de condensación, aumentando el consumo de energía.
- En sistemas que usan amoníaco o R-22, puede producirse acumulación de depósitos en el evaporador, lo que requiere un limpiado periódico.
- Asegurarse de que el aire circula sin dificultad por torres de refrigeración y de condensadores para que estos funcionen correctamente.

2.7.1.3 Optimizar la temperatura del refrigerante secundario.

Descripción: El frío es transmitido del sistema de refrigeración por un líquido intermedio o un "refrigerante secundario". El refrigerante secundario más común es agua enfriada, pero en muchos casos un agente anticongelante tal como glicol de etileno o de propileno, alcohol desnaturalizado industrial o cloruro de calcio se agrega al agua cuando las temperaturas están cerca o debajo de 0°C. Otros líquidos del transporte térmico también se utilizan, especialmente cuando se requieren altas y bajas temperaturas del mismo refrigerante, o en temperaturas inusualmente bajas. La mayoría de dichos sistemas incluirán uno o más los circuitos con bombas, para la distribución y para las unidades de refrigeración (refrigeradores). Algunos sistemas tendrán una sola bomba para ambos propósitos, pero es común partir el circuito primario "o del refrigerador" del sistema secundario "o de la distribución".

A tener en cuenta.

- Cada grado que el refrigerante secundario está por debajo de lo necesario cuesta en torno a un 3% de potencia de compresión extra.
- Siempre es rentable investigar si la temperatura puede subir.
- A veces, una temperatura diferente la temperatura es determinada por un consumidor, por lo que restringir ese consumo puede proporcionar ahorros con respecto a que la totalidad de la instalación se vea afectada.
- Si la carga que determina el punto de servicio es muy grande con respecto a las demás, es mejor establecer un sistema de refrigeración exclusivo para dicha carga.

2.7.1.4 Reducir la absorción de calor del refrigerante secundario

Descripción: Dado que la refrigeración se lleva a cabo con ayuda de un refrigerante secundario es preciso que éste se encuentre perfectamente aislado para que no capte calor del exterior lo que conllevaría una pérdida de eficiencia en el sistema de refrigeración.

Cuando se bombea un fluido, la bomba suministra energía al fluido en forma de calor. Normalmente no tiene mucha importancia, pero cuando se bombea un refrigerante secundario, este calor ha de ser eliminado del sistema de refrigeración. En muchos sistemas esta ha sido la contribución más importante a la demanda de refrigerante del sistema.

Por esto, el control de las bombas es un gran componente de la eficiencia energética en estos sistemas, y desconectar las bombas cuando no hay demanda es la forma más simple de reducir el aporte de calor.

En otras aplicaciones, se pueden instalar variadores de frecuencia. En este caso el beneficio es mucho mayor que en las otras aplicaciones.

A tener en cuenta.

- La absorción de calor del refrigerante secundario debe ser reducida al mínimo ya que si no supondría una carga calorífica extra en el sistema.
- Las líneas del refrigerador secundario deben estar correctamente aisladas, y el aislamiento debe estar en correcto estado.
- El aislamiento de las tuberías frías debe incluir protección frente al vapor para asegurar que el aislamiento no se satura de agua y causa corrosión en la tubería.
- Las líneas de refrigerante secundario no deben ser expuestas a fuentes de calor tales como hornos, radiadores, calderas o al contacto directo con la luz solar.

2.7.1.5 Estar seguro de que hay suficiente refrigerante primario.

Descripción: Es importante que el sistema esté cargado con la correcta cantidad de refrigerante limpio. Si el sistema tiene menos cantidad de la necesaria la presión de succión es menor de la que debería ser, aumentando la diferencia de temperatura entre la temperatura de condensación y compresión y el consumo energético. Además cuando la carga es elevada, el sistema no es capaz de responder si no está suficientemente cargado.

Es mucho menos común que una instalación se encuentre sobrecargada, pero si se da el caso, el refrigerante vuelve al condensador aumentando la presión

de condensación. Esto aumenta la diferencia de temperatura entre la temperatura de condensación y compresión por lo que aumenta el consumo energético. De nuevo, el sistema no podrá hacerse cargo de toda la demanda.

A tener en cuenta.

- Muchas veces los sistemas no tienen suficiente refrigerante porque no se ha cargado el suficiente o hay pérdidas.
- Un equipo con poca carga de refrigerante trabaja a una presión inferior de evaporación, reduciendo su eficiencia.
- Una buena indicación de la falta de refrigerante es la visión de burbujas a través de las mirillas en tuberías. Esto también puede ser producto de un ensuciamiento de los filtros o de un fallo en la condensación.
- Las posibles fugas deben ser revisadas y reparadas antes de volver a incorporar la cantidad correspondiente de refrigerante. Las fugas de refrigerante son muy peligrosas (especialmente cuando el refrigerante es amoníaco o algún hidrocarburo), o muy contaminantes (cuando el refrigerante es CFC, HCFC o HFC).

2.7.1.6 Aislar el evaporador y la línea de succión.

Descripción: El efecto frigorífico se produce en el evaporador, y si hay subenfriamiento del líquido en la aspiración del compresor éste también puede ser utilizado. Como ésta es la zona más fría debe ser aislada para que no coja calor del exterior. El refrigerante está hirviendo en el evaporador, lo que significa que es especialmente efectiva la absorción de calor.

A tener en cuenta.

- La tubería de succión es el punto más frío de la instalación.
- Si la línea de succión no está aislada el gas que vuelve al compresor puede calentarse y la cantidad de refrigerante que el compresor puede mover se ve reducida.
- Esto reduce la eficiencia de la instalación, y merma la capacidad del compresor.

2.7.1.7 Usar “frío gratuito” cuando sea posible.

Descripción: El “frío gratuito” es una manera de enfriamiento del ambiente sin la necesidad de usar la refrigeración. Hay muchos métodos por los cuales se puede obtener “frío gratuito”, ya sea la propia temperatura del ambiente, por medio de las torres de refrigeración de agua, el agua subterránea o el agua de un río.

Se debe tener en cuenta que más de la mitad del año:

- 1.- La temperatura ambiente es menor de 10°C.
- 2.- La temperatura del agua está por debajo de 8°C.
- 3.- Las torres de refrigeración proporcionan agua por debajo de 13°C.

Estos medios pueden utilizarse directamente o como prerenfrigerante para refrigerar por otros medios.

Purga Nocturna.

Los grandes edificios tienen la capacidad de “cargarse” de calor durante el día. Es posible purgar ese calor hacia el exterior haciendo entrar aire frío del exterior durante la noche.

La temperatura del aire exterior son menores durante la noche, y la diferencia de temperatura entre el edificio y el aire es máxima permitiendo la máxima transferencia de calor.

El aire fresco puede ser distribuido en todo el edificio por el sistema de ventilación existente. El diseño de nuevos edificios se puede adecuar a tareas de purga nocturna.

Refrigeración evaporativa.

Cuando se permite que el agua fría pase a través del aire exterior, cuando el agua se evapora, el calor latente de la vaporización es absorbido por el aire de alrededor, produciendo un efecto de refrigeración. La temperatura del bulbo húmedo del ambiente determina la temperatura final del agua. Este tipo de refrigeración se utiliza con torres de refrigeración del tipo evaporativas.

Los factores más importantes que hacen que varíe la tasa de evaporación, y así la cantidad de calor que puede ser transferido son:

- Superficie de contacto entre el agua y el aire: A mayor superficie de contacto mejor es la transferencia de calor.
- Humedad relativa del aire ambiente: El aire que es más seco acepta mayor cantidad de vapor de agua.
- Movimiento del aire: El movimiento del aire a través del vapor elimina hace que el aire saturado de agua se evacue y entre aire seco que acepte una cuota mayor de vapor.

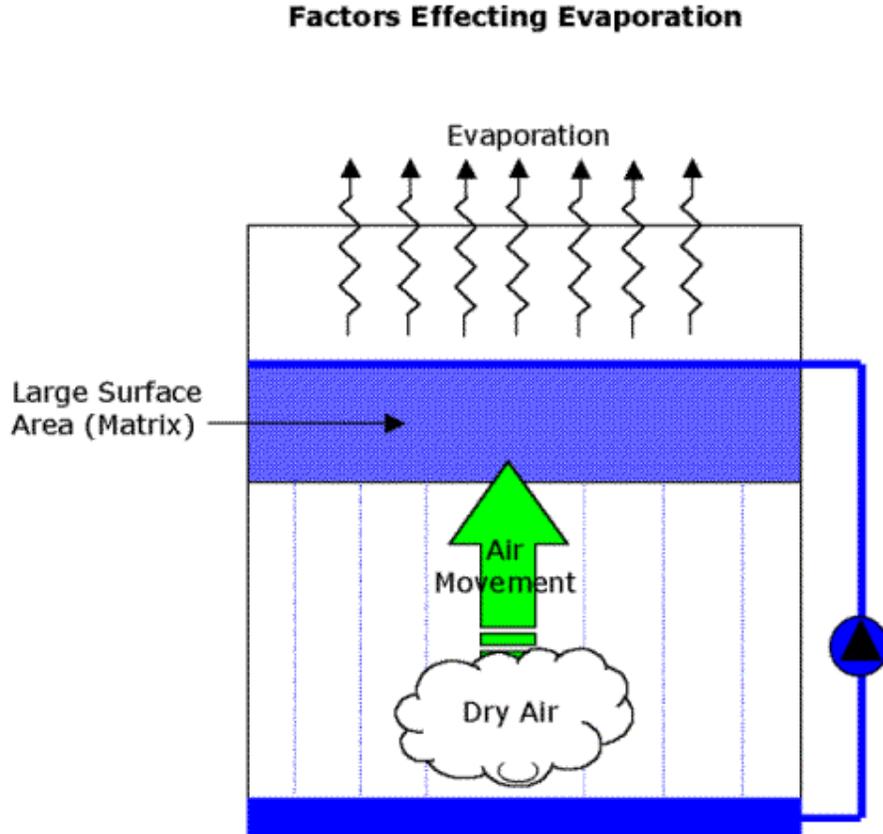


Fig. 2.130. Factores que afectan a la evaporación.

Se obtienen muchos beneficios mediante la utilización de las torres evaporativas. Son económicas, dado que no son necesarios los compresores o condensadores. El coste de operación es solo una fracción del de un sistema convencional de aire acondicionado y un sistema de refrigeración mecánica. Los costes de mantenimiento son mínimos y sobre todo muy simples. Es un sistema muy efectivo: los refrigeradores evaporativos han sido usados durante cientos de años en diversos tipos de refrigeración y todavía es común su uso en todo el mundo debido a su simplicidad y bajo coste.

Refrigeración por absorción.

La refrigeración por absorción permite que la energía calorífica sea el responsable de producir el efecto frigorífico.

A refrigeración por absorción funciona porque unas sustancias químicas tienen una gran afinidad para disolverse en otras, por ejemplo, una solución de bromuro de litio en contacto con el agua formará vapor para poder diluirse.

Esta afinidad es aprovechada en la refrigeración por absorción, para evaporar el agua, que en este caso es el refrigerante, en un evaporador convencional en el absorbedor.

El bromuro de litio (en solución) y el agua es una de las parejas más utilizadas en este tipo de equipos. Otra pareja muy testada es la de amoníaco y agua. Los parámetros de funcionamiento dependen de la pareja que se haya elegido.

La fuente de calor usada en la absorción puede venir impuesta de diferentes maneras como son el agua caliente, vapor o directamente quemando gas natural.

El COP de un equipo de refrigeración por absorción es de aproximadamente 0.7 – 0.8, pero esto depende del evaporador, condensador, absorbedor...

La refrigeración por absorción puede ser utilizada donde existen flujos a altas temperaturas que no tienen ninguna aplicación específica. Las CHP son un muy buen ejemplo donde la fuente de calor de la refrigeración por absorción puede ser las corrientes de agua caliente.

Atener en cuenta.

- Puede que gran parte de la carga térmica sea resuelta con el “frío gratuito”.
- Puede ser proporcionado por la temperatura del aire ambiente, aguas subterráneas, de un río o de una torre de refrigeración.
- El aire del ambiente puede ser utilizado para un preenfriamiento.
- El agua subterránea, de un río o de una torre de refrigeración puede ser utilizado como el primer paso del proceso de refrigeración.
- Los intercambiadores de calor pueden ser utilizados para eliminar costes en calefacción y refrigeración, el mejor ejemplo de esto son los enfriadores de mosto de cerveza.

2.7.1.8 Optimizar el caudal en el circuito de distribución.

Descripción: Las medidas que se han visto en cualquier otro proceso de bombeo de líquidos pueden ser aplicadas en el bombeo del refrigerante secundario dado que el 90% de la energía se destina al bombeo del refrigerante secundario.

2.7.1.9 Asegurarse de que los compresores están correctamente operados.

Descripción: Existen una serie de normas principales a cumplir para cada tipo de compresor.

a) *Correcto control de los compresores de pistón.*

1. Descripción.

Los compresores de pistón son el tipo de compresor más usado en la actualidad.

El gas succionado por las válvulas de admisión es comprimido por los pistones en el interior de unas cámaras de compresión denominadas cilindros. Las válvulas de admisión y de succión son simples válvulas de mariposa (en pequeños compresores) o válvulas de anillo (en los más grandes).

Hay compresores de pistones de muy variados tamaños y potencias, desde un pequeño, compresor monocilíndrico usado n las neveras domésticas hasta compresores de 24 cilindros usados en aplicaciones industriales de gran tamaño. En la siguiente figura se muestra un corte de un compresor de pistones semihermético.

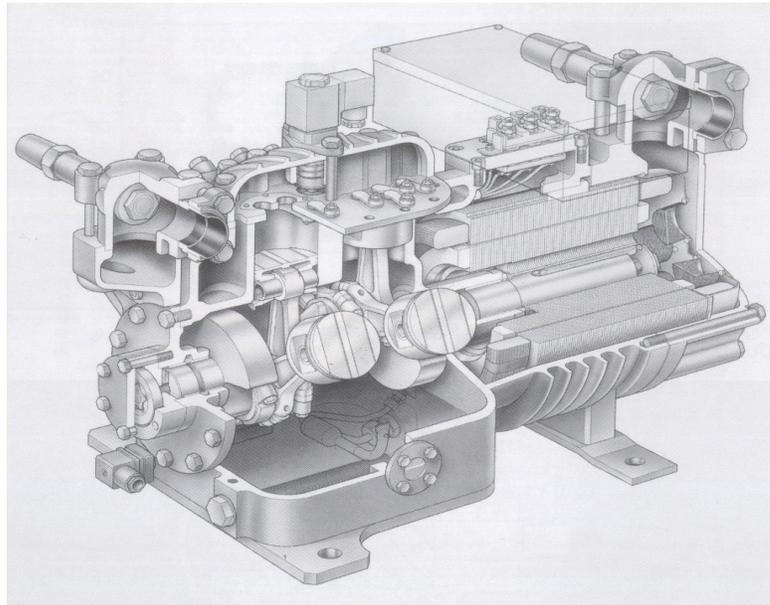


Fig. 2.131. Corte de un compresor de pistones.

2. Control de capacidad en compresores de pistón.

Los compresores de pistón (típicamente de una potencia de 7.5 kW) pueden estar dotados de control de capacidad. Esto se consigue por uno de los siguientes métodos:

- Bloquear la succión de gas en uno o más cilindros, reduciendo así la relación de compresión del compresor.

- Abrir la válvula de succión.
- Descargando el gas a un circuito de recirculación. El vapor descargado por el pistón se devuelve directamente a la línea de succión, así se reduce la cantidad de refrigerante bombeado en el sistema, pero no la cantidad que pasa por el compresor.

El último método es el menos eficiente (la potencia consumida por el compresor suele ser muy parecida a plena carga y a media carga). Con los otros métodos la potencia consumida decrece a la vez que se reduce la capacidad de la instalación.

b) Compresores de tornillo.

1) Descripción.

Los compresores de tornillo más ampliamente utilizados son los compresores de tornillo de inyección de aceite de doble o simple tornillo rotativo.

El compresor de tornillo es una máquina de desplazamiento positivo capaces de trabajar con relaciones de compresión mucho mayor que los compresores de pistón. Esto son, gracias a las pocas partes móviles que tienen, ideales para ser utilizados en aplicaciones de larga duración y grandes cargas. Al contrario de lo que ocurre con los compresores de pistón, la presión interna con la que trabajan estos compresores viene determinada por la propia construcción geométrica.

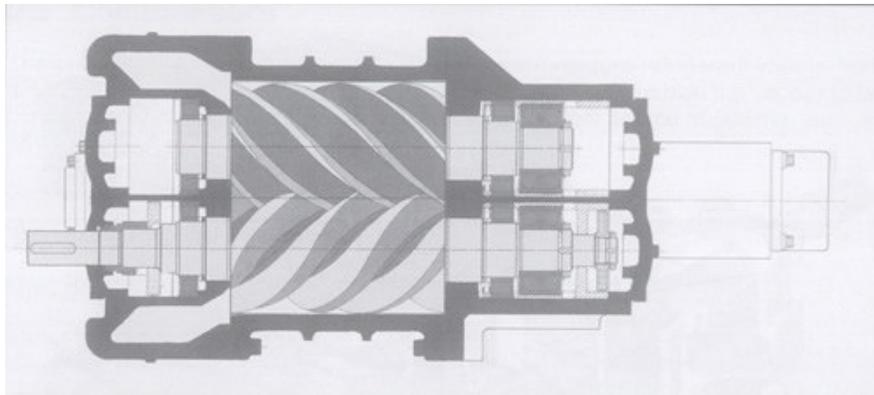


Fig. 2.132. Esquema de compresor de doble tornillo rotativo.

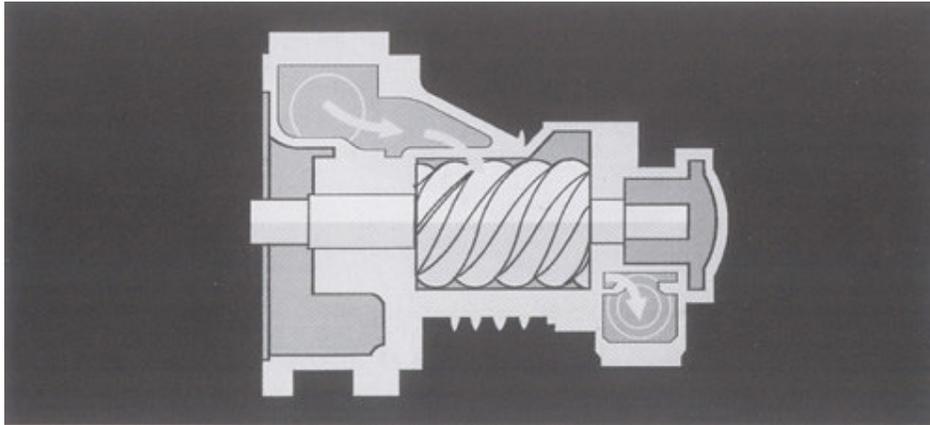


Fig. 2.133. Esquema de compresor de simple tornillo rotativo.

Para una eficiencia óptima, la presión interior determinada por la relación volumétrica del compresor debería coincidir con la presión externa existente en el sistema de refrigeración. Los compresores de tornillo más modernos tienen la capacidad de ajustar continuamente su geometría interna para proporcionar una relación volumétrica que haga que la presión interna coincida exactamente con la presión externa.

La refrigeración de los compresores se realiza mediante la inyección de aceite que además sirve de lubricante y sellado de las uniones entre los rotores y las paredes del compresor. Este aceite absorbe una gran cantidad del calor de compresión. Para una óptima eficiencia el aceite se refrigera en un intercambiador de carcasa y tubo externo con agua fría. La refrigeración mediante la inyección directa de aceite en el compresor reduce la capacidad de la máquina con su correspondiente pérdida de eficiencia.

2) Capacidad de control de capacidad en lubricantes de tornillo.

Hay dos maneras para ajustar la capacidad de compresión: variar la velocidad; y ajustar el grado de apertura de la válvula deslizante a la entrada de los rotores.

Los compresores de velocidad variable son relativamente nuevos en el mercado, pero ofrecen mucho mejor resultado a carga parcial que el método de válvula deslizante. Se puede ajustar el funcionamiento de forma muy precisa a la línea ideal en la siguiente figura donde la capacidad es del 50%, donde la válvula deslizante comienza a funcionar.

Para compresores sin variadores de velocidad, cuando la válvula deslizante está totalmente cerrada (100% de la capacidad) todo el gas entra en el compresor y se descarga al condensador. Con la válvula completamente abierta (mínima capacidad) aproximadamente el 90% del gas regresa a la succión sin haber sido comprimido. Debido a las

pérdidas internas del compresor, el funcionamiento a carga parcial (60%) es relativamente ineficiente. En la siguiente figura se muestra la variación en la potencia frente a la capacidad de un compresor de tornillo típico con una relación de compresión de 4:1.

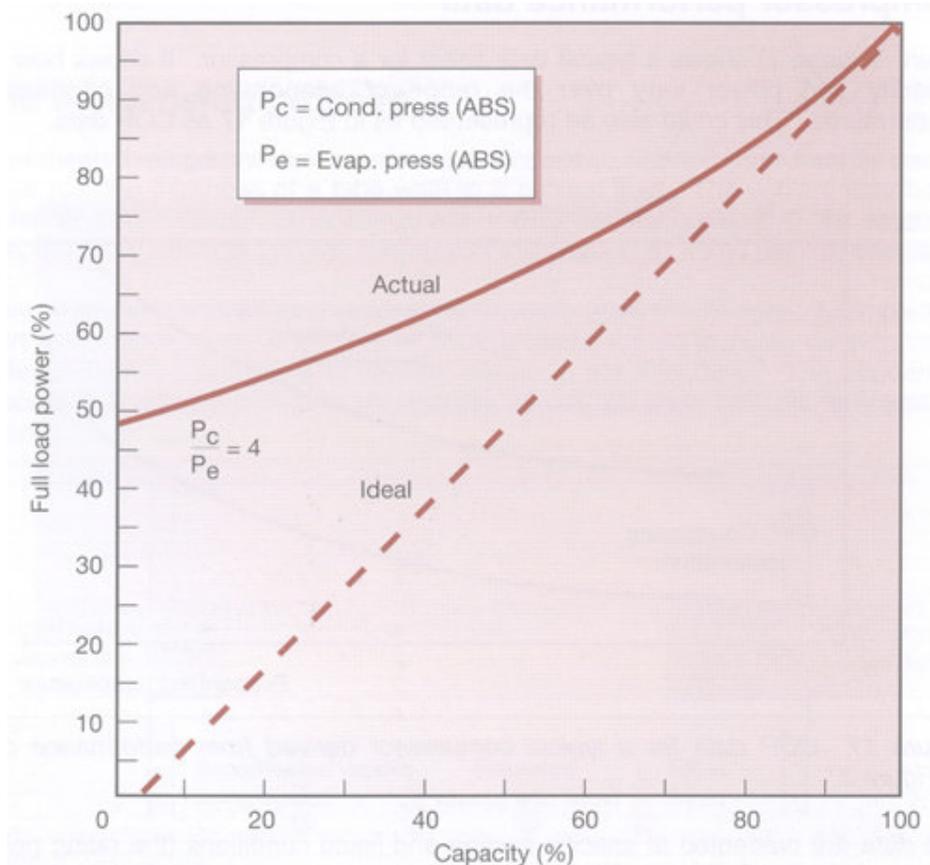


Fig. 2.134. Consumo de potencia frente a capacidad en un compresor de tornillo.

En la figura se muestran las pérdidas en un compresor, comparando las teóricas con las que ocurren en la práctica.

c) Compresores scroll (espiral).

1) Descripción.

Este tipo de compresor tiene dos espirales concéntricas, una fija y otra móvil. El refrigerante se comprime progresivamente en el espacio que queda entre estas dos espirales. El refrigerante a alta presión se descarga continuamente del compresor. En la siguiente figura se muestra un compresor scroll hermético.

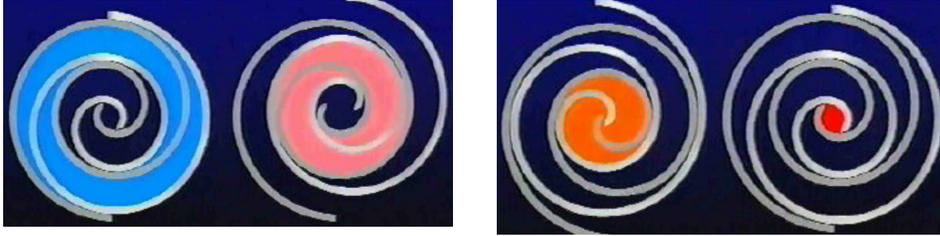


Fig. 2.135. Esquema del proceso de compresión.

El rango de potencias de este tipo de compresores está limitado, los más usados son de un tamaño de 12 kW. La aplicación que tienen es la de ser usados en aplicaciones de tipo medio o pequeñas tales como frigoríficos, depósitos de leche y cerveza o en grupos controlados en secuencia.

Los compresores scroll tienen menos vibraciones y movimiento que los compresores de pistón. A altas temperaturas de evaporación suelen ser más eficientes que los compresores de pistón, pero no ocurre lo mismo a bajas temperaturas.

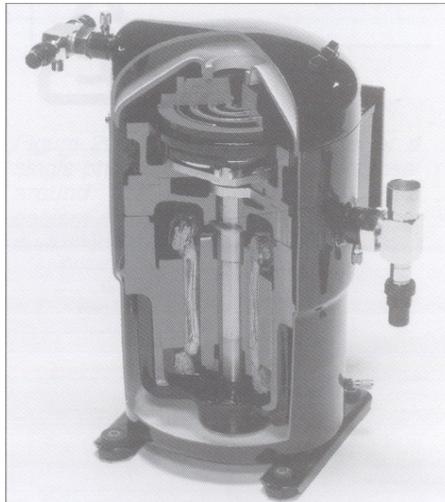


Fig. 2.136. Compresor scroll hermético.

d) Compresores centrífugos.

1) Descripción.

Está conformado por tres partes principales conocidas como rodete, difusor y múltiple de distribución, cada uno con una función específica en el proceso de compresión.

El aire entra al compresor cerca de su eje en dirección axial y es impulsado en forma radial por la fuerza centrífuga producida por el movimiento del rodete. El aire que sale radialmente y a gran velocidad del rodete, es tomado por el difusor donde la energía cinética del aire se transforma en energía potencial en forma de presión. El múltiple de distribución recoge el aire a presión y lo entrega a las cámaras de combustión



Fig. 2.137. Compresor centrífugo.

2) Control de la capacidad.

Cuando se requieran grandes volúmenes de refrigerante los compresores centrífugos son los más apropiados. Cuando pueden aparecer grandes diferencias de carga, el método más común de control de la capacidad de carga es el estrangulamiento de la válvula de descarga o la realización de un bypass de la descarga a la succión. Con ambas medidas se reduce la eficiencia. Más recientemente se han introducido los variadores de frecuencia que mejoran mucho el rendimiento a carga parcial.

Estos compresores normalmente son elegidos y ajustados a las necesidades de los compresores y evaporadores por los propios fabricantes. Si se prevé un funcionamiento a carga parcial durante largos periodos, el fabricante debe tenerlo en cuenta cuando se elija el compresor para disminuir la disminución de la eficiencia.

A tener e cuenta.

- La regla de oro es que se debe evitar en la medida de lo posible el funcionamiento de los compresores a carga parcial.
- Los compresores deben de estar correctamente refrigerados.

- El nivel de aceite de los compresores debe estar entre los límites especificados. Una reducción en el nivel de aceite indica que éste se está perdiendo por el sistema, normalmente en el evaporador, reduciendo su eficiencia.
- Existen subvenciones para la instalación de controles en el sistema de refrigeración.

2.7.2 Cámaras frigoríficas.

En la siguiente tabla se exponen una lista de Medidas de Ahorro Energético referido a las cámaras frigoríficas que muestra un estimado periodo de retorno, ahorro energético típico y el coste de inversión basado en recientes estudios.

MEDIDA	PERIODO DE RETORNO*	POT. AHORRO**	INVERSIÓN***
Asegurarse de que las puertas están cerradas en la medida de lo posible.	Corto	1	Baja
Mantener cargas caloríficas CIP al mínimo.	Corto	1	Ninguna
Apagar las luces y otros equipos cuando no sean necesarios	Corto	2	Baja
Optimizar el funcionamiento de evaporador	Corto	2	Baja
Optimizar los ciclos de descongelado y los tiempos	Corto	4	Baja
Optimizar el funcionamiento de los condensadores	Corto	5	Baja
Estar seguro de que hay suficiente refrigerante.	Corto	8	Baja
Aislar las tuberías de refrigerante y las líneas de succión	Medio	7	Medio
Asegurarse de que los compresores están correctamente operados	Medio	9	Alto

*El periodo de retorno esta dado como Corto, Medio o Largo donde: Corto < 1 año, Medio de 1 a 3 años y Largo > 3 años.

**En el ahorro 1 representa la medida que ofrece mayor potencial de ahorro.

***La inversión está dispuesta en diferentes categorías que son: Baja < 3000€, Media entre 3000€ y 15000€ y Alta > 15000€.

Tabla 2.36 . Medidas de Ahorro Energético las Cámaras frigoríficas.

2.7.2.1 Asegurarse de que las puertas están cerradas en la medida de lo posible.

Descripción: En muchas ocasiones es necesario suministrar aire frío constantemente a una habitación debido a que sus puertas o ventanas están abiertas, por lo que se establece un flujo de aire frío que escapa y otro de aire caliente que entra. En muchas ocasiones, si se consigue una temperatura de confort en una habitación, si se mantienen las puertas cerradas no es

necesario suministrar aire frío constantemente para mantener dichas condiciones.

A tener en cuenta.

- En algunas ocasiones, la demanda de aire frío es debida a la corriente que se establece por tener las puertas abiertas.
- En los primeros momentos en que las puertas están abiertas, no hay flujo de aire que entre desde el exterior, así que es mucho mejor abrir y cerrar la puertas frecuentemente que dejarlas abiertas.
- Puertas de cortina son mejor que nada, pero puertas de apertura rápida o que se cierren automáticamente son más efectivas.
- En muchas ocasiones es interesante instalar un sistema de alarma acústico u óptico que avise de que las puertas están abiertas.

2.7.2.2 Mantener cargas caloríficas CIP al mínimo.

Descripción: La Limpieza-en-sitio (CIP) y el Esterilizado-en-sitio (SIP) son sistemas diseñados para la limpieza y desinfectado automáticos sin necesidad de realizar obras de desmontado y ensamblado. Adicionalmente, un sistema CIP bien diseñado (que utiliza tecnología de válvula de asiento doble (bloqueo y purgado) y un poco de integración de procesos), le permitirá limpiar una parte de la planta, en tanto las demás áreas continúan con la producción. Además, un sistema CIP moderno no sólo ahorrará dinero al lograr un mejor uso de la planta, sino también por los ahorros significativos que obtendrá en el líquido para la CIP (al reciclar las soluciones de limpieza), en el agua (el sistema está diseñado para utilizar la cantidad de agua óptima requerida) y en las horas-hombre.



Fig. 2.138. Unidad CIP.

A tener en cuenta.

- Después de las corrientes de aire que entran en las habitaciones, las cargas caloríficas debidas a las CIP son las causas más comunes de un funcionamiento ineficaz de la refrigeración.
- El calor producido por las CIP han hecho que muchas industrias cerveceras hayan encontrado métodos de CIP fríos que proporcionan resultados satisfactorios.
- Cuando la temperatura de una estancia aumenta, la tentación es disminuir la temperatura de evaporación o del refrigerante secundario.
- Esto permite un aumento del consumo de los compresores ya que se aumenta la distancia entre la presión de condensación y de evaporación.

2.7.2.3 Apagar las luces y otros equipos cuando no sean necesarios.

Descripción: Tanto las luminarias como cualquier equipo donde haya motores, resistencias, etc. son cargas térmicas que el sistema de refrigeración tiene que “vencer”. Por esto su desconexión cuando no sea necesario su funcionamiento ayuda a mejorar la eficiencia del sistema de refrigeración.

A tener en cuenta.

- Un equipo eléctrico en un entorno refrigerado consume el doble de electricidad.
- Así, el ahorro que se produce en un funcionamiento normal se ven incrementados (por lo menos en un 25% en una habitación de temperatura controlada).
- Del mismo modo, la eficiencia de la iluminación y los controladores de motores reciben un beneficio adicional en este ambiente.
- Si también es posible se debe desconectar los ventiladores del condensador en periodos donde no se requiere refrigeración (por la noche o en fines de semana) .

2.7.2.4 Optimizar el funcionamiento de evaporador.

Descripción: En el evaporador se produce el efecto frigorífico por lo que según sea la temperatura que queramos obtener en cierta cámara, así debe de estar ajustada la temperatura del evaporados. Su correcto ajuste es una pieza clave para un correcto funcionamiento de la instalación.

A tener en cuenta.

- La temperatura del aire que sale de los evaporadores debe de ser menor que la temperatura que se desea obtener en la estancia.
- La temperatura de evaporación ha de ser todavía menor.
- Una temperatura demasiado baja causa mayores congelamientos y por tanto los ciclos de descongelado son más frecuentes.
- Una temperatura demasiado baja consume más energía ya que aumenta la separación con la temperatura de evaporación.
- La temperatura debe ser adecuada a los requerimientos, pero lo más alta posible.

2.7.2.5 Optimizar los ciclos de descongelado y los tiempos.

Descripción: La acumulación de hielo en la superficie del evaporador reduce la transferencia de calor en el mismo, provocando un mayor consumo de la instalación, debido a que se debe evaporar a menor presión para obtener la temperatura requerida en el proceso. Incluso en ocasiones se podría producir la parada de la instalación al no poder conseguirse las necesidades del proceso (parada por presión de baja). Por tanto esta acumulación de hielo debe ser retirada. El proceso de desescarche de los evaporadores puede llegar a suponer hasta un 15 % del consumo total de energía de la instalación, lo que no supone un consumo despreciable.

En la mayoría de las instalaciones los ciclos de desescarche se inician a intervalos regulares durante el día por un contador de tiempo. Este contador está normalmente calibrado para acomodarse a las condiciones de verano de mayor humedad de la localidad, donde la escarcha acumulada llega a su máximo. Pero durante el resto del año, donde las condiciones de humedad no son tan críticas, los ciclos de desescarche son más numerosos y duran más tiempo del deseado.

La medida consiste por tanto en iniciar el proceso solamente cuando sea necesario, ya que en diferentes épocas del año se tienen necesidades diferentes. A su vez termina tan pronto como el hielo se ha eliminado del intercambiador. Así se consigue disminuir tanto la duración como la frecuencia de los ciclos.

La medida no sólo ahorra energía, sino que puede también aumentar la calidad del producto al estar sometido el evaporador a un menor número de paradas.

Para poder realizar convenientemente el desescarche por demanda se procede a la instalación de un sensor de desescarche en la superficie del evaporador.

Existen diferentes tipos de sensores: ópticos, de presión (miden pérdida de carga del aire al atravesar el evaporador), de diferencia de temperatura, etc.

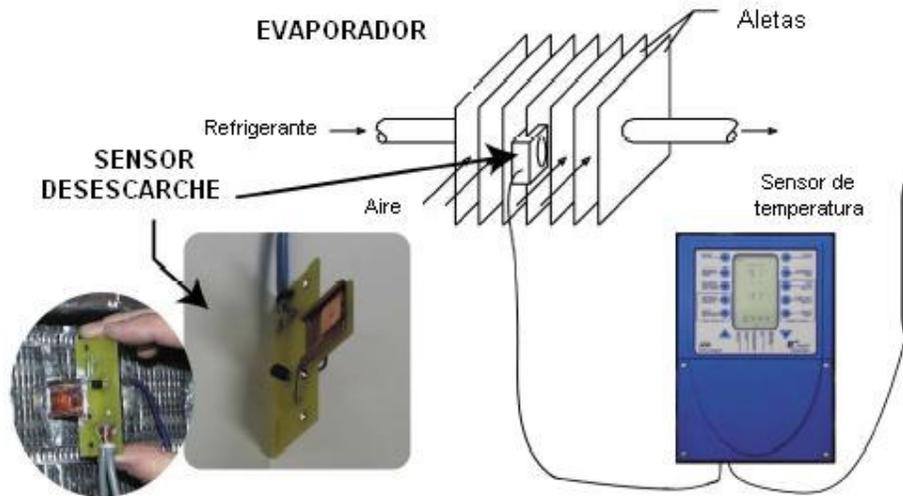


Fig. 2.139. Sensor de desescarche controlado por temperatura.

Su instalación es sencilla, tanto en instalaciones nuevas como en las instalaciones donde se desee realizar la mejora. Además es sencillo incorporar el sensor al sistema de control de planta.

Puede utilizarse además tanto en pequeñas instalaciones con un solo evaporador, como en grandes instalaciones industriales y comerciales con un gran número de evaporadores sin peligro de iniciar el ciclo en todos los evaporadores simultáneamente.

A tener en cuenta.

- En cámaras que operan en torno a los 0°C es posible descongelar la capa de hielo simplemente apagando la refrigeración. Además este proceso produce "frío gratuito".
- En cámaras que trabajan a menores temperaturas, esto no es posible, y es necesario aplicar calor para descongelar la escarcha.
- La energía empleada en descongelar la escarcha debe ser mínima. Inevitablemente algo de calor puede entrar en la cámara, teniendo que eliminarlo más tarde.
- Todas las descongelaciones han de ser cuidadosamente optimizadas, tanto en frecuencia como en duración, para minimizar el tiempo empleado y la energía suministrada.

- Lo mejor que se puede utilizar son unos sistemas que detectan cuando se debe quitar la escarcha de un evaporador y cuando el proceso se ha completado.

2.7.2.6 Optimizar el funcionamiento de los condensadores.

Descripción: Se pretende con esta medida reducir el trabajo del compresor ya que disminuye la presión de condensación con la que trabaja el ciclo frigorífico. Según el ciclo teórico de Carnot el COP del ciclo aumenta al disminuir la temperatura de condensación.

Aún siendo un ciclo teórico, el resultado se puede extrapolar a los ciclo reales. Como consecuencia se tiene menor consumo energético del compresor, aunque existen otros beneficios, como son una temperatura de descarga menor y aumento de la vida del compresor al trabajar en condiciones menos extremas.

Se tienen varias líneas de acción para disminuir la temperatura de condensación:

La primera consiste en el cambio de la tipología del condensador. Diferentes tipos de condensadores para un mismo emplazamiento dan temperaturas de condensación diferentes, bien sea por el fluido refrigerante utilizado o por el mecanismo de transferencia.

Por otro lado el sistema de condensación debe estar diseñado para poder evacuar todo el calor en las condiciones de máxima carga y cuando las condiciones climatológicas exteriores son más desfavorables. Esto provoca que la mayor parte del tiempo de funcionamiento de la instalación, el sistema esté sobredimensionado. Los sistemas normalmente utilizan un control fijo de la presión de condensación elevado, que se ajusta a las condiciones más desfavorables del año. Se trata entonces de eliminar el control por presión de alta y permitir que la condensación fluctúe con las condiciones ambientes.

La última línea de trabajo consiste en un pre-enfriamiento evaporativo del aire de refrigeración del condensador, reduciendo así la temperatura de entrada del fluido refrigerante.

a) Sustitución del tipo de condensador.

Dependiendo del fluido refrigerante que se utilice, aire o agua, se conseguirán una temperatura de condensación u otra, ya que ésta está completamente influenciada por el ambiente exterior con que se condense. Por tanto el ahorro corresponde a las condiciones límites con que pueden operar cada uno de los diferentes equipos. Se tienen varias opciones:

- *Condensador de Aire:* La temperatura de condensación en este caso depende de la temperatura seca del aire exterior de la localidad. Es

donde se alcanzan las mayores temperaturas de condensación, debido a la escasa capacidad del aire para extraer calor en comparación con el agua, por lo que, para no tener un condensador de grandes dimensiones, la diferencia de temperaturas entre refrigerante y aire es elevada. Valores normales son de unos 10 °C. Por tanto se tiene:

$$T_{cond} = T_{seca\ aire} + DT_{aire}$$

Siendo DT_{aire} la diferencia de temperatura entre el aire a la salida del condensador, T_{cond} la temperatura de condensación y $T_{seca\ aire}$ la temperatura de entrada del aire al condensador.

- *Condensadores de agua:* Se usa agua como refrigerante del ciclo. Dependiendo de la temperatura de retorno del agua se tendrá una temperatura de condensación. Además la capacidad de absorber calor del agua es mayor que la del aire, con lo que se trabaja con menores incrementos de temperatura. La diferencia de temperaturas entre el refrigerante y el agua a la salida del condensador (DT_{agua}) se encuentra por regla general alrededor de los 5 °C.

$$T_{cond} = T_{agua} + DT_{agua}$$

El agua se puede enfriar en una torre de refrigeración, que es el procedimiento más habitual. El límite está en la temperatura de bulbo húmedo de la localidad que es menor que la temperatura seca del aire, con lo que se obtienen temperaturas de condensación más bajas. La temperatura con la que sale el agua de la torre dependerá de la cercanía y el rango con que trabaje la torre. El rango es la diferencia de temperatura del agua entre la entrada y la salida de la torre. La cercanía es la diferencia de temperatura entre la salida del agua de la torre y la temperatura de bulbo húmedo del aire ambiente. Cuanto menor es la cercanía más grande es la torre.

- *Condensador evaporativo:* Es mejor que utilizar agua de una torre de refrigeración, porque puede operar con menor temperatura, la de bulbo húmedo de la localidad más el salto de temperatura que se le quiera dar. Con una torre, aparte del salto de la torre, el agua se devuelve al condensador que funcionará con una diferencia de temperatura entre refrigerante y agua determinada, y con el evaporativo sólo se da el salto de un equipo. La diferencia de temperatura suele ser de unos 10 °C, pero con respecto a la temperatura de bulbo húmedo.

$$T_{cond} = T_{bh} + DT_{evaporativo}$$

TIPO CONDENSADOR	T ° DE CONDENSACIÓN TÍPICAS
CONDENSADOR DE AIRE	<p>Refrigerante 45 °C Tcond 5 °C aumento de T 5 °C DT 30 °C T seca del aire</p>
CONDENSADOR EVAPORATIVO	<p>38 °C Tcond Aire húmedo 12 °C DT 26 °C Tbh</p>
CONDENSADOR DE AGUA (agua bruta)	<p>Refrigerante 30 °C Tcond 5 °C aumento de T 5 °C DT 20 °C Tagua</p>
CONDENSADOR DE AGUA (agua recirculada)	Condensador
	Torre Refrig.
	<p>41 °C Tcond 5 °C aumento de T 5 °C DT 31 °C</p> <p>31 °C 5 °C DT 26 °C Tbh</p>

Fig.2.140. Comparativa de temperaturas de condensación.

b) Control Flotante de la presión de condensación.

Existe la oportunidad de reducir la presión de condensación cuando el sistema de condensación, ya sea de aire, por agua de torre o evaporativo, está operando por debajo de su máxima capacidad. Debido a que el sistema de condensación está diseñado para condiciones de verano, el exceso de capacidad se hará patente en otras épocas del año con climas más benignos. En vez de controlar el sistema con una temperatura fija de condensación (como hacen la mayoría de las instalaciones), es conveniente usar la mínima temperatura de condensación, que nos permita el ambiente exterior, compatible con el correcto funcionamiento de la instalación.

Aún así una temperatura de condensación puede no ser posible debido a ciertas limitaciones. El principal factor limitante es la válvula de expansión. Una temperatura de condensación demasiado baja reduce la diferencia de presión a lo largo del sistema de expansión, con lo que se reduce la capacidad de control, originándose problemas de alimentación del evaporador. Dependiendo de la mínima diferencia de presión necesaria en la válvula de expansión podrá ajustarse el valor mínimo de presión de condensación. La temperatura de condensación a su vez puede estar condicionada por la presión de desescarche (si es por gas caliente) o por la presión del aceite de lubricación (compresores de tornillo).

Por tanto dependiendo de si la válvula de expansión ofrece limitación o no, se adoptan diferentes estrategias. Estas son:

- 4) Disminuir la presión de alta hasta el mínimo que permita la válvula de expansión.
- 5) Instalar bombas amplificadoras de presión en la línea de líquido.
- 6) Instalar dos circuitos con presiones diferentes.

Estrategia 1: Reducción del valor de la presión de alta hasta el mínimo posible.

La estrategia consiste simplemente en cambiar el valor de la presión de alta de condensación, que por defecto es demasiado alta, compatible con el funcionamiento de la válvula de expansión. El sistema trabaja entonces con presión flotante hasta el límite nuevo impuesto.

La siguiente figura ilustra el ahorro que es posible alcanzar al ajustar la presión de alta de condensación, para una temperatura de condensación de diseño de 40 °C y asumiendo una temperatura de evaporación de -30°C.

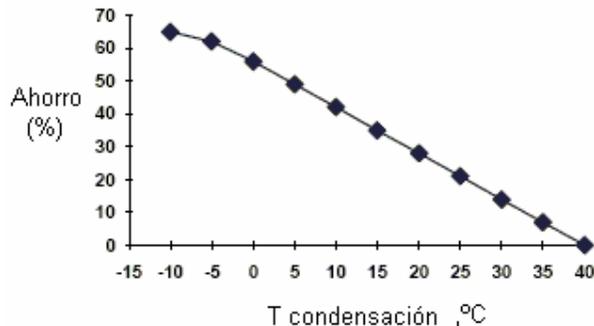


Fig. 2.141. Ahorro al reajustar el control por presión de alta.

Estrategia 2: Instalar bomba amplificadora de presión en la línea de líquido.

Las bombas de amplificadoras de presión aumentan la presión del refrigerante entre el condensador y la válvula de expansión. Esto permite no tener que utilizar una regulación fija de la presión de condensación, permitiendo que esta varíe en función del ambiente exterior o el porcentaje de carga y no existirá problema con la válvula de expansión que trabajará con el salto de presiones óptimo. Además reduce los efectos de la caída de presión en la línea de líquido que puede provocar formación de gas en la línea.

El esquema de la instalación es el siguiente:

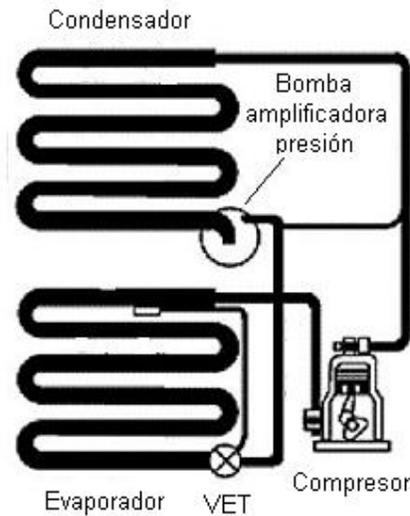


Fig. 2.142. Instalación con bomba amplificadora de presión.

La temperatura de condensación puede ser tan baja como permitan las condiciones exteriores, y la bomba dará el aumento de presión necesario al líquido para que funcione correctamente la válvula de expansión. Mientras la presión de condensación sea lo suficientemente alta para permitir una buena alimentación del evaporador por parte de la válvula de expansión, no es necesaria la utilización de la bomba, y el líquido no será bombeado. Cuando se detecta que la presión de condensación es baja, se manda la orden a la bomba de líquido de que aumente la presión, de esta manera la bomba sólo funcionará en caso de que sea estrictamente necesario, reduciéndose así su consumo.

Estrategia 3: Instalar dos circuitos con presiones diferentes.

La instalación consiste en dividir el sistema en dos, de manera que cada uno de ellos trabaje a una presión. Los dos circuitos no trabajan a la vez, uno de ellos representa la práctica totalidad de la potencia y funciona con presión completamente flotante, y el otro se utiliza cuando la presión de condensación se hace tan baja que provoca problemas en la válvula de expansión.

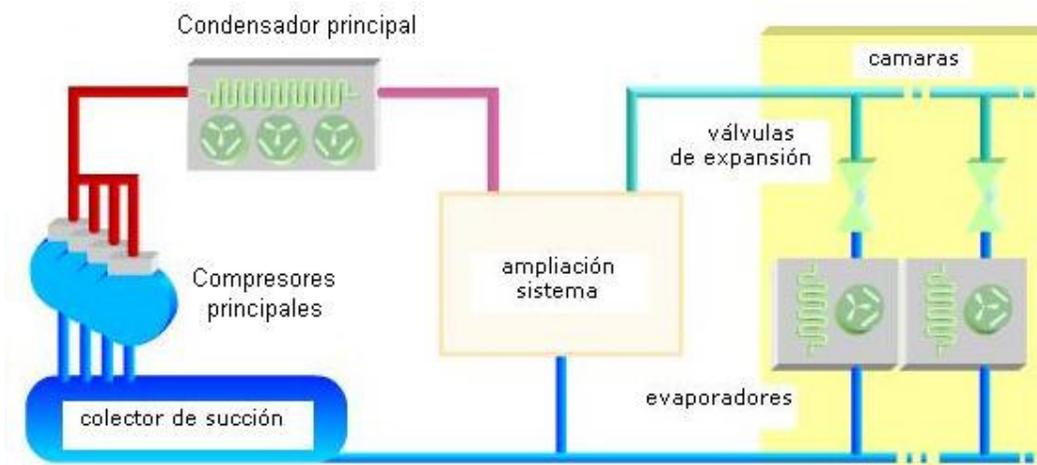


Fig. 2.143. Ampliación de la instalación antigua

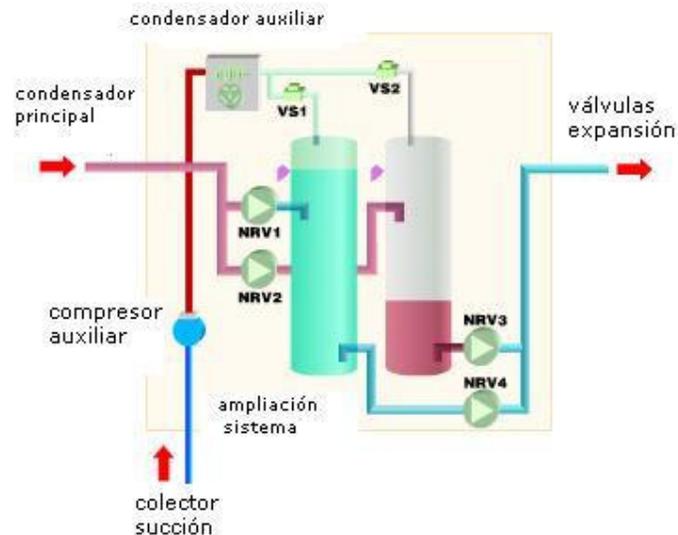


Fig. 2.144. Detalle de la ampliación del sistema

El funcionamiento es el siguiente:

Durante el funcionamiento normal se utiliza el sistema principal que funciona con presión completamente flotante. Cuando la presión es demasiado baja para el correcto funcionamiento de las válvulas de expansión, una válvula de solenoide corta la alimentación a la central de compresores principal y abre la auxiliar.

En ese momento del colector de succión se aspira el refrigerante hacia el compresor auxiliar que trabaja con mayor diferencia de presiones, permitiendo el funcionamiento idóneo del dispositivo de expansión.

El cierre del circuito principal provoca un paulatino aumento de la presión en el condensador principal, y cuando esta presión ha aumentado lo suficiente se vuelve a abrir el circuito principal y se cierra el auxiliar. Durante el transitorio se ha estado utilizando el sistema auxiliar, que aunque tenga menor capacidad no provoca un aumento de la temperatura del proceso debido al poco tiempo que está en funcionamiento.

El sistema cuenta con una doble sección de compresión y condensación. Cada una de ellas actúa sobre uno de los dos recipientes de líquido, permitiendo las presiones de condensación diferenciadas.

c) Instalar un enfriador evaporativo en la toma de aire del condensador.

Se pretende con esta medida provocar un enfriamiento previo del aire de refrigeración del condensador. Cuanto menor sea la temperatura del aire a la entrada de la unidad condensadora, menor será la temperatura de condensación del refrigerante, y se reduce de esta manera el consumo del compresor. La aplicación, por tanto, está reservada a sistemas de condensación por aire.

Se trata de una unidad montada en la toma de aire del condensador. El enfriador consiste en una carcasa metálica en donde se aloja un relleno. Se pulveriza agua sobre el relleno (con el relleno se aumenta la superficie de transferencia) y la corriente de aire lo atraviesa, provocando la evaporación de una cantidad mínima de agua, proceso que absorbe calor y enfría el aire. Una válvula de solenoide activada por temperatura controla los ciclos de marcha y parada para proporcionar suficiente agua a la superficie del relleno con el mínimo gasto de agua. En la siguiente figura se puede observar un enfriador evaporativo.

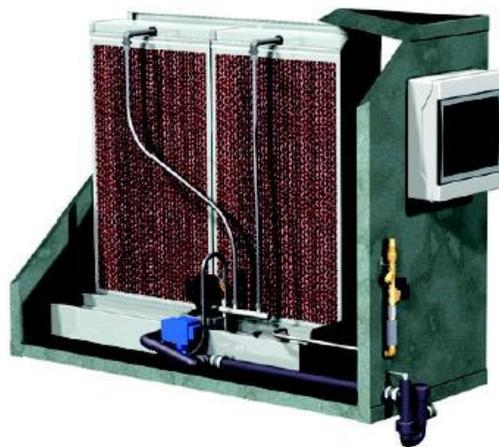


Fig. 2.145. Enfriador evaporativo.

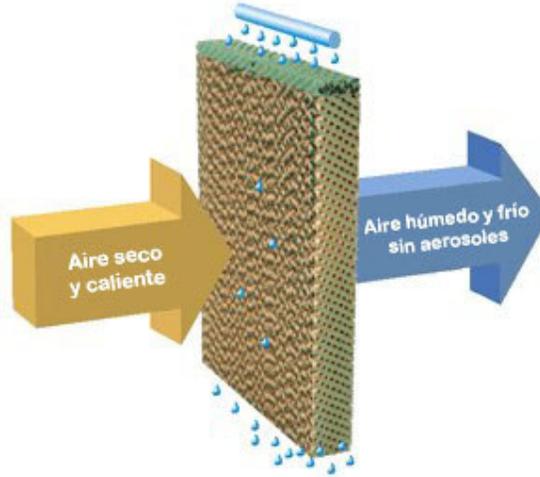


Fig. 2.146. Proceso enfriamiento del aire al atravesar el relleno.

Los ahorros energéticos que se obtienen son muy dependientes de las temperaturas de bulbo seco y húmedo exteriores. Y debido a esto, es un método muy apropiado para climas cálidos y secos, ya que de esta manera se podrá evaporar mayor cantidad de agua y enfriar más el aire. Y es en los meses más cálidos cuando presenta mejores resultados. En la siguiente figura se aprecia el potencial de reducción de temperatura en un clima cálido como en España.

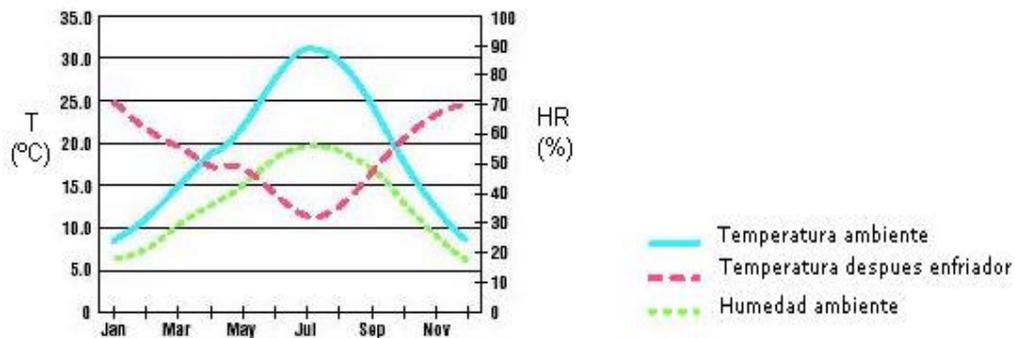


Fig. 2.147. Reducción de la temperatura del aire en climas cálidos.

A tener en cuenta.

- En muchos intercambiadores se consiguen menores temperaturas en invierno que en verano.
- En condensadores de aire seco y evaporativos, es común desconectar alguno de los ventiladores para evitar que la temperatura de condensación decaiga demasiado.

- De forma similar, cuando se utilizan torres de refrigeración o intercambiadores de aire seco-agua para eliminar calor, se manipulan las válvulas en el mismo sentido que se desconectan ventiladores para mantener la presión de condensación.
- Éstos ajustes son raramente optimizados, y es muy factible trabajar a mucha menos presión que la correspondiente a las condiciones de verano.

2.7.2.7 Estar seguro de que hay suficiente refrigerante.

Es importante que el sistema esté cargado con la correcta cantidad de refrigerante limpio. Si el sistema tiene menos cantidad de la necesaria la presión de succión es menor de la que debería ser, aumentando la diferencia de temperatura entre la temperatura de condensación y compresión y el consumo energético. Además cuando la carga es elevada, el sistema no es capaz de responder si no está suficientemente cargado.

Es mucho menos común que una instalación se encuentre sobrecargada, pero si se da el caso, el refrigerante vuelve al condensador aumentando la presión de condensación. Esto aumenta la diferencia de temperatura entre la temperatura de condensación y compresión por lo que aumenta el consumo energético. De nuevo, el sistema no podrá hacerse cargo de toda la demanda.

A tener en cuenta.

- Muchas veces los sistemas no tienen suficiente refrigerante porque no se ha cargado el suficiente o hay pérdidas.
- Un equipo con poca carga de refrigerante trabaja a una presión inferior de evaporación, reduciendo su eficiencia.
- Una buena indicación de la falta de refrigerante es la visión de burbujas a través de las mirillas en tuberías. Esto también puede ser producto de un ensuciamiento de los filtros o de un fallo en la condensación.
- Las posibles fugas deben ser revisadas y reparadas antes de volver a incorporar la cantidad correspondiente de refrigerante. Las fugas de refrigerante son muy peligrosas (especialmente cuando el refrigerante es amoníaco o algún hidrocarburo), o muy contaminantes (cuando el refrigerante es CFC, HCFC o HFC).

2.7.2.8 Aislar el evaporador y la línea de succión.

Descripción: El efecto frigorífico se produce en el evaporador, y si hay subenfriamiento del líquido en la aspiración del compresor éste también puede ser utilizado. Como ésta es la zona más fría debe ser aislada para que no coja

calor del exterior. El refrigerante está hirviendo en el evaporador, lo que significa que es especialmente efectiva la absorción de calor.

A tener en cuenta.

- La tubería de succión es el punto más frío de la instalación.
- Si la línea d succión no está aislada el gas que vuelve al compresor puede calentarse y la cantidad de refrigerante que el compresor puede mover se ve reducida.
- Esto reduce la eficiencia de la instalación, y merma la capacidad del compresor.

2.7.2.9 Asegurarse de que los compresores están correctamente operados.

Descripción: Existen una serie de normas principales a cumplir para cada tipo de compresor.

a) Correcto control de los compresores de pistón.

3. Descripción.

Los compresores de pistón son el tipo de compresor más usado en la actualidad.

El gas succionado por las válvulas de admisión es comprimido por los pistones en el interior de unas cámaras de compresión denominadas cilindros. Las válvulas de admisión y de succión son simples válvulas de mariposa (en pequeños compresores) o válvulas de anillo (en los más grandes).

Hay compresores de pistones de muy variados tamaños y potencias, desde un pequeño, compresor monocilíndrico usado n las neveras domésticas hasta compresores de 24 cilindros usados en aplicaciones industriales de gran tamaño. En la siguiente figura se muestra un corte de un compresor de pistones semihermético.

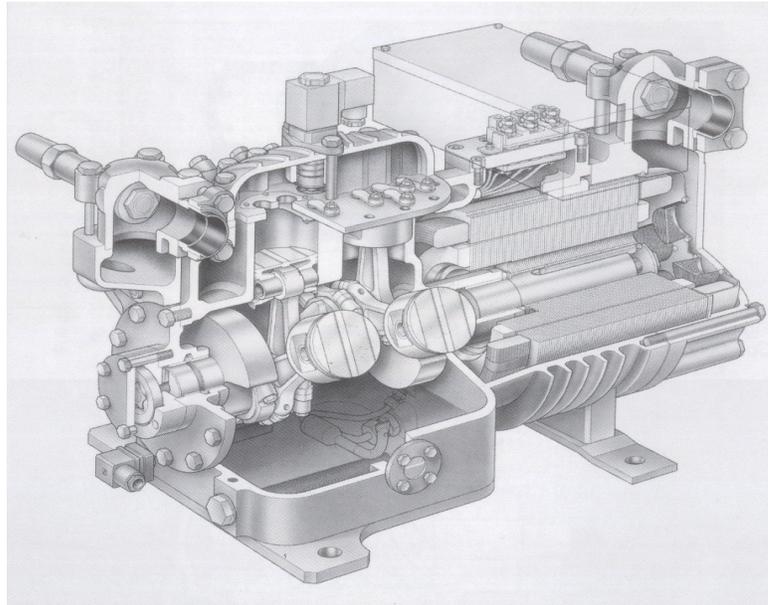


Fig. 2.148. Corte de un compresor de pistones.

4. Control de capacidad en compresores de pistón.

Los compresores de pistón (típicamente de una potencia de 7.5 kW) pueden estar dotados de control de capacidad. Esto se consigue por uno de los siguientes métodos:

- Bloquear la succión de gas en uno o más cilindros, reduciendo así la relación de compresión del compresor.
- Abrir la válvula de succión.
- Descargando el gas a un circuito de recirculación. El vapor descargado por el pistón se devuelve directamente a la línea de succión, así se reduce la cantidad de refrigerante bombeado en el sistema, pero no la cantidad que pasa por el compresor.

El último método es el menos eficiente (la potencia consumida por el compresor suele ser muy parecida a plena carga y a media carga). Con los otros métodos la potencia consumida decrece a la vez que se reduce la capacidad de la instalación.

b) Compresores de tornillo.

3) Descripción.

Los compresores de tornillo más ampliamente utilizados son los compresores de tornillo de inyección de aceite de doble o simple tornillo rotativo.

El compresor de tornillo es una máquina de desplazamiento positivo capaces de trabajar con relaciones de compresión mucho mayor que los compresores de pistón. Esto son, gracias a las pocas partes móviles que tienen, ideales para ser utilizados en aplicaciones de larga duración y grandes cargas. Al contrario de lo que ocurre con los compresores de pistón, la presión interna con la que trabajan estos compresores viene determinada por la propia construcción geométrica.

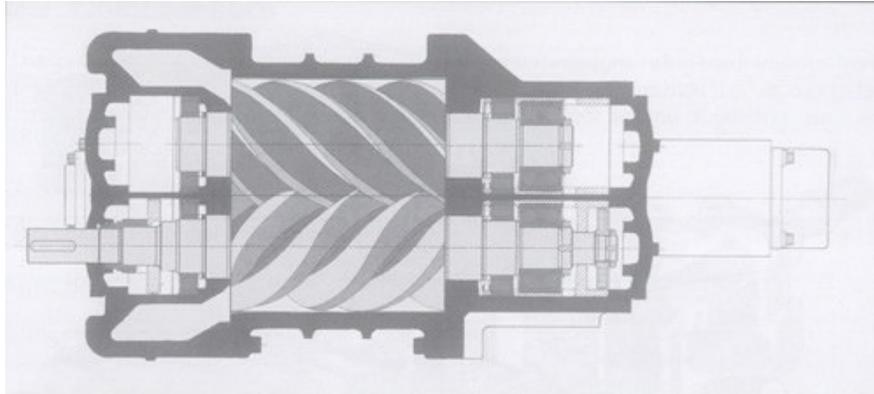


Fig. 2.149. Esquema de compresor de doble tornillo rotativo.

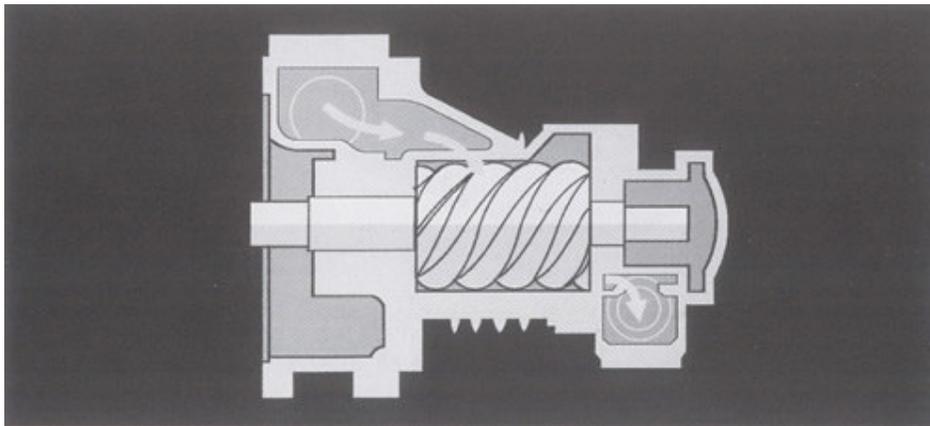


Fig. 2.150. Esquema de compresor de simple tornillo rotativo.

Para una eficiencia óptima, la presión interior determinada por la relación volumétrica del compresor debería coincidir con la presión externa existente en el sistema de refrigeración. Los compresores de tornillo más modernos tienen la capacidad de ajustar continuamente su geometría interna para proporcionar una relación volumétrica que haga que la presión interna coincida exactamente con la presión externa.

La refrigeración de los compresores se realiza mediante la inyección de aceite que además sirve de lubricante y sellado de las uniones entre los rotores y las paredes del compresor. Este aceite absorbe una gran cantidad del calor de compresión. Para una óptima eficiencia el aceite se

refrigera en un intercambiador de carcasa y tubo externo con agua fría. La refrigeración mediante la inyección directa de aceite en el compresor reduce la capacidad de la máquina con su correspondiente pérdida de eficiencia.

4) Capacidad de control de capacidad en lubricantes de tornillo.

Hay dos maneras para ajustar la capacidad de compresión: variar la velocidad; y ajustar el grado de apertura de la válvula deslizante a la entrada de los rotores.

Los compresores de velocidad variable son relativamente nuevos en el mercado, pero ofrecen mucho mejor resultado a carga parcial que el método de válvula deslizante. Se puede ajustar el funcionamiento de forma muy precisa a la línea ideal en la siguiente figura donde la capacidad es del 50%, donde la válvula deslizante comienza a funcionar.

Para compresores sin variadores de velocidad, cuando la válvula deslizante está totalmente cerrada (100% de la capacidad) todo el gas entra en el compresor y se descarga al condensador. Con la válvula completamente abierta (mínima capacidad) aproximadamente el 90% del gas regresa a la succión sin haber sido comprimido. Debido a las pérdidas internas del compresor, el funcionamiento a carga parcial (60%) es relativamente ineficiente. En la siguiente figura se muestra la variación en la potencia frente a la capacidad de un compresor de tornillo típico con una relación de compresión de 4:1.

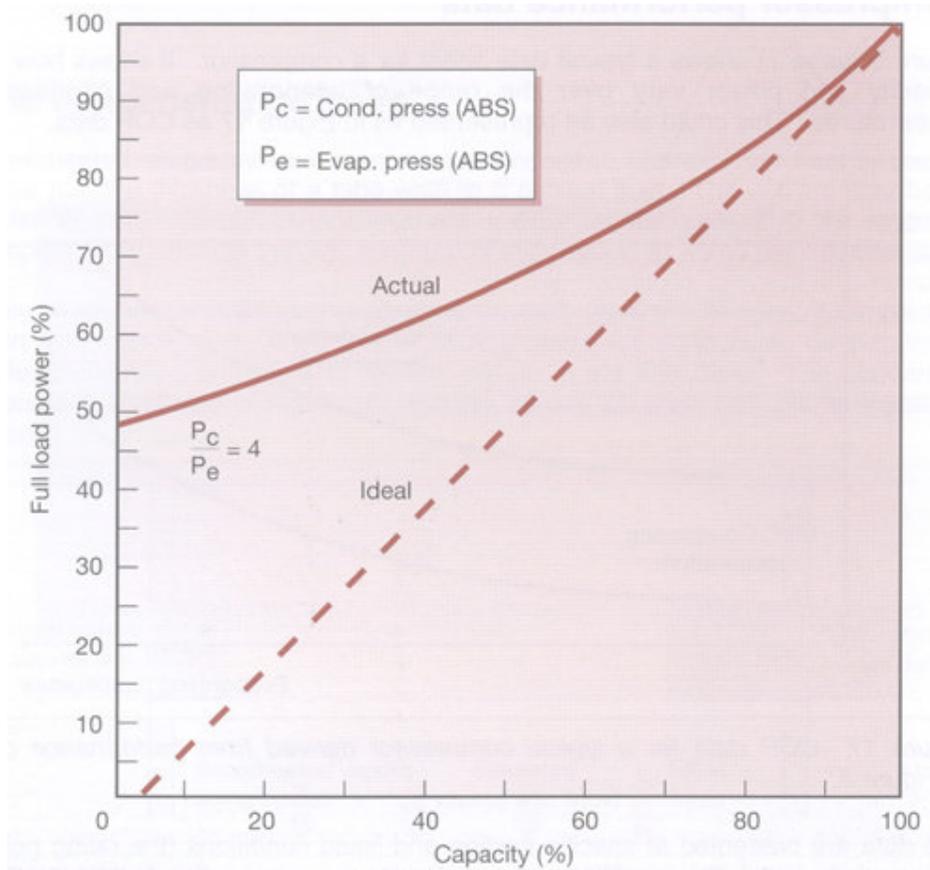


Fig. 2.151. Consumo de potencia frente a capacidad en un compresor de tornillo.

En la figura se muestran las pérdidas en un compresor, comparando las teóricas con las que ocurren en la práctica.

c) *Compresores scroll (espiral).*

2) Descripción.

Este tipo de compresor tiene dos espirales concéntricas, una fija y otra móvil. El refrigerante se comprime progresivamente en el espacio que queda entre estas dos espirales. El refrigerante a alta presión se descarga continuamente del compresor. En la siguiente figura se muestra un compresor scroll hermético.

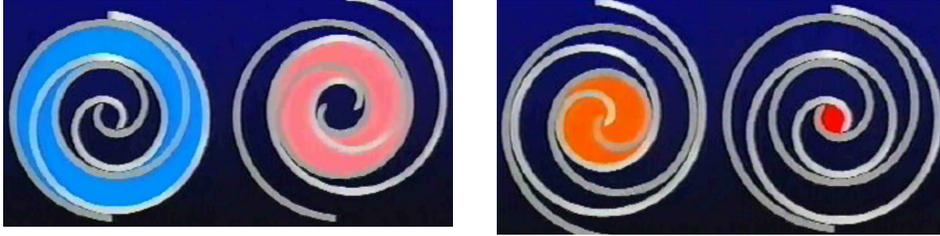


Fig. 2.152. Esquema del proceso de compresión.

El rango de potencias de este tipo de compresores está limitado, los más usados son de un tamaño de 12 kW. La aplicación que tienen es la de ser usados en aplicaciones de tipo medio o pequeñas tales como frigoríficos, depósitos de leche y cerveza o en grupos controlados en secuencia.

Los compresores scroll tienen menos vibraciones y movimiento que los compresores de pistón. A altas temperaturas de evaporación suelen ser más eficientes que los compresores de pistón, pero no ocurre lo mismo a bajas temperaturas.

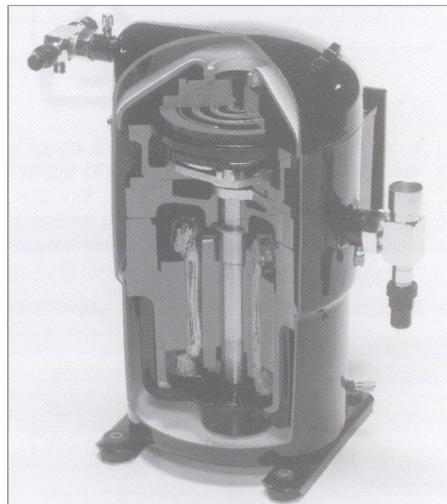


Fig. 2.153. Compresor scroll hermético.

d) Compresores centrífugos.

3) Descripción.

Está conformado por tres partes principales conocidas como rodete, difusor y múltiple de distribución, cada uno con una función específica en el proceso de compresión.

El aire entra al compresor cerca de su eje en dirección axial y es impulsado en forma radial por la fuerza centrífuga producida por el movimiento del rodete. El aire que sale radialmente y a gran velocidad del rodete, es tomado por el difusor donde la energía cinética del aire se transforma en energía potencial en forma de presión. El múltiple de distribución recoge el aire a presión y lo entrega a las cámaras de combustión



Fig. 2.154. Compresor centrífugo.

4) Control de la capacidad.

Cuando se requieran grandes volúmenes de refrigerante los compresores centrífugos son los más apropiados. Cuando pueden aparecer grandes diferencias de carga, el método más común de control de la capacidad de carga es el estrangulamiento de la válvula de descarga o la realización de un bypass de la descarga a la succión. Con ambas medidas se reduce la eficiencia. Más recientemente se han introducido los variadores de frecuencia que mejoran mucho el rendimiento a carga parcial.

Estos compresores normalmente son elegidos y ajustados a las necesidades de los compresores y evaporadores por los propios fabricantes. Si se prevé un funcionamiento a carga parcial durante largos periodos, el fabricante debe tenerlo en cuenta cuando se elija el compresor para disminuir la disminución de la eficiencia.

A tener en cuenta.

- Las cámaras y las estancas refrigeradas tienen cargas térmicas muy variables según la temperatura, que hace que el control de los compresores sea delicado y especialmente importante.

- La regla de oro es que se debe evitar en la medida de lo posible el funcionamiento de los compresores a carga parcial.
- Los compresores deben de estar correctamente refrigerados.
- El nivel de aceite de los compresores debe estar entre los límites especificados. Una reducción en el nivel de aceite indica que éste se está perdiendo por el sistema, normalmente en el evaporador, reduciendo su eficiencia.
- Existen subvenciones para la instalación de controles el sistema de refrigeración.

2.7.3 Proceso de refrigeración utilizando una unidad de frío.

En la siguiente tabla se exponen una lista de Medidas de Ahorro Energético referido a unidad de frío que muestra un estimado periodo de retorno, ahorro energético típico y el coste de inversión basado en recientes estudios.

MEDIDA	PERIODO DE RETORNO*	POT. AHORRO**	INVERSIÓN***
Optimizar el funcionamiento de los condensadores	Corto	2	Baja
Estar seguro de que hay suficiente refrigerante.	Corto	3	Media
Optimizar los ciclos de descongelado y los tiempos	Corto	6	Media
Utilizar el “frío gratuito” cuando sea posible.	Medio	1	Media
Asegurarse de que los compresores están correctamente operados	Media	4	Media
Aislar las tuberías de refrigerante y las líneas de succión	Medio	5	Alta

*El periodo de retorno esta dado como Corto, Medio o Largo donde: Corto < 1 año, Medio de 1 a 3 años y Largo > 3 años.

**En el ahorro 1 representa la medida que ofrece mayor potencial de ahorro.

***La inversión está dispuesta en diferentes categorías que son: Baja < 3000€, Media entre 3000€ y 15000€ y Alta > 15000€.

Tabla 2.37. Medidas de Ahorro Energético con la Unidad de Frío.

2.7.3.1 Optimizar el funcionamiento de los condensadores.

Se pretende con esta medida reducir el trabajo del compresor ya que disminuye la presión de condensación con la que trabaja el ciclo frigorífico. Según el ciclo teórico de Carnot el COP del ciclo aumenta al disminuir la temperatura de condensación.

Aún siendo un ciclo teórico, el resultado se puede extrapolar a los ciclo reales. Como consecuencia se tiene menor consumo energético del compresor,

aunque existen otros beneficios, como son una temperatura de descarga menor y aumento de la vida del compresor al trabajar en condiciones menos extremas.

Se tienen varias líneas de acción para disminuir la temperatura de condensación:

La primera consiste en el cambio de la tipología del condensador. Diferentes tipos de condensadores para un mismo emplazamiento dan temperaturas de condensación diferentes, bien sea por el fluido refrigerante utilizado o por el mecanismo de transferencia.

Por otro lado el sistema de condensación debe estar diseñado para poder evacuar todo el calor en las condiciones de máxima carga y cuando las condiciones climatológicas exteriores son más desfavorables. Esto provoca que la mayor parte del tiempo de funcionamiento de la instalación, el sistema esté sobredimensionado. Los sistemas normalmente utilizan un control fijo de la presión de condensación elevado, que se ajusta a las condiciones más desfavorables del año. Se trata entonces de eliminar el control por presión de alta y permitir que la condensación fluctúe con las condiciones ambientales.

La última línea de trabajo consiste en un pre-enfriamiento evaporativo del aire de refrigeración del condensador, reduciendo así la temperatura de entrada del fluido refrigerante.

a) Sustitución del tipo de condensador.

Dependiendo del fluido refrigerante que se utilice, aire o agua, se conseguirán una temperatura de condensación u otra, ya que ésta está completamente influenciada por el ambiente exterior con que se condense. Por tanto el ahorro corresponde a las condiciones límites con que pueden operar cada uno de los diferentes equipos. Se tienen varias opciones:

- *Condensador de Aire:* La temperatura de condensación en este caso depende de la temperatura seca del aire exterior de la localidad. Es donde se alcanzan las mayores temperaturas de condensación, debido a la escasa capacidad del aire para extraer calor en comparación con el agua, por lo que, para no tener un condensador de grandes dimensiones, la diferencia de temperaturas entre refrigerante y aire es elevada. Valores normales son de unos 10 °C. Por tanto se tiene:

$$T_{cond} = T_{secaaire} + DT_{aire}$$

Siendo DT_{aire} la diferencia de temperatura entre el aire a la salida del condensador, T_{cond} la temperatura de condensación y $T_{secaaire}$ la temperatura de entrada del aire al condensador.

- *Condensadores de agua:* Se usa agua como refrigerante del ciclo. Dependiendo de la temperatura de retorno del agua se tendrá una temperatura de condensación. Además la capacidad de absorber calor del agua es mayor que la del aire, con lo que se trabaja con menores incrementos de temperatura. La diferencia de temperaturas entre el refrigerante y el agua a la salida del condensador (DT_{agua}) se encuentra por regla general alrededor de los 5 °C.

$$T_{cond} = T_{agua} + DT_{agua}$$

El agua se puede enfriar en una torre de refrigeración, que es el procedimiento más habitual. El límite está en la temperatura de bulbo húmedo de la localidad que es menor que la temperatura seca del aire, con lo que se obtienen temperaturas de condensación más bajas. La temperatura con la que sale el agua de la torre dependerá de la cercanía y el rango con que trabaje la torre. El rango es la diferencia de temperatura del agua entre la entrada y la salida de la torre. La cercanía es la diferencia de temperatura entre la salida del agua de la torre y la temperatura de bulbo húmedo del aire ambiente. Cuanto menor es la cercanía más grande es la torre.

- *Condensador evaporativo:* Es mejor que utilizar agua de una torre de refrigeración, porque puede operar con menor temperatura, la de bulbo húmedo de la localidad más el salto de temperatura que se le quiera dar. Con una torre, aparte del salto de la torre, el agua se devuelve al condensador que funcionará con una diferencia de temperatura entre refrigerante y agua determinada, y con el evaporativo sólo se da el salto de un equipo. La diferencia de temperatura suele ser de unos 10 °C, pero con respecto a la temperatura de bulbo húmedo.

$$T_{cond} = T_{bh} + DT_{evaporativo}$$

TIPO CONDENSADOR	T ° DE CONDENSACIÓN TÍPICAS
CONDENSADOR DE AIRE	<p>Refrigerante 45 °C Tcond 5 °C aumento de T 5 °C DT 30 °C T seca del aire</p>
CONDENSADOR EVAPORATIVO	<p>38 °C Tcond Aire húmedo 12 °C DT 26 °C Tbh</p>
CONDENSADOR DE AGUA (agua bruta)	<p>Refrigerante 30 °C Tcond 5 °C aumento de T 5 °C DT 20 °C Tagua</p>
CONDENSADOR DE AGUA (agua recirculada)	Condensador
	Torre Refrig.
	<p>41 °C Tcond 5 °C aumento de T 5 °C DT 31 °C</p> <p>31 °C 5 °C DT 26 °C Tbh</p>

Fig. 2.155. Comparativa de temperaturas de condensación.

b) Control Flotante de la presión de condensación.

Existe la oportunidad de reducir la presión de condensación cuando el sistema de condensación, ya sea de aire, por agua de torre o evaporativo, está operando por debajo de su máxima capacidad. Debido a que el sistema de condensación está diseñado para condiciones de verano, el exceso de capacidad se hará patente en otras épocas del año con climas más benignos. En vez de controlar el sistema con una temperatura fija de condensación (como hacen la mayoría de las instalaciones), es conveniente usar la mínima temperatura de condensación, que nos permita el ambiente exterior, compatible con el correcto funcionamiento de la instalación.

Aún así una temperatura de condensación puede no ser posible debido a ciertas limitaciones. El principal factor limitante es la válvula de expansión. Una temperatura de condensación demasiado baja reduce la diferencia de presión a lo largo del sistema de expansión, con lo que se reduce la capacidad de control, originándose problemas de alimentación del evaporador. Dependiendo de la mínima diferencia de presión necesaria en la válvula de expansión podrá ajustarse el valor mínimo de presión de condensación. La temperatura de condensación a su vez puede estar condicionada por la presión de desescarche (si es por gas caliente) o por la presión del aceite de lubricación (compresores de tornillo).

Por tanto dependiendo de si la válvula de expansión ofrece limitación o no, se adoptan diferentes estrategias. Estas son:

- 7) Disminuir la presión de alta hasta el mínimo que permita la válvula de expansión.
- 8) Instalar bombas amplificadoras de presión en la línea de líquido.
- 9) Instalar dos circuitos con presiones diferentes.

Estrategia 1: Reducción del valor de la presión de alta hasta el mínimo posible.

La estrategia consiste simplemente en cambiar el valor de la presión de alta de condensación, que por defecto es demasiado alta, compatible con el funcionamiento de la válvula de expansión. El sistema trabaja entonces con presión flotante hasta el límite nuevo impuesto.

La siguiente figura ilustra el ahorro que es posible alcanzar al ajustar la presión de alta de condensación, para una temperatura de condensación de diseño de 40 °C y asumiendo una temperatura de evaporación de -30°C.

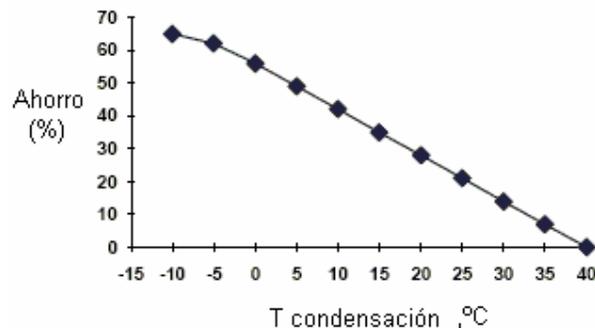


Fig. 2.156. Ahorro al reajustar el control por presión de alta.

Estrategia 2: Instalar bomba amplificadora de presión en la línea de líquido.

Las bombas de amplificadoras de presión aumentan la presión del refrigerante entre el condensador y la válvula de expansión. Esto permite no tener que utilizar una regulación fija de la presión de condensación, permitiendo que esta varíe en función del ambiente exterior o el porcentaje de carga y no existirá problema con la válvula de expansión que trabajará con el salto de presiones óptimo. Además reduce los efectos de la caída de presión en la línea de líquido que puede provocar formación de gas en la línea.

El esquema de la instalación es el siguiente:

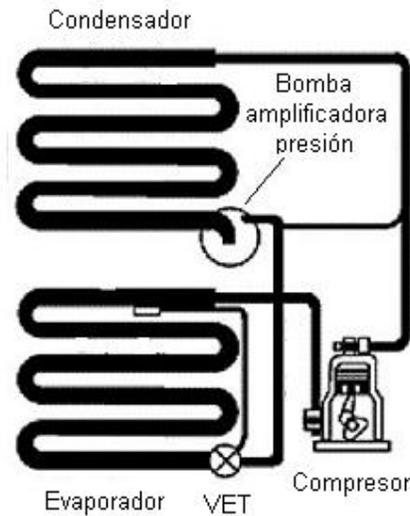


Fig. 2.157. Instalación con bomba amplificadora de presión.

La temperatura de condensación puede ser tan baja como permitan las condiciones exteriores, y la bomba dará el aumento de presión necesario al líquido para que funcione correctamente la válvula de expansión. Mientras la presión de condensación sea lo suficientemente alta para permitir una buena alimentación del evaporador por parte de la válvula de expansión, no es necesaria la utilización de la bomba, y el líquido no será bombeado. Cuando se detecta que la presión de condensación es baja, se manda la orden a la bomba de líquido de que aumente la presión, de esta manera la bomba sólo funcionará en caso de que sea estrictamente necesario, reduciéndose así su consumo.

Estrategia 3: Instalar dos circuitos con presiones diferentes.

La instalación consiste en dividir el sistema en dos, de manera que cada uno de ellos trabaje a una presión. Los dos circuitos no trabajan a la vez, uno de ellos representa la práctica totalidad de la potencia y funciona con presión completamente flotante, y el otro se utiliza cuando la presión de condensación se hace tan baja que provoca problemas en la válvula de expansión.

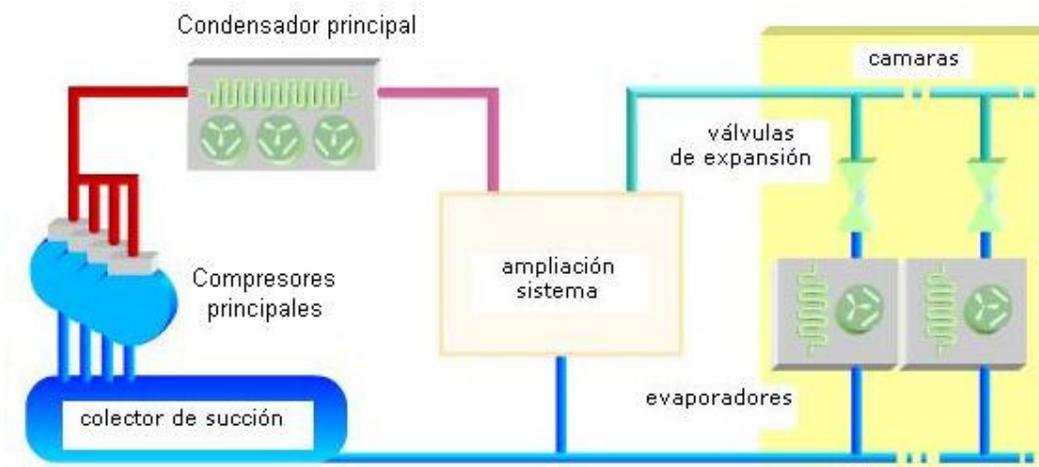


Fig. 2.158. Ampliación de la instalación antigua

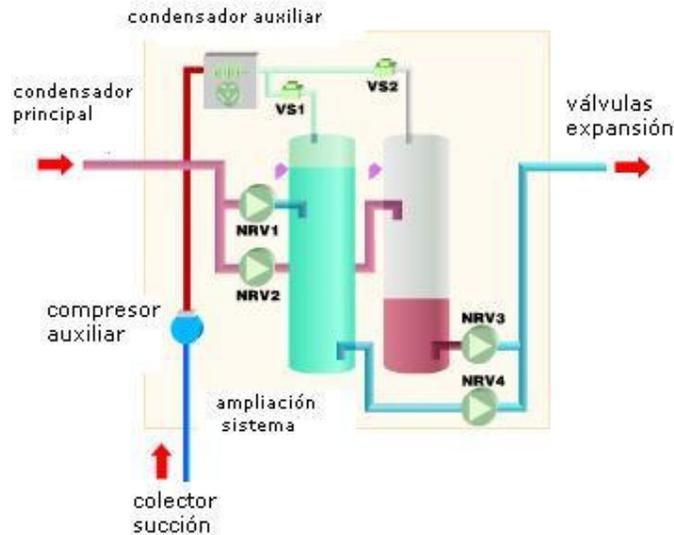


Fig. 2.159. Detalle de la ampliación del sistema

El funcionamiento es el siguiente:

Durante el funcionamiento normal se utiliza el sistema principal que funciona con presión completamente flotante. Cuando la presión es demasiado baja para el correcto funcionamiento de las válvulas de expansión, una válvula de solenoide corta la alimentación a la central de compresores principal y abre la auxiliar.

En ese momento del colector de succión se aspira el refrigerante hacia el compresor auxiliar que trabaja con mayor diferencia de presiones, permitiendo el funcionamiento idóneo del dispositivo de expansión.

El cierre del circuito principal provoca un paulatino aumento de la presión en el condensador principal, y cuando esta presión ha aumentado lo suficiente se vuelve a abrir el circuito principal y se cierra el auxiliar. Durante el transitorio se ha estado utilizando el sistema auxiliar, que aunque tenga menor capacidad no provoca un aumento de la temperatura del proceso debido al poco tiempo que está en funcionamiento.

El sistema cuenta con una doble sección de compresión y condensación. Cada una de ellas actúa sobre uno de los dos recipientes de líquido, permitiendo las presiones de condensación diferenciadas.

c) Instalar un enfriador evaporativo en la toma de aire del condensador.

Se pretende con esta medida provocar un enfriamiento previo del aire de refrigeración del condensador. Cuanto menor sea la temperatura del aire a la entrada de la unidad condensadora, menor será la temperatura de condensación del refrigerante, y se reduce de esta manera el consumo del compresor. La aplicación, por tanto, está reservada a sistemas de condensación por aire.

Se trata de una unidad montada en la toma de aire del condensador. El enfriador consiste en una carcasa metálica en donde se aloja un relleno. Se pulveriza agua sobre el relleno (con el relleno se aumenta la superficie de transferencia) y la corriente de aire lo atraviesa, provocando la evaporación de una cantidad mínima de agua, proceso que absorbe calor y enfría el aire. Una válvula de solenoide activada por temperatura controla los ciclos de marcha y parada para proporcionar suficiente agua a la superficie del relleno con el mínimo gasto de agua. En la siguiente figura se puede observar un enfriador evaporativo.

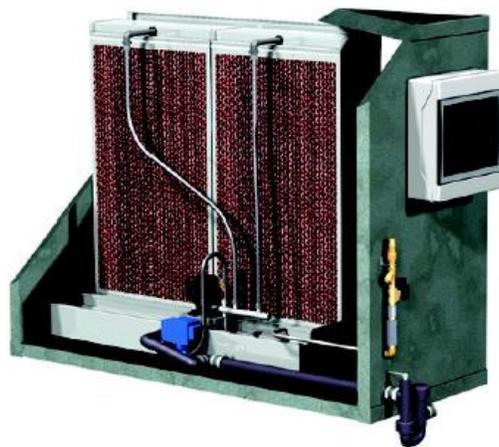


Fig. 2.160. Enfriador evaporativo.

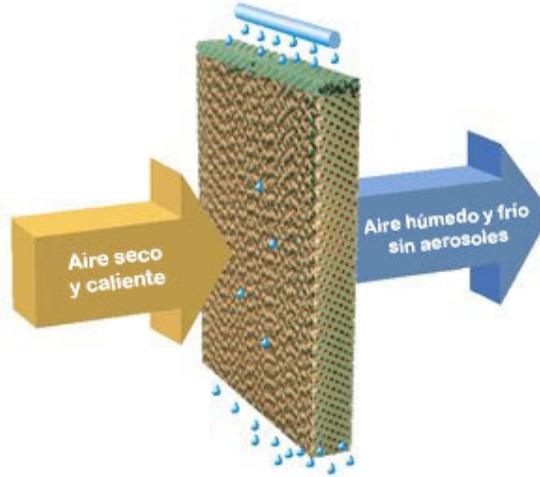


Fig. 2.161. Proceso enfriamiento del aire al atravesar el relleno.

Los ahorros energéticos que se obtienen son muy dependientes de las temperaturas de bulbo seco y húmedo exteriores. Y debido a esto, es un método muy apropiado para climas cálidos y secos, ya que de esta manera se podrá evaporar mayor cantidad de agua y enfriar más el aire. Y es en los meses más cálidos cuando presenta mejores resultados. En la siguiente figura se aprecia el potencial de reducción de temperatura en un clima cálido como en España.

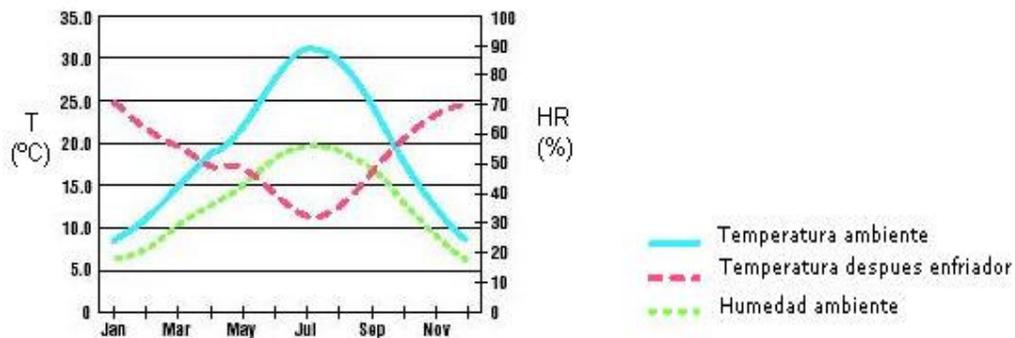


Fig. 2.162. Reducción de la temperatura del aire en climas cálidos.

A tener en cuenta.

- En muchos intercambiadores se consiguen menores temperaturas en invierno que en verano.
- En condensadores de aire seco y evaporativos, es común desconectar alguno de los ventiladores para evitar que la temperatura de condensación decaiga demasiado.

- De forma similar, cuando se utilizan torres de refrigeración o intercambiadores de aire seco-agua para eliminar calor, se manipulan las válvulas en el mismo sentido que se desconectan ventiladores para mantener la presión de condensación.
- Estos ajustes son raramente optimizados, y es muy factible trabajar a mucha menos presión que la correspondiente a las condiciones de verano.

2.7.3.2 Estar seguro de que hay suficiente refrigerante.

Es importante que el sistema esté cargado con la correcta cantidad de refrigerante limpio. Si el sistema tiene menos cantidad de la necesaria la presión de succión es menor de la que debería ser, aumentando la diferencia de temperatura entre la temperatura de condensación y compresión y el consumo energético. Además cuando la carga es elevada, el sistema no es capaz de responder si no está suficientemente cargado.

Es mucho menos común que una instalación se encuentre sobrecargada, pero si se da el caso, el refrigerante vuelve al condensador aumentando la presión de condensación. Esto aumenta la diferencia de temperatura entre la temperatura de condensación y compresión por lo que aumenta el consumo energético. De nuevo, el sistema no podrá hacerse cargo de toda la demanda.

A tener en cuenta.

- Muchas veces los sistemas no tienen suficiente refrigerante porque no se ha cargado el suficiente o hay pérdidas.
- Un equipo con poca carga de refrigerante trabaja a una presión inferior de evaporación, reduciendo su eficiencia.
- Una buena indicación de la falta de refrigerante es la visión de burbujas a través de las mirillas en tuberías. Esto también puede ser producto de un ensuciamiento de los filtros o de un fallo en la condensación.
- Las posibles fugas deben ser revisadas y reparadas antes de volver a incorporar la cantidad correspondiente de refrigerante. Las fugas de refrigerante son muy peligrosas (especialmente cuando el refrigerante es amoníaco o algún hidrocarburo), o muy contaminantes (cuando el refrigerante es CFC, HCFC o HFC).

2.7.3.3 Optimizar los ciclos de descongelado y los tiempos.

Descripción: La acumulación de hielo en la superficie del evaporador reduce la transferencia de calor en el mismo, provocando un mayor consumo de la instalación, debido a que se debe evaporar a menor presión para obtener la temperatura requerida en el proceso. Incluso en ocasiones se podría producir

la parada de la instalación al no poder conseguirse las necesidades del proceso (parada por presión de baja). Por tanto esta acumulación de hielo debe ser retirada. El proceso de desescarche de los evaporadores puede llegar a suponer hasta un 15 % del consumo total de energía de la instalación, lo que no supone un consumo despreciable.

En la mayoría de las instalaciones los ciclos de desescarche se inician a intervalos regulares durante el día por un contador de tiempo. Este contador está normalmente calibrado para acomodarse a las condiciones de verano de mayor humedad de la localidad, donde la escarcha acumulada llega a su máximo. Pero durante el resto del año, donde las condiciones de humedad no son tan críticas, los ciclos de desescarche son más numerosos y duran más tiempo del deseado.

La medida consiste por tanto en iniciar el proceso solamente cuando sea necesario, ya que en diferentes épocas del año se tienen necesidades diferentes. A su vez termina tan pronto como el hielo se ha eliminado del intercambiador. Así se consigue disminuir tanto la duración como la frecuencia de los ciclos.

La medida no sólo ahorra energía, sino que puede también aumentar la calidad del producto al estar sometido el evaporador a un menor número de paradas.

Para poder realizar convenientemente el desescarche por demanda se procede a la instalación de un sensor de desescarche en la superficie del evaporador. Existen diferentes tipos de sensores: ópticos, de presión (miden pérdida de carga del aire al atravesar el evaporador), de diferencia de temperatura, etc.

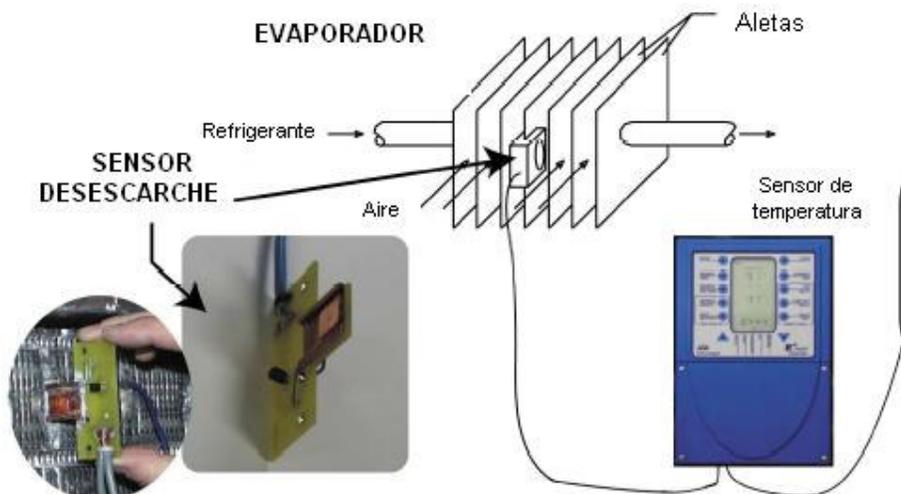


Fig. 2.163. Sensor de desescarche controlado por temperatura.

Su instalación es sencilla, tanto en instalaciones nuevas como en las instalaciones donde se desee realizar la mejora. Además es sencillo incorporar el sensor al sistema de control de planta.

- Puede utilizarse además tanto en pequeñas instalaciones con un solo evaporador, como en grandes instalaciones industriales y comerciales con un gran número de evaporadores sin peligro de iniciar el ciclo en todos los evaporadores simultáneamente.

A tener en cuenta.

- La eliminación de la escarcha de los evaporadores consume mucha energía. Cuando la temperatura del sistema está en torno a los 25%, la energía requerida para una descongelación eléctrica es la misma que la consumida por los compresores.
- Rara vez la eliminación de la capa de escarcha afecta a la temperatura alcanzada por el evaporador.
- Descongelar demasiado significa perder energía.
- Descongelar demasiado tiempo es un desperdicio de energía.
- De este modo, la eliminación del hielo solo debe comenzar cuando las superficies del evaporador se encuentren bloqueadas por el hielo, y debe acabar tan pronto como el hielo sea eliminado.

2.7.3.4 Utilizar el “frío gratuito” cuando sea posible.

El “frío gratuito” es una manera de enfriamiento del ambiente sin la necesidad de usar la refrigeración. Hay muchos métodos por los cuales se puede obtener “frío gratuito”, ya sea la propia temperatura del ambiente, por medio de las torres de refrigeración de agua, el agua subterránea o el agua de un río.

Se debe tener en cuenta que más de la mitad del año:

- 1.- La temperatura ambiente es menor de 10°C.
- 2.- La temperatura del agua está por debajo de 8°C.
- 3.- Las torres de refrigeración proporcionan agua por debajo de 13°C.

Estos medios pueden utilizarse directamente o como prerrefrigerante para refrigerar por otros medios.

Purga Nocturna.

Los grandes edificios tienen la capacidad de “cargarse” de calor durante el día. Es posible purgar ese calor hacia el exterior haciendo entrar aire frío del exterior durante la noche.

La temperatura del aire exterior son menores durante la noche, y la diferencia de temperatura entre el edificio y el aire es máxima permitiendo la máxima transferencia de calor.

El aire fresco puede ser distribuido en todo el edificio por el sistema de ventilación existente. El diseño de nuevos edificios se puede adecuar a tareas de purga nocturna.

Refrigeración evaporativa.

Cuando se permite que el agua fría pase a través del aire exterior, cuando el agua se evapora, el calor latente de la vaporización es absorbido por el aire de alrededor, produciendo un efecto de refrigeración. La temperatura del bulbo húmedo del ambiente determina la temperatura final del agua. Este tipo de refrigeración se utiliza con torres de refrigeración del tipo evaporativas.

Los factores más importantes que hacen que varíe la tasa de evaporación, y así la cantidad de calor que puede ser transferido son:

- Superficie de contacto entre el agua y el aire: A mayor superficie de contacto mejor es la transferencia de calor.
- Humedad relativa del aire ambiente: El aire que es más seco acepta mayor cantidad de vapor de agua.
- Movimiento del aire: El movimiento del aire a través del vapor elimina hace que el aire saturado de agua se evacue y entre aire seco que acepte una cuota mayor de vapor.

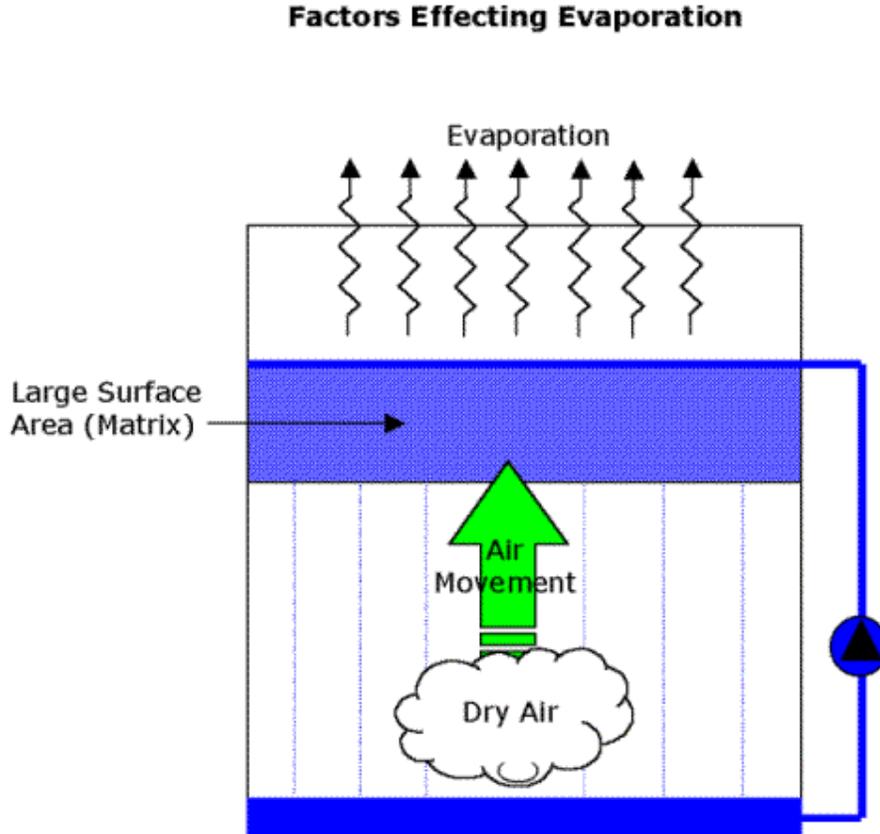


Fig. 2.164. Factores que afectan a la evaporación.

Se obtienen muchos beneficios mediante la utilización de las torres evaporativas. Son económicas, dado que no son necesarios los compresores o condensadores. El coste de operación es solo una fracción del de un sistema convencional de aire acondicionado y un sistema de refrigeración mecánica. Los costes de mantenimiento son mínimos y sobre todo muy simples. Es un sistema muy efectivo: los refrigeradores evaporativos han sido usados durante cientos de años en diversos tipos de refrigeración y todavía es común su uso en todo el mundo debido a su simplicidad y bajo coste.

Refrigeración por absorción.

La refrigeración por absorción permite que la energía calorífica sea el responsable de producir el efecto frigorífico.

A refrigeración por absorción funciona porque unas sustancias químicas tienen una gran afinidad para disolverse en otras, por ejemplo, una solución de bromuro de litio en contacto con el agua formará vapor para poder diluirse.

Esta afinidad es aprovechada en la refrigeración por absorción, para evaporar el agua, que en este caso es el refrigerante, en un evaporador convencional en el absorbedor.

El bromuro de litio (en solución) y el agua es una de las parejas más utilizadas en este tipo de equipos. Otra pareja muy testada es la de amoníaco y agua. Los parámetros de funcionamiento dependen de la pareja que se haya elegido.

La fuente de calor usada en la absorción puede venir impuesta de diferentes maneras como son el agua caliente, vapor o directamente quemando gas natural.

El COP de un equipo de refrigeración por absorción es de aproximadamente 0.7 – 0.8, pero esto depende del evaporador, condensador, absorbedor...

La refrigeración por absorción puede ser utilizada donde existen flujos a altas temperaturas que no tienen ninguna aplicación específica. Las CHP son un muy buen ejemplo donde la fuente de calor de la refrigeración por absorción puede ser las corrientes de agua caliente.

A tener en cuenta.

- Durante los meses fríos del año la refrigeración puede obtenerse simplemente usando el aire exterior.
- Ventilación natural puede obtenerse abriendo una ventana alta y otra baja, provocando una corriente forzada.
- Un aumento de la refrigeración puede ser suministrada (sobre todo en verano), usando agua como refrigerante y disipando calor por evaporación.
- Usar ventiladores para provocar movimiento de aire, o extraer el calor local es mucho más eficiente que la utilización de un sistema de refrigeración.
- Enfriadores de absorción pueden ser alimentados por el calor desalojado.
- El uso del frío gratuito puede ser integrado con sistemas de producción de frío obteniendo así ahorros del 70%.
- El aumento de estrategias de control como “purgas nocturnas” y “control de entalpía” pueden ayudar al incremento del frío gratuito.

2.7.3.5 Asegurarse de que los compresores están correctamente operados.

Existen una serie de normas principales a cumplir para cada tipo de compresor.

a) *Correcto control de los compresores de pistón.*

5. Descripción.

Los compresores de pistón son el tipo de compresor más usado en la actualidad.

El gas succionado por las válvulas de admisión es comprimido por los pistones en el interior de unas cámaras de compresión denominadas cilindros. Las válvulas de admisión y de succión son simples válvulas de mariposa (en pequeños compresores) o válvulas de anillo (en los más grandes).

Hay compresores de pistones de muy variados tamaños y potencias, desde un pequeño, compresor monocilíndrico usado n las neveras domésticas hasta compresores de 24 cilindros usados en aplicaciones industriales de gran tamaño. En la siguiente figura se muestra un corte de un compresor de pistones semihermético.

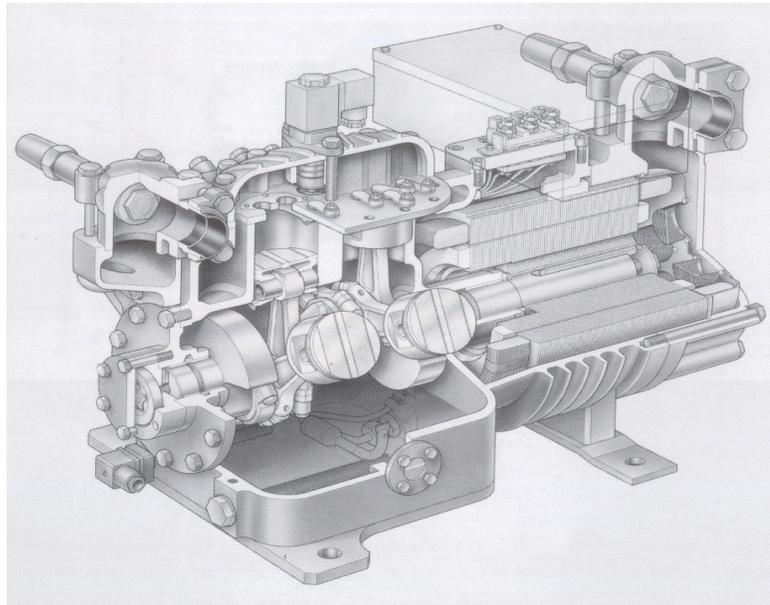


Fig. 2.165. Corte de un compresor de pistones.

6. Control de capacidad en compresores de pistón.

Los compresores de pistón (típicamente de una potencia de 7.5 kW) pueden estar dotados de control de capacidad. Esto se consigue por uno de los siguientes métodos:

- Bloquear la succión de gas en uno o más cilindros, reduciendo así la relación de compresión del compresor.

- Abrir la válvula de succión.
- Descargando el gas a un circuito de recirculación. El vapor descargado por el pistón se devuelve directamente a la línea de succión, así se reduce la cantidad de refrigerante bombeado en el sistema, pero no la cantidad que pasa por el compresor.

El último método es el menos eficiente (la potencia consumida por el compresor suele ser muy parecida a plena carga y a media carga). Con los otros métodos la potencia consumida decrece a la vez que se reduce la capacidad de la instalación.

b) Compresores de tornillo.

5) Descripción.

Los compresores de tornillo más ampliamente utilizados son los compresores de tornillo de inyección de aceite de doble o simple tornillo rotativo.

El compresor de tornillo es una máquina de desplazamiento positivo capaces de trabajar con relaciones de compresión mucho mayor que los compresores de pistón. Esto son, gracias a las pocas partes móviles que tienen, ideales para ser utilizados en aplicaciones de larga duración y grandes cargas. Al contrario de lo que ocurre con los compresores de pistón, la presión interna con la que trabajan estos compresores viene determinada por la propia construcción geométrica.

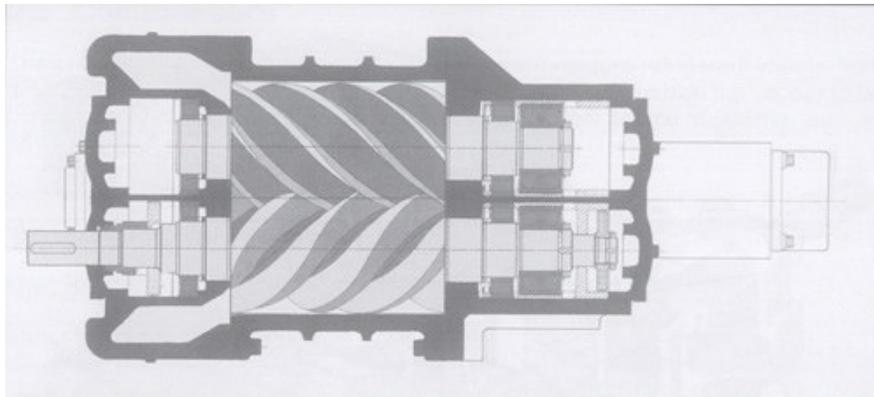


Fig. 2.166. Esquema de compresor de doble tornillo rotativo.

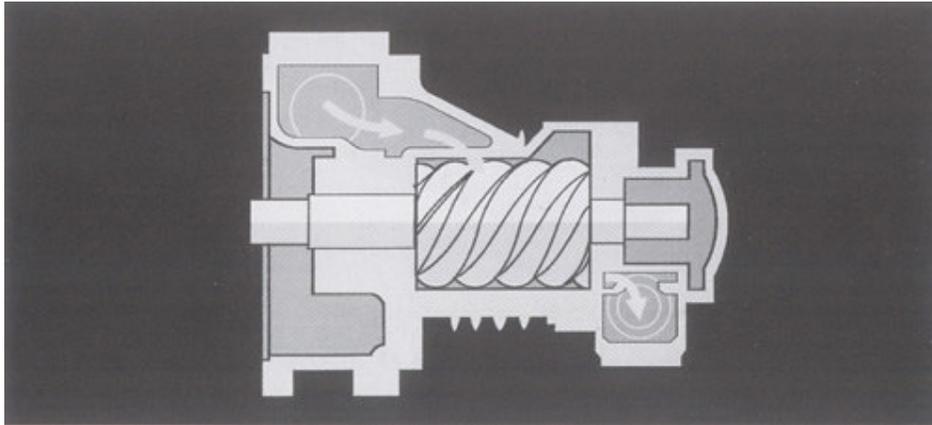


Fig. 2.167. Esquema de compresor de simple tornillo rotativo.

Para una eficiencia óptima, la presión interior determinada por la relación volumétrica del compresor debería coincidir con la presión externa existente en el sistema de refrigeración. Los compresores de tornillo más modernos tienen la capacidad de ajustar continuamente su geometría interna para proporcionar una relación volumétrica que haga que la presión interna coincida exactamente con la presión externa.

La refrigeración de los compresores se realiza mediante la inyección de aceite que además sirve de lubricante y sellado de las uniones entre los rotores y las paredes del compresor. Este aceite absorbe una gran cantidad del calor de compresión. Para una óptima eficiencia el aceite se refrigera en un intercambiador de carcasa y tubo externo con agua fría. La refrigeración mediante la inyección directa de aceite en el compresor reduce la capacidad de la máquina con su correspondiente pérdida de eficiencia.

6) Capacidad de control de capacidad en lubricantes de tornillo.

Hay dos maneras para ajustar la capacidad de compresión: variar la velocidad; y ajustar el grado de apertura de la válvula deslizante a la entrada de los rotores.

Los compresores de velocidad variable son relativamente nuevos en el mercado, pero ofrecen mucho mejor resultado a carga parcial que el método de válvula deslizante. Se puede ajustar el funcionamiento de forma muy precisa a la línea ideal en la siguiente figura donde la capacidad es del 50%, donde la válvula deslizante comienza a funcionar.

Para compresores sin variadores de velocidad, cuando la válvula deslizante está totalmente cerrada (100% de la capacidad) todo el gas entra en el compresor y se descarga al condensador. Con la válvula completamente abierta (mínima capacidad) aproximadamente el 90% del gas regresa a la succión sin haber sido comprimido. Debido a las

pérdidas internas del compresor, el funcionamiento a carga parcial (60%) es relativamente ineficiente. En la siguiente figura se muestra la variación en la potencia frente a la capacidad de un compresor de tornillo típico con una relación de compresión de 4:1.

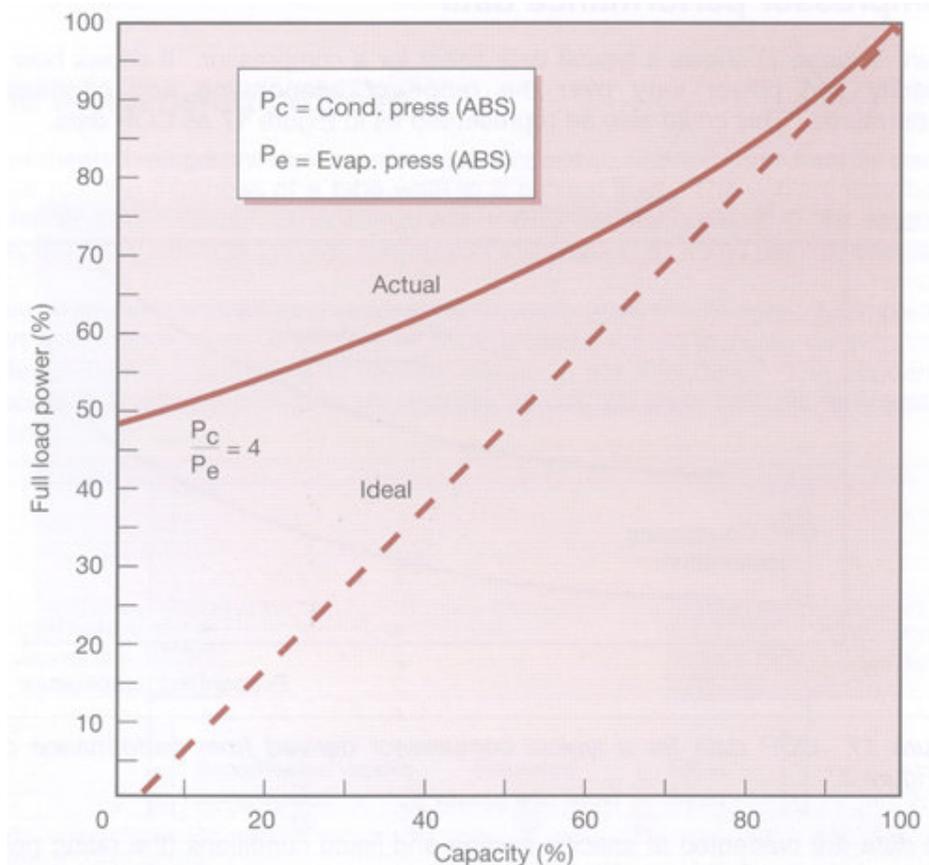


Fig. 2.168. Consumo de potencia frente a capacidad en un compresor de tornillo.

En la figura se muestran las pérdidas en un compresor, comparando las teóricas con las que ocurren en la práctica.

c) Compresores scroll (espiral).

3) Descripción.

Este tipo de compresor tiene dos espirales concéntricas, una fija y otra móvil. El refrigerante se comprime progresivamente en el espacio que queda entre estas dos espirales. El refrigerante a alta presión se descarga continuamente del compresor. En la siguiente figura se muestra un compresor scroll hermético.

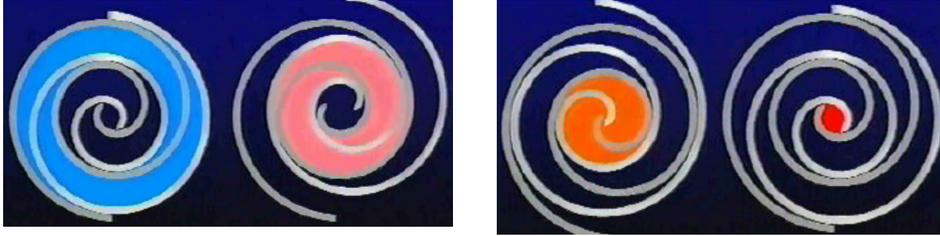


Fig. 2.169. Esquema del proceso de compresión.

El rango de potencias de este tipo de compresores está limitado, los más usados son de un tamaño de 12 kW. La aplicación que tienen es la de ser usados en aplicaciones de tipo medio o pequeñas tales como frigoríficos, depósitos de leche y cerveza o en grupos controlados en secuencia.

Los compresores scroll tienen menos vibraciones y movimiento que los compresores de pistón. A altas temperaturas de evaporación suelen ser más eficientes que los compresores de pistón, pero no ocurre lo mismo a bajas temperaturas.

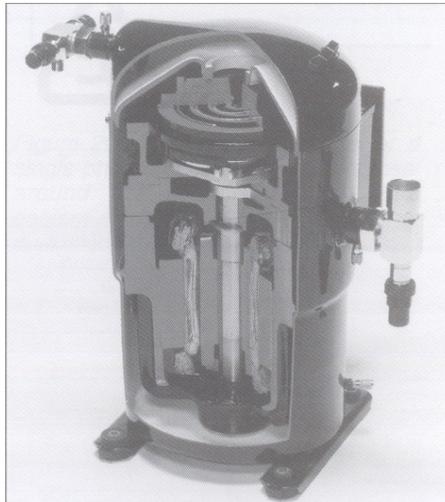


Fig.2.170. Compresor scroll hermético.

d) Compresores centrífugos.

5) Descripción.

Está conformado por tres partes principales conocidas como rodete, difusor y múltiple de distribución, cada uno con una función específica en el proceso de compresión.

El aire entra al compresor cerca de su eje en dirección axial y es impulsado en forma radial por la fuerza centrífuga producida por el movimiento del rodete. El aire que sale radialmente y a gran velocidad del rodete, es tomado por el difusor donde la energía cinética del aire se transforma en energía potencial en forma de presión. El múltiple de distribución recoge el aire a presión y lo entrega a las cámaras de combustión



Fig. 2.171. Compresor centrífugo.

6) Control de la capacidad.

Cuando se requieran grandes volúmenes de refrigerante los compresores centrífugos son los más apropiados. Cuando pueden aparecer grandes diferencias de carga, el método más común de control de la capacidad de carga es el estrangulamiento de la válvula de descarga o la realización de un bypass de la descarga a la succión. Con ambas medidas se reduce la eficiencia. Más recientemente se han introducido los variadores de frecuencia que mejoran mucho el rendimiento a carga parcial.

Estos compresores normalmente son elegidos y ajustados a las necesidades de los compresores y evaporadores por los propios fabricantes. Si se prevé un funcionamiento a carga parcial durante largos periodos, el fabricante debe tenerlo en cuenta cuando se elija el compresor para disminuir la disminución de la eficiencia.

A tener en cuenta.

- Las cámaras y las estancas refrigeradas tienen cargas térmicas muy variables según la temperatura, que hace que el control de los compresores sea delicado y especialmente importante.

- La regla de oro es que se debe evitar en la medida de lo posible el funcionamiento de los compresores a carga parcial.
- Los compresores deben de estar correctamente refrigerados.
- El nivel de aceite de los compresores debe estar entre los límites especificados. Una reducción en el nivel de aceite indica que éste se está perdiendo por el sistema, normalmente en el evaporador, reduciendo su eficiencia.
- Existen subvenciones para la instalación de controles el sistema de refrigeración.

2.7.3.6 Aislar las tuberías de refrigerante y las líneas de succión.

El efecto frigorífico se produce en el evaporador, y si hay subenfriamiento del líquido en la aspiración del compresor éste también puede ser utilizado. Como ésta es la zona más fría debe ser aislada para que no coja calor del exterior. El refrigerante está hirviendo en el evaporador, lo que significa que es especialmente efectiva la absorción de calor.

A tener en cuenta.

- La tubería de succión es el punto más frío de la instalación.
- Si la línea d succión no está aislada el gas que vuelve al compresor puede calentarse y la cantidad de refrigerante que el compresor puede mover se ve reducida.
- Esto reduce la eficiencia de la instalación, y merma la capacidad del compresor.

2.8 Removedoras y Mezcladoras.

2.8.1 Tanques de mezclado.

En la siguiente tabla se exponen una lista de Medidas de Ahorro Energético referido a los tanques de mezclado que muestra un estimado periodo de retorno, ahorro energético típico y el coste de inversión basado en recientes estudios.

MEDIDA	PERIODO DE RETORNO*	POT. AHORRO**	INVERSIÓN***
Trabajar en condiciones óptimas.	Inmediato	4	Ninguna
Elegir el apropiado equipo de mezclado para el proceso	Corto	1	Alta
Elegir el apropiado equipo de mezclado para el producto	Corto	2	Media
Ampliación de la producción.	Corto	3	Alta
Hacer un diseño flexible	Corto	5	Media
Maximizar la eficiencia mecánica del mezclador	Corto	6	Ninguna
Optimizar el proceso mediante el seguimiento de variables	Medio	7	Media

*El periodo de retorno esta dado como Corto, Medio o Largo donde: Corto < 1 año, Medio de 1 a 3 años y Largo > 3 años.

**En el ahorro 1 representa la medida que ofrece mayor potencial de ahorro.

***La inversión está dispuesta en diferentes categorías que son: Baja < 3000€, Media entre 3000€ y 15000€ y Alta > 15000€.

Tabla 2.38 . Medidas de Ahorro Energético los Tanques de Mezclado.

2.8.1.1 Trabajar en condiciones óptimas.

Descripción: Como en cualquier otro proceso de la industria trabajar en las condiciones óptimas de funcionamiento se traduce en un ahorro de energía. Para ello hay que estudiar exhaustivamente el proceso e identificar los puntos en los que se puede mejorar.

a) Evitar un mezclado excesivo.

Se considera un mezclado excesivo cuando el proceso de mezclado dura más tiempo del necesario, o se realiza más vigorosamente.

Para conseguir una reacción rápida, es necesario agitar vigorosamente en las primeras etapas de la reacción para obtener una buena transferencia de calor. En las últimas etapas se puede reducir agitación reduciendo la velocidad de giro de las palas (esto tiene el coste adicional de tener un motor de dos velocidades o de velocidad variable).

En una reacción de dos fases, donde las fases se separan tras la reacción, un mezclado excesivamente vigoroso puede ser un problema grave, dado que se

puede formar una emulsión con gotas demasiado pequeñas como para ser separadas económicamente. En estas circunstancias debe utilizarse un separador de alta intensidad, que utiliza mucha energía extra. Todo el proceso, incluido el mezclado y la separación de corrientes debe ser considerado para optimizar las condiciones del proceso.

En procesos que requieren la suspensión de sólidos en el reactor, no es económico operar a velocidades mayores de la estrictamente necesaria para suspender los sólidos: La pequeña transferencia de masa adicional no justifica el aumento de consumo de energía.

b) Identificar función de la mezcla

En ocasiones el mezclador tiene que realizar diferentes funciones en un proceso, y en ciertas condiciones se requiere el consejo de un experto para asegurar que todas ellas están optimizadas. Una intensidad excesiva obviamente supone un gasto innecesario de energía, pero también una intensidad insuficiente acarrea ciertos problemas (incluyendo bajadas de producción e incluso fallos en el proceso), que generalmente provocan un exceso de consumo de energía.

En las reacciones en fase líquida deben ser considerados la mezcla de los componentes iniciales y el aumento de la transferencia de calor.

En los procesos donde hay contacto entre un gas y un líquido, la mezcla debe dispersar el gas en pequeñas burbujas, que deben ser retenidas en el líquido el tiempo suficiente para que se produzca la transferencia de calor. La transferencia de masa de las burbujas al líquido (no la cinética química) controla la reacción. Es importante realizar ensayos para obtener el mejor método de ampliación.

En sistemas de dos fases líquidas, deben aplicarse las mismas consideraciones, incluso así pueden aparecer problemas de separación de fases, que requiere un control del tamaño de las gotas (mediante la selección de la correcta velocidad de giro del agitador) al óptimo.

Si hay presencia de sólidos, cada entrada, tipo de agitador, tamaño, posición y velocidad deben ser elegidas para como mínimo mantener los sólidos en movimiento, y preferiblemente completamente en suspensión. Sin embargo, en general, un agitado más vigoroso provoca un aumento del ratio de transferencia de masa entre sólido y líquido, que no justifica el consumo energético. Si la transferencia de masa no es importante (por ejemplo en depósitos de almacenamiento) las partículas deben estar en movimiento pero no necesariamente en suspensión, lo que provoca que los requerimientos energéticos caigan notablemente.

c) Punto de entrada de la alimentación.

Introducir el material en el punto óptimo del proceso evita que el material se quede adherido a la base del reactor, o se quede en la superficie del líquido, y se asegura la dispersión de las fases ahorrando energía.

La velocidad de reacción puede ser controlada por la mezcla local de las corrientes de reactivas en el punto de inyección, la cosa varía sólo por unos milímetros de diferencia. Para maximizar la mezcla de alta intensidad se debe procurar en la medida de lo posible hacer coincidir la entrada de las corrientes cerca del agitador cuando se usen depósitos de mezcla.

Cuando se mezclan líquidos de diferente densidad, se recomienda usar una configuración de semejantes características. Si los líquidos se estancan en la base o en la superficie va a ser difícil volver a remezclarlos, por lo que se necesitará un gasto de energía extra. Se debe eliminar la costumbre común de añadir los componentes en la superficie.

En ambos casos pueden ocurrir problemas como pueden ser los bloqueos de los conductos de alimentación, sobre todo cuando el material se introduce en el depósito mediante conductos sumergidos. La primera tentativa debe ser eliminar los problemas de bloqueo de las tuberías sumergidas. Por ejemplo se puede aumentar la velocidad de las corrientes de alimentación y optimizar la salida del conducto.

En el caso de un sistema donde una gas se dispersa en un líquido, el gas debe ser añadido en el centro del agitador. Los sistemas donde el gas se añade desde la superficie son mucho menos eficientes.

Si se usan agitadores de múltiple palas el punto de adicción debe optimizarse para que no se formen zonas muertas donde el material quede retenido. Optimizar el espacio entre las palas es una buena solución para minimizar el tiempo de mezclado.

d) Aditivos de alta viscosidad.

La dispersión inicial de un líquido de alta viscosidad puede ser difícil y seguramente consumirá mucha energía. Es preferible ir adicionando el producto lentamente que de golpe dado que si se suministra el producto de golpe pueden formarse burbujas que nunca lleguen a dispersarse.

e) Depósitos altos.

Los depósitos muy altos, donde la altura del líquido excede al diámetro, se usan para reducir la energía requerida para la transferencia de calor así como para otras muchas razones. Típicamente, en este tipo de depósitos y dado su altura, se vienen utilizando agitadores de múltiples palas para asegurar un correcto mezclado de todos los componentes. Esta medida no implica un consumo energético alto: tanto el diámetro como la velocidad de rotación debe escogerse para que la energía necesaria por unidad de volumen sea la

deseada. El ahorro energético en este tipo de dispositivos se puede conseguir mediante la correcta elección del tipo de agitador, número de palas y el espaciado entre ellas.

Generalmente la elección del agitador más bajo depende de las tareas que se vayan a realizar, por ejemplo cuando un gas va a ser dispersado (la mejor alimentación es bajo el agitador más bajo) o cuando sólidos densos van a ser suspendidos. En cambio en depósitos de flujo axial se prefieren agitadores en la parte alta para proporcionar un movimiento de arriba abajo del líquido, con el mínimo consumo energético. Si se usan agitadores en la superficie en depósitos de flujo radial, el patrón del flujo debe ser compartimentado y la transferencia y mezcla de material de arriba abajo debe ser mucho más lenta, aunque el consumo energético es mayor.

f) Mezcla a chorro.

La mezcla a chorro se utiliza convencionalmente en depósitos de almacenamiento, con fluidos peligrosos y/o inflamables y también cuando las constantes físicas de alguna corriente contraindica la instalación de un motor.

Para minimizar la energía necesaria para obtener una mezcla total es necesario optimizar el punto de acceso y el ángulo del chorro. Generalmente, la mejor ubicación es la base del depósito, en un lado, y el ángulo debe ser elegido para que el chorro alcance el otro lado del depósito. Esto es harto difícil si el nivel del líquido varía continuamente, por lo que debe llegarse a una solución de compromiso. Cuando esto ocurra es preferible introducir el chorro desde arriba.

A tener en cuenta.

- Trabajar en las condiciones óptimas significa no mezclar el producto ni mucho ni poco, ahorrando energía de esta manera.
- Identificar la misión exacta del mezclador en el proceso es el mejor camino a seguir para encontrar las condiciones óptimas.
- Introducir las sustancias en el momento adecuado ahorra energía.
- Optimizar la duración de la agitación de un aditivo en una sustancia muy viscosa tiene menores requerimientos energéticos durante el proceso de mezcla.
- Optimizar la posición entrada y salida en un sistema continuo previene el bypassing, así se asegura un mejor uso de la energía.
- Cuando se usen tanques muy altos, se requieren múltiples paletas para homogeneizar la mezcla.

- En tanques altos con múltiples paletas, ajustar el espacio entre paletas es muy importante.
- En procesos con sólidos en suspensión, la potencia óptima de operación es aquella que mantiene dichos sólidos en suspensión.
- Ídem en dispersiones líquido-líquido.
- Durante el contacto de un gas con un líquido, la potencia óptima será aquella que garantice la total dispersión del gas en el líquido.
- En tanques de almacenamiento, una suspensión parcial puede ser aceptable, de ahí que la potencia de agitación puede ser menor que la necesaria para mantener la suspensión.
- Cuando se utilicen tuberías el diámetro debe de ser optimizado dependiendo del diámetro de las paletas.
- Cuando un chorro líquido es utilizado, debe optimizarse el ángulo del chorro dependiendo de la tarea de mezclado involucrada y la variación en el nivel de líquido puede ahorrar energía.

2.8.1.2 Elegir el apropiado equipo de mezclado para el proceso.

Descripción: Hay una amplia gama de equipos de mezcla disponibles para el uso industrial. El tipo de mezclador seleccionado para un determinado proceso dependerá de las características físicas del fluido, el tamaño de la operación y del proceso sí mismo. Un diseño puede ser utilizado para realizar una transferencia de masa, mientras que otro diseño puede ser conveniente para mezclar un líquido de alta viscosidad. Se pueden hacer diseños especiales para ser utilizados en sistemas peligrosos o en procesos con tamaños inusuales de operación. El mejor diseño para un proceso dado puede depender de algún paso limitador del proceso, o puede ser un compromiso entre dos aspectos importantes del mismo.

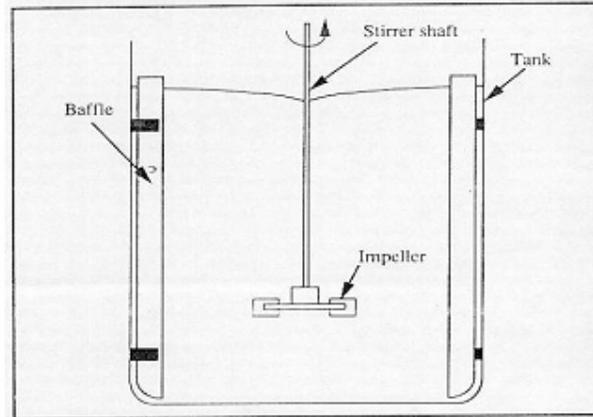


Fig. 2.172. Esquema de un Tanque de Mezclado.

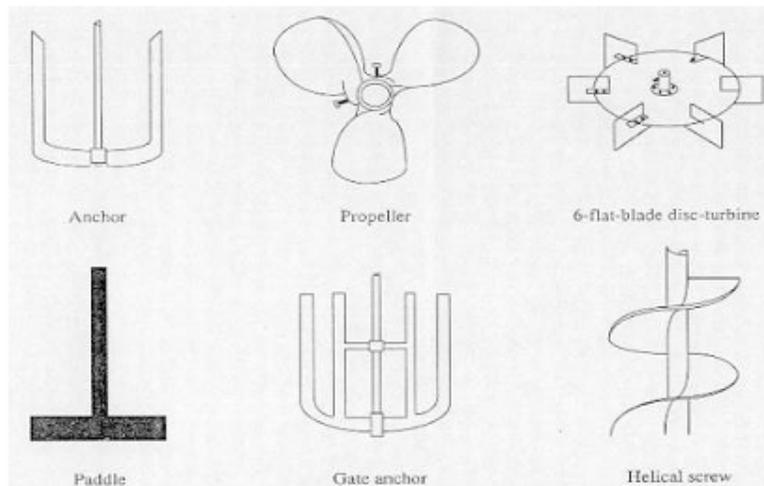


Fig. 2.173. Diferentes diseños de Agitadores para el mezclado.

A tener en cuenta.

- Importantes ahorros se pueden conseguir mediante la elección del equipo apropiado para los requerimientos del proceso.
- La elección del equipo apropiado requiere la identificar y ordenar las prioridades del proceso en cuestión.
- La energía necesaria para suspender partículas o para el decantamiento de las mismas puede ser reducida mediante una correcta elección de los agitadores en cuanto a tipo, tamaño y posición.
- Para suspensiones sólidas, un depósito con perfil en vez de ser plano o cónico requiere mucha menos energía para la suspensión.

- Para aplicaciones de mezclado gas-líquido, la elección del tipo de Agitador es clave para ahorrar energía.
- Un funcionamiento continuo puede ahorrar energía dado que se evitan los gastos de arranque y parada, calentamiento y enfriamiento, vaciado y llenado de los equipos.
- El uso de mezcladores en línea puede dar una mayor productividades según que procesos.
- El uso de unas nuevas palas de cristal diseñadas para unos determinados procesos de mezclado pueden producir ahorros significativos.

2.8.1.3 Elegir el apropiado equipo de mezclado para el producto.

Descripción: La mezcla de líquidos newtonianos de baja viscosidad no es un proceso que demande excesiva energía; típicamente se suele usar un equipo con agitador radial, axial o mixto. Cuando se mezclan líquidos de baja viscosidad, se puede ahorrar energía mediante el uso mezclados parciales ene. Régimen transitorio.

Cuando se mezclan líquidos viscosos el uso de tubos de corriente promueven el flujo axial que se requiere para una buena mezcla de arriba abajo.

El uso de agitadores sin huecos para la mezcla de líquidos viscosos consume menor energía. Esos líquidos tienen alta viscosidad y propiedades no newtonianas, que demandan geometrías especiales para un mezclado eficiente. Para pastas deben usarse equipos especialmente diseñados que tengan deflectores intermedios.

En productos que requieran altos niveles de higiene, debe realizarse un diseño apropiado teniendo en cuenta reducir la energía de mezclado durante la limpieza. Se deben evitar por tanto las esquinas internas y filos, donde puede almacenarse suciedad.

La intensidad de la mezcla debe estar en concordancia con las propiedades de las sustancias a mezclar para no provocar la degradación de estas. Se deben realizar estudios experimentales o realizar algún modelo de comportamiento para obtener las circunstancias óptimas.

Cuando se mezclan dos sólidos el producto debe ser clasificado como cohesivo o no para escoger el tipo de agitador y minimizar el requerimiento energético.

A tener en cuenta.

- Un buen conocimiento de las propiedades de los productos que van a ser mezclados es esencial a la hora de elegir el equipo de mezclado y obtener beneficios en forma de ahorro energético.
- Cuando se mezclen líquidos de viscosidad alta, usar deflectores en régimen transitorio y su eliminación en régimen laminar ahorra energía.
- En el mezclado de líquidos viscosos se consigue un ahorro energético mediante la utilización de paletas “cerradas” (en régimen laminar) como las de hélice.
- La formación de zonas muertas que requieren una elevada energía para el mezclado pueden ser reducidas significativamente mediante la elección de un equipo apropiado.
- Toda remodelación que requiera un equipo puede ser llevada a cabo con seguridad y con un coste bajo-medio.
- Para pastas, se suelen usar equipos especiales con hojas intermedias en cada una de las cámaras.
- Para productos que requieren altos niveles de higiene, un diseño apropiado puede reducir la energía de mezclado requerida durante el lavado.

2.8.1.4 Una ampliación exitosa.

Descripción: Las acciones de ampliación para cada tarea de mezclado (suspensión, dispersión) son diferentes, por lo que definir cada tarea es el paso más importante a la hora de realizar una ampliación exitosa. Si más de un proceso no se comprende, es importante identificar el que es crucial para obtener la calidad del producto deseada.

Es primordial tener un total conocimiento de las propiedades reológicas de los líquidos del proceso al comienzo.

Además, se debe tener en cuenta lo siguiente.

- El diseño de una ampliación para un líquido de baja viscosidad es muy diferente que para un líquido de alta.
- El diseño de una ampliación para un régimen laminar es muy diferente que para un líquido en régimen turbulento.

En los procesos donde las propiedades cambien debe tenerse un control de la viscosidad en cada momento.

Muchas veces se utilizan correlaciones empíricas o semiempíricas para la ampliación de ciertas aplicaciones de mezcla. Es importante recordar que la extrapolación de estos resultados puede proporcionar resultados negativos. Puede tener como resultado un gasto energético mayor del necesario.

Primero deben identificarse los límites de la ampliación del proceso. Puede que algún proceso vaya a requerir demasiada energía.

Los mecanismos de mezcla pueden ser muy diferentes en aplicaciones de pequeño tamaño que en otras de gran tamaño. Se debe andar con cuidado y realizar un estudio de los nuevos mecanismos que se necesitarían si se lleva a cabo la ampliación.

A tener en cuenta.

- La ampliación exitosa significa que el proceso puede llevarse a cabo a escala de la producción y que esto puede lograrse sin requisitos excesivos de energía.
- Definir las tareas de mezclado del proceso es un importante paso hacia adelante en términos de la ampliación.
- Una ampliación no debe llevarse a cabo en cada tarea de mezclado. Si un proceso involucra más de una tarea de mezclado debe ser identificada la tarea en la que se consigue el resultado deseado.
- En la formulación de la ampliación, se pueden obtener fácilmente grandes cantidades de energía para el proceso. Esta energía debe ser consecuente con el crecimiento de la producción.
- El uso de correlaciones empíricas o semiempíricas para agrandar (extender) el rango de validez puede brindar resultados engañosos/erróneos.
- Ampliaciones para líquidos newtonianos de baja viscosidad son muy diferentes de los líquidos no newtonianos.
- El cambio de las propiedades físicas a lo largo de un proceso deben ser tenidos en cuenta para una ampliación exitosa.

2.8.1.5 Hacer un diseño flexible.

Descripción: Un ejemplo extremo es aquel en el que el líquido inicial tiene baja viscosidad (como el agua, por ejemplo), pero que al final su viscosidad ha aumentado dos o tres órdenes de magnitud (y se ha podido convertir en un fluido no newtoniano). Por tanto el equipo óptimo para la etapa inicial es muy

distinto del equipo óptimo al final del proceso y es prácticamente imposible adecuar un equipo a las dos condiciones de funcionamiento necesarias.

Una solución muy eficiente energéticamente, a la par que cara, es disponer de dos depósitos controlados individualmente donde se lleve a cabo el mezclado de cada una de las etapas o disponer de dos agitadores intercambiables junto con un motor eléctrico de velocidad variable para ajustar la velocidad de rotación a las propiedades del sistema.

Por tanto, la solución que podría ser más económica sería una elección de compromiso entre las dos fases que en general diera un rendimiento y una eficiencia aceptable entre los dos tipos de procesos.

En un depósito equipado con un solo agitador, trabajando en régimen turbulento, el mezclado será óptimo si la altura del líquido es entre 0.8 y 1.2 veces la altura del depósito. En muchos casos debe acomodarse un ancho rango de alturas en el depósito. Cuando el nivel es bajo, al nivel del agitador, pueden aparecer salpicaduras en la superficie lo que supone un gasto de energía y la introducción de gas en el líquido, que es indeseable. Preferiblemente el agitador no debe colocarse a una distancia de la base inferior a 1/4 del diámetro porque todo el flujo puede formarse cerca de la base gastando mucha energía en vencer la fricción con la base. Si el nivel de líquido es muy alto lo que ocurre es que el mezclado es mucho peor en la zona superior del depósito.

A tener en cuenta.

- Un diseño flexible ahorra energía en un proceso, donde se lleva a cabo más de un operación de mezclado, y/o donde las propiedades del producto cambian durante el proceso o donde el mismo equipo es usado para más de un proceso.
- En los procesos que involucran a más de una operación de mezclado, un diseño flexible basado en los requerimientos del proceso más importante que interviene asegura un buen uso de la energía.
- Para procesos durante los cuales las propiedades físicas cambien, el diseño debe ser lo suficientemente flexible para operar eficientemente en un gran rango de las propiedades.
- Cuando un equipo es utilizado para más de un proceso (p.ej: Mezclado y suspensión), el diseño debe estar basado en el proceso con el cual los ahorros energéticos sean mayores.
- Si los niveles de líquido varían a lo largo del proceso, el tamaño, posición y el tipo de paletas debe ser apropiado para cada situación.

- Usar un control de velocidad variable incorpora una gran flexibilidad a la operación y prevé niveles excesivos de energía en algunas etapas del proceso.

2.8.1.6 Maximizar la eficiencia mecánica del mezclador.

Descripción: Cuando la viscosidad cambia drásticamente a lo largo del reactor no conviene variar la velocidad de la agitación o de la pala. Mantener las condiciones de operación maximiza la eficiencia energética. Incrementos abruptos de velocidad, y arranques después de una parada, involucra un consumo mayor de energía ya que hay que acelerar grandes masas y hay que vencer fuerzas de fricción mayores que si se mantienen unas ciertas condiciones de operación.

Es evidente que llevar un buen mantenimiento de los equipos no solo minimiza las pérdidas de energía si no que también se reduce la frecuencia de paradas que no están preestablecidas. Un fallo de funcionamiento de un agitador se traduce en un lote defectuoso con el consiguiente gasto que ello conlleva.

No es nada recomendable ahorrar dinero en el sistema de agitación. Debe evitarse recortar gastos mediante la adquisición de sistemas de agitación baratos ya que estos no suelen ser lo suficientemente robustos y sus superficies no suelen tener buenos acabados de mecanización que, generalmente presentarán problemas de funcionamiento a corto plazo. Si los rodamientos no son buenos o están en mal estado se consume una cantidad de energía mayor. Esto es una pérdida que puede aparecer con el tiempo y puede que no sea detectada a menos que se realice un programa de inspección. Muchos fabricantes ofrecen ejes con diámetros que son tan pequeños como es posible (para reducir el coste inicial) y que fallan cuando las cargas aumentan, debido a un pequeño cambio en el proceso o en las especificaciones del producto. A veces es difícil predecir todas las cargas que aparecen en los ejes a lo largo de su vida útil. Se recomienda calcular las cargas que afecten al eje y la velocidad crítica de giro.

A veces una carga importante es ignorada o se pasa por alto. Un claro ejemplo es cuando una turbina de disco es asimétricamente cargada con gas (o vapor), desde un dispositivo de separación de gas, o desde una fuente de alimentación que sea un separador flash. La potencia del agitador de la turbina de disco se reduce drásticamente debido a la carga del gas, por lo que las palas del lado con mucho gas tendrán menos resistencia que las del otro lado. Esto introduce un par desigual en el eje que en muchas ocasiones acaba con la ruptura del mismo.

La reducción de la potencia en el gaseado debe ser considerada cuando se elige el motor y los controles.

No se debe hacer girar el agitador cerca de sus frecuencias naturales. Si se esta cerca de la primera frecuencia natural pueden aparecer fenómenos de inestabilidad que provoquen una parada indeseada.

Si las fuerzas no están bien equilibradas, debido a un mal diseño o a un mantenimiento pobre, se producirán vibraciones que provocan un desgaste prematuro de los equipos. En ocasiones la culpa es de las fuerzas que generan los fluidos que generan patrones de flujo muy inestables.

Un importante problema puede aparecer si se utilizan turbinas de álabes inclinados para regular el flujo de gas. El flujo puede oscilar en torno a dos regímenes (carga “directa” e “indirecta”), propiciando la aparición de diferentes números de potencia. De esta manera la carga del motor puede fluctuar mucho causando una disminución de la eficiencia.

Si el eje tiene un rodamiento abajo (recomendado para mantener la estabilidad) se debe ser cauteloso a la hora de manipular partículas duras. Debe colocarse el cojinete nivelado con el líquido del proceso cuando sea posible. Se puede prescindir del uso del cojinete inferior y optar por una configuración con solo uno superior pero esta medida requiere de un mayor diámetro del eje para no hacerse inestable y por tanto un coste inicial mayor.

A tener en cuenta.

- Unas condiciones de operación seguras ayudan a minimizar el consumo de energía.
- Un buen mantenimiento asegura las mínimas pérdidas mecánicas (como fricción, juegos...) y minimizan la contaminación.
- Un buen mantenimiento asegura un funcionamiento sin fallos. Esto minimiza el riesgo de pérdida de lotes y, por lo tanto energía.
- Un diseño mecánico apropiado es una buena medida de eficiencia energética. Cada unidad debe ser lo suficientemente robusta y bien equilibrada, pero con el mínimo peso de las partes giratorias para minimizar las pérdidas de arranque y de parada.
- Vibraciones que provoquen inestabilidad deben ser prevenidas.
- Se requiere un especial cuidado de elementos se encuentren en contacto con fluidos que contengan partículas duras.

2.8.1.7 Optimizar el proceso mediante el seguimiento de variables.

Descripción: En primer lugar se han de identificar los parámetros que muestran como el proceso evoluciona, como por ejemplo la viscosidad, la

concentración,... Así se puede determinar el tiempo de mezcla óptimo para evitar gastos innecesarios de energía.

Se ha de elegir un método de medida lo suficientemente preciso, exacto y con un tiempo de respuesta aceptable. Por ejemplo, cuando se usa un cambio de color para decidir el final de un proceso, un juicio visual puede llevar a diferentes resultados.

El sensor debe tener una escala para ajustar las especificaciones del producto. Un equipo que tenga una escala demasiado basta sería inaceptable mientras uno que entrase en una precisión excesiva sería muy caro a la par que innecesario. Se debe recordar que un margen de seguridad del 20% en la velocidad del agitador es fácil de implementar y conlleva un consumo del 73% extra en tareas de mezclado.

Cuando se usa una sonda para realizar el seguimiento de un parámetro en un tanque debe elegirse su localización cuidadosamente para obtener unos valores representativos del proceso. Por ejemplo cuando se mezclan líquidos en régimen turbulento los tiempos de mezclado que dan diferentes sensores colocados en diferentes emplazamientos son similares. Pero a bajos números de Reynold el valor obtenido de un sensor colocado cerca del agitador son ciertamente diferentes a los que ofrece otro más alejado de dicha zona. En sistemas formados por un sólido y un líquido la concentración local de sólidos varía considerablemente a lo largo de una línea imaginaria vertical. Por tanto, se deben probar muchas posiciones hasta escoger la más representativa de las condiciones del proceso.

El sensor debe ser lo suficientemente robusto para soportar los esfuerzos inducidos por el fluido en su localización.

Si el sensor ofrece valores no representativos se pueden producir resultados finales del proceso nada válidos y, si el flujo es inestable, se pueden producir variaciones de calidad de un lote a otro.

Antes de realizar ninguna acción se deben promediar las medidas obtenidas en un periodo de tiempo. Si este tiempo es demasiado corto, se empleará mucha energía en realizar ajustes en el proceso innecesarios, y posiblemente el sistema pueda hacerse inestable, pudiendo perder lotes y generando situaciones de peligro.

Si se realiza un seguimiento de los parámetros en tiempo real se puede tomar decisiones y realizar alguna acción inmediatamente.

A tener en cuenta.

- Con un seguimiento del proceso eficiente se consigue una mayor duración de los equipos y un requerimiento de energía menor por parte de los equipos.

- Se debe estar seguro de elegir los parámetros a seguir correctamente con respecto al proceso y a los equipos de medida utilizados.
- Los equipos de medida deben ser correctamente calibrados para proporcionar las señales en su rango apropiado, ajustes de excesiva precisión sólo consiguen desperdiciar energía.
- Límites de tolerancia (de temperatura, contaminación, etc) deben ser definidos para asegurar la correcta elección del mezclador con mínimo uso de energía.
- Deben localizarse cuidadosamente los puntos de medida ya que tomar medidas en puntos no significativos pueden ofrecer resultados nada representativos.
- Las frecuencias de muestreo deben ajustarse a las fluctuaciones y eventualidades del proceso.
- Una sensible escala de escrutinio debe ser especificada en relación con las especificaciones del producto.
- Métodos de seguimiento subjetivos pueden acarrear resultados que no reflejen la realidad. La duración y la intensidad del mezclado puede, así, incrementar la energía de entrada en el proceso.
- Un seguimiento continuo con control automático puede eliminar el mal funcionamiento dado que a cada momento se puede realizar la acción de corrección adecuada.

2.9 Control de procesos.

Finalmente se presentan una serie de medidas de ahorro que pueden implantarse a bajo coste o sin coste alguno.

2.9.1 Medidas de ahorro vía Control de procesos.

En la siguiente tabla se exponen una lista de Medidas de Ahorro Energético vía procesos de control que muestra un estimado periodo de retorno, ahorro energético típico y el coste de inversión basado en recientes estudios.

MEDIDA	PERIODO DE RETORNO*	POT. AHORRO**	INVERSIÓN***
Eliminar los controles manuales	Inmediato	1	Baja
Ajustar los controles	Inmediato	2	Ninguna
Modificar las funciones de los controles.	Corto	3	Baja
Mejorar la información recibida.	Corto	4	Media
Mejorar la estructura de control existente.	Corto	5	Media
Tomar medidas eficazmente.	Corto	8	Media
Corregir los fallos de la instrumentación.	Corto	9	Media
Implementar optimizadores On-Line	Medio	7	Alta

*El periodo de retorno esta dado como Corto, Medio o Largo donde: Corto < 1 año, Medio de 1 a 3 años y Largo > 3 años.

**En el ahorro 1 representa la medida que ofrece mayor potencial de ahorro.

***La inversión está dispuesta en diferentes categorías que son: Baja < 3000€, Media entre 3000€ y 15000€ y Alta > 15000€.

Tabla 2.39. Medidas de Ahorro Energético vía procesos de control.

2.9.1.1 Eliminar los controles manuales.

Descripción: Encontrarse los controles puestos en posición de control manual es un problema muy común. Los operadores generalmente tienen buenas razones para ponerlos en manual. Generalmente el sistema de control en esa situación es inadecuado.

El porcentaje de controles que se encuentran en posición manual en una planta es un buen método para determinar la calidad del control de la plana.

Se pueden obtener grandes beneficios si se hace un último esfuerzo por mantener el control de la planta en una situación adecuado. Esta medida no es cara y se obtienen mejoras considerables en el consumo energético y otros beneficios.

Eliminar el control manual es fundamental para aplicar sistemas de control más avanzados.

Las acciones que se deben llevar a cabo para eliminar el problema son las siguientes.

- Si un control está fallando hay que repararlo.
- ¿Es el control adecuado para la función que cumple?
- Intentar ajustar mejor el control.
- Un control mal ajustado puede ser peor que un control manual.
- Considerar si es necesario instalar controles más avanzados a los que ya se tienen.

A tener en cuenta.

- Los controles en modo manual son un problema muy común.
- Los operadores suelen tener razones para poner los controles en manual.
- Ponerlos bien no es caro.
- Se puede ahorrar dinero poniendo los equipos en modo automático.
- Los controles deben estar correctamente ajustados.
- Se pueden obtener muchos beneficios mediante la adquisición de sistemas de control básicos que funcionen correctamente.
- La industria o el producto pueden haber cambiado desde que fueron diseñados.
- El control instalado puede no ser apropiado para la función que supervisa.
- Eliminar los controles manuales es fundamental para llevar a cabo un control más avanzado.

2.9.1.2 Ajustar los controles.

Descripción: Un control bien ajustado reduce las discrepancias y mejora el tiempo de respuesta del equipo. Sin embargo un control mal ajustado suele ser peor que un control manual. Ajustar los controles suele ser sencillo y es la

mejor forma de mejorar el funcionamiento de los controles. Es muy necesario aplicar con anterioridad a la utilización de controles más avanzados.

Las limitaciones de los controles simples son que:

- Cada medida solo se ve afectada por la entrada que se usa para realizar el control y esa entrada no afecta a otras medidas.
- Pueden aparecer errores antes de que se realice ninguna acción.

Ejemplos de mejora de los métodos convencionales son:

- Control en cascada.
- Control de proporción.
- Control prealimentado.
- Control de gama partida.
- Control selectivo.
- Control promediado de nivel.

Una combinación de estas ideas puede resolver la gran mayoría de los problemas que se presentan en la industria. Es un sinsentido implementar sistemas de control avanzado a menos que se conozca el proceso muy bien y el sistema de control básico del que depende esté apropiadamente mantenido y se opere correctamente. En caso contrario primero habría que ajustar bien el control básico.

Si el proceso es muy complejo, se pueden considerar también controles predictivos y expertos.

Hay muchas acciones que se pueden tomar si se decide implementar un control avanzado en una planta. El primero, más barato y simple, es hacer funcionar el control existente apropiadamente. Después:

- Debe asegurarse de eliminar ruidos y la demora de las medidas.

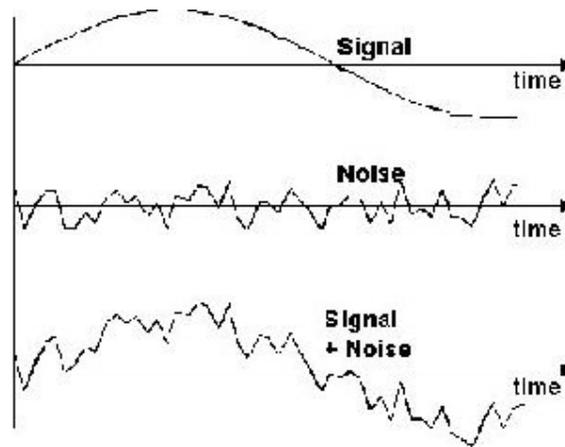


Fig. 2.174. Señal con ruido eléctrico.

- Debe asegurarse de que los controles tienen la función correcta (P, PI, PID, etc) y que están correctamente ajustados.
- Debe decidir si se pueden realizar mejoras en el control básico, como realizar la proporción los flujos conjuntamente.

Los controles pueden ser analógicos o digitales. Los controles más modernos son electrónicos pero todavía se pueden encontrar en funcionamiento controles a válvulas y neumáticos. El control más común es el PID (Proporcional, Integración, Derivación). Se pueden realizar diferentes combinaciones de las acciones dando lugar a diferentes tipos de controles.

Típicamente desuelen usar este tipo de controles retroalimentados en los siguientes procesos.

Proceso	Acción de control	Característica
Nivel	Proporcional	El control proporcional es simple, puede trabajar bien en muchos procesos pero aumenta el margen de error.
Caudal	Proporcional + Integración	El control P+I elimina el margen de error pero el bucle es más lento y la integración puede causar en ocasiones inestabilidad.
Presión	Proporcional + Integración.	
Temperatura	PID o P + D	El control P+D tiene una velocidad de respuesta correcta pro no tiene un bien funcionamiento en sistemas ruidosos.

Tabla 2.40. Tipo de control y su utilización.

El rango de control debe ser tan estrecho como sea posible pero debe cubrir los valores encontrados e una operación normal. El rango normalmente se elige para cubrir el arranque. Supongamos que se tiene un control de temperatura con un rango de 0 – 500 °C y se necesita controlar una temperatura de 100 ± 2 °C. Con el rango tan grande que se ha elegido no será posible obtener la ganancia necesaria ara conseguir la calidad de control necesaria y será difícil observar pequeños cambios en el proceso.

Un método para ajustar los controles que funciona razonablemente bien en la mayoría de los controles simples es el de Ziegler-Nichols. Este método consiste en ajustar la derivación y la integración al mínimo e incrementar la ganancia hasta que el sistema comience a oscilar.

Se debe tener especial cuidado! La ganancia K y el periodo de oscilación deben ser medidos. La experiencia dice que los ajustes siguientes son apropiados para la mayoría de los sistemas de control.

Control	Ganancia	T_I	T_D
Proporcional	$K/2$	-	-
P + I	$K/2.2$	$P/1.2$	-
P + I + D	$K/1.7$	$P/2$	$P/8$

T_I = Tiempo de Integración.

T_D = Tiempo de derivación.

Tabla 2.41. Ajustes de los sistemas de control más comunes.

Se debe rehusar de una excesiva integración ya que a veces provoca un control defectuoso.

A tener en cuenta.

- Un control mal ajustado suele ser peor que un control manual.
- El ajuste es la forma más fácil y barata de obtener un buen control.
- El ajuste es necesario antes de implantar métodos de control más avanzados.
- Debe asegurarse que se elige la función adecuada.
- Un buen ajuste reduce la variación del control.
- Un control bien ajustado permite un control preciso de las variables del sistema, implicando mejor calidad y un gasto energético menor.
- El abuso del control integral ofrece resultados pobres.
- Un buen ajuste proporciona una mayor velocidad de respuesta del sistema.

2.9.1.3 Modificar las funciones de los controles.

Descripción: Es importante seleccionar la función apropiada para el parámetro que se desea controlar. Las funciones más corrientes son las siguientes.

- Proporcional.

- Proporcional + Integral.
- Proporcional + Integral + Derivativo.
- Otras funciones utilizadas en aplicaciones especiales.

En el control *proporcional* La acción que se toma es proporcional al error medido. A error doble, se aplica una acción correctora doble.

En el control *integral* cuando aparece un error, la acción integral aumenta la salida del control hasta asegurar que se elimina el control.

En el control *derivativo* se deriva la medida y si el error cambia rápidamente, se realiza una acción rápida. En muchas ocasiones se le denomina preacción.

A la hora de elegir el tipo de función que se va a implementar se debe tener en cuenta lo siguiente.

- El control proporcional es simple y puede funcionar bien en muchos procesos. En contra tiene que aumenta el margen de error.
- El control P + I elimina este margen de error pero la operación es más lenta y se excede en la integración el sistema se puede volver inestable.
- El control P + D tiene un buen tiempo d respuesta pero no funciona bien en sistemas ruidosos y no elimina el margen de error.
- El control P + I + D es el más utilizado pero no siempre es el más recomendable.

A tener en cuenta.

- Es importante elegir correctamente la función de control más apropiada al parámetro que se desea controlar.
- Las funciones más comunes son: P, P+I, P+I+D.
- En ciertas aplicaciones se usan otras funciones especiales.
- Si hay margen de error en un control se necesitará un integrador.
- Si la velocidad de respuesta es clave en una aplicación se necesitará una función derivativa.
- El control proporcional es la mejor elección para controles de nivel.

2.9.1.4 Mejorar la información recibida.

Descripción: Mejorar la información que reciben los operadores no es complicado. En ocasiones todo lo que se requiere es presentar la información en forma de progresión temporal, con un contexto, que no en forma de valores sueltos.

Unos cálculos simples como por ejemplo la eficiencia de las calderas, comparadas con unos objetivos, pueden ser muy útiles para recordarles a los operadores que acciones beneficiosas realizar.

La misma información presentada de diferentes maneras puede tener resultados diferentes. Por ejemplo la energía ahorrada por medio de una modificación puede ser muy significativa pero solo un pequeño porcentaje del consumo energético total. Si se representa el consumo total frente al tiempo este ahorro se pierde en el “ruido” de la gráfica.

Los modernos sistemas de control son muy efectivos compensando los cambios en las condiciones de operación de un proceso. Sin embargo, suaves cambios en las operaciones del proceso pueden conducir a un gasto del producto y tener que revisarlo.

Hay una necesidad creciente de extraer información de los datos obtenidos rutinariamente en el proceso de producción. El uso de simples estadísticas puede ser muy útil para el seguimiento de las variables de un proceso.

Mediante la utilización de simples herramientas informáticas como Microsoft Excel y Lotus 123 contienen rutinas para mostrar los valores más importantes, realizar derivaciones, regresiones lineales, etc. Estas técnicas junto con otras más avanzadas como un Análisis de los Componentes Principales, Control Estadístico de Procesos (CEP) y CEP Multivariable pueden ser muy útiles para la representación on-line y off-line de la información del funcionamiento de la planta.

A tener en cuenta.

- No es una tarea complicada.
- La representación de los datos en forma de progresión gráfica ayuda a comprenderlos mejor.
- Es útil para los operadores presentarles los resultados ya calculados.
- Mostrar el consumo específico de energía suele ser más útil que el consumo total.

- Ay muchas técnicas para extraer información de los datos, regresión, Análisis de los Componentes Principales, Control Estadístico de Procesos (CEP) y CEP Multivariable

2.9.1.5 Mejorar la estructura de control existente.

Descripción: Los controles simples y bien ajustados son adecuados para la mayoría de aplicaciones.

Los controles de bucle simple, retroalimentados tienen la característica de que cada medida solo se ve afectada por la salida que se está intentando controlar.

Los controles convencionales son:

- Control en cascada.
- Control de proporción.
- Control prealimentado.
- Control de gama partida.
- Control selectivo.
- Control promediado de nivel.

a) Control en cascada.

El control en cascada es una poderosa técnica si se usa apropiadamente. Puede mejorar la velocidad de respuesta, eliminar perturbaciones y compensar las no linealidades.

La salida del control principal, normalmente la temperatura, se usa para marcar la temperatura deseada para el control esclavo, generalmente el caudal.

En el ejemplo cuando la presión del gas varía se varía también el flujo. El control esclavo rápidamente corrige la presión para mantener el flujo deseado.

En un único y simple bucle se regula el caudal de gas y la temperatura debe afectarse también antes de que se tome una medida correctiva.

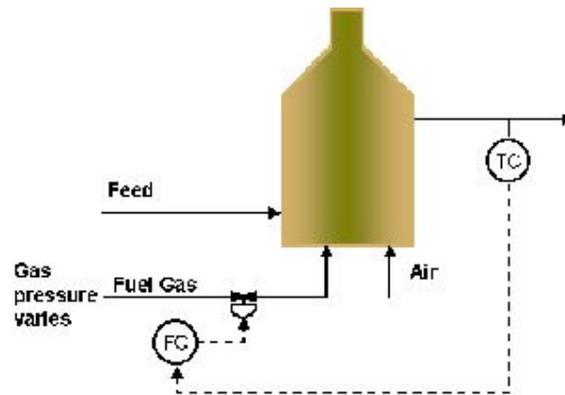


Fig. 2.175. Ejemplo de Control en Cascada.

b) Control de proporción.

El control de proporción cambia el caudal de ciertas corrientes en concordancia con un caudal maestro que normalmente se encuentra en proporción a otro, a lo mejor dos alimentaciones a un reactor o el gas y el aire en un quemador de gas.

Si uno cambia (el flujo libre) el otro debe cambiar en la misma proporción. Este control hace el cambio muy rápido de ahí su ventaja.

Para sistemas de combustión debe añadirse una complicación por seguridad: la atmósfera de combustión debe ser siempre rica en aire, es decir, debe haber siempre un exceso de aire. Cuando las condiciones cambian, el sistema de control debe asegurar esto.

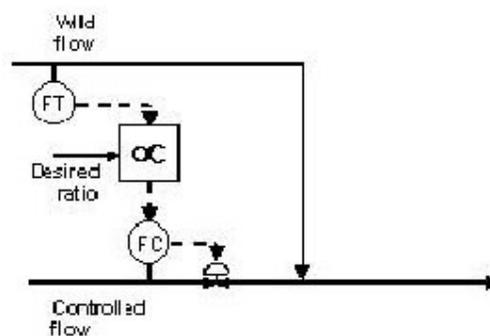


Fig. 2.176. Control de proporciones.

c) Control prealimentado.

Este tipo de control se utiliza para anticiparse y compensar las perturbaciones.

Por ejemplo, la entrada de calor en una unidad debe ser proporcional al caudal de alimentación, o la entrada de calor debe ser calculada para ajustar otro

parámetro. Es importante saber como responde el sistema como responde el sistema en condiciones estacionarias y dinámicamente. Es necesario usar la compensación dinámica en la señal prealimentada.

Una unidad de retardo en la señal prealimentada es utilizada para retrasar la señal apropiadamente. Si los cambios son lentos, se puede obtener beneficio sin la compensación dinámica.

La retroalimentación corrige las perturbaciones mediante después de que aparezcan mientras que la prealimentación las corrigen antes de que afecten al proceso. El control realimentado negativamente puede usarse por si mismo mientras que el retroalimentado positivamente no debería ser usado sin retroalimentación negativa.

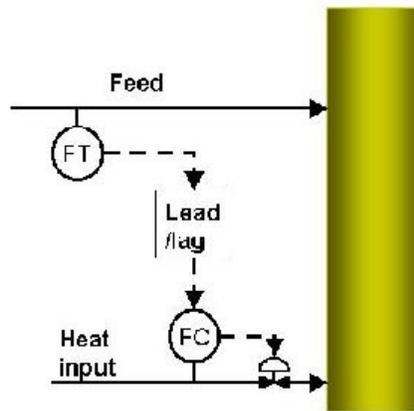


Fig. 2.177. Ejemplo de Control Prealimentado.

d) Control de gama partida.

El control de gama partida es una técnica muy usada que incrementa la flexibilidad del sistema de control. Permite controlar más de un válvula desde un control simple.

El uso más común en sistemas de distribución a presión donde es necesario que bajo ciertas circunstancias se mantenga la presión por debajo de otra mayor y otras veces venté un sistema a una presión menor.

Otro uso muy común de el control de gama partida es el control de temperatura en sistemas donde, bajo ciertas circunstancias, re requiere calor y bajo otras refrigeración.

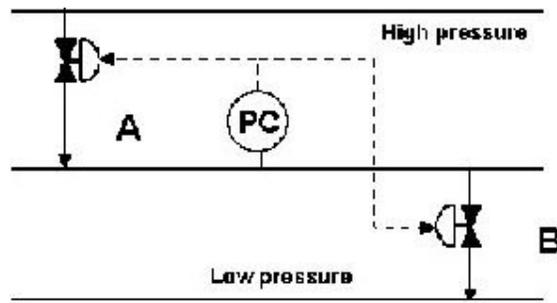


Fig. 2.178. Ejemplo de Control de Gama Partida.

e) Control selectivo.

El control selectivo puede proporcionar un control alternativo cuando sea necesario.

Es útil para proporcionar límites en las acciones de control. Ejemplos en los que el control selectivo puede ser usado son:

- Control de la temperatura de un metal en un horno para evitar un sobrecalentamiento.
- Control de la diferencia de presión en una columna de destilación limitando el flujo de vuelta a la calderón y parar la inundación cuando el control de la diferencia de presión se sale de rango.

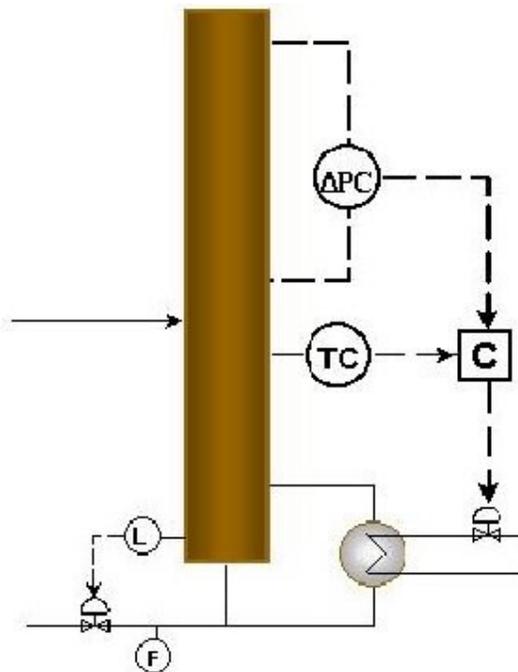


Fig. 2.179. Ejemplo de Control Selectivo.

f) Control de nivel.

Está demostrado que un buen control mantiene constantes los parámetros. Mientras que esto es común en temperaturas, presiones, caudales y composiciones es raro con los niveles de líquidos en depósitos.

En muchas situaciones, la capacidad líquida en la planta debería ser usada como colchón para aislar flujos que pueden afectar negativamente a las corrientes del sistema.

A continuación se exponen diferentes propuestas para ajustar cada sistema.

- El más simple es usar un control proporcional con la ganancia ajustada para que la válvula de salida esté completamente abierta cuando se sobrepasa el nivel máximo y se cierre cuando el nivel caiga por debajo del límite inferior.
- Si un control proporcional solamente no es apropiado, se recomienda usar un P+I.
- Otra opción sería usar un control con la ganancia tal que aumentara en la misma medida en que lo hace el error.

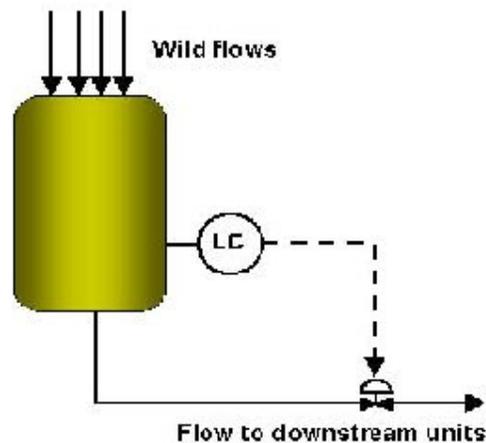


Fig. 2.180. Ejemplo de Control de Nivel

A tener en cuenta.

- Un control simple de realimentación asume que cada medida solo se ve afectada por la salida que se quiere controlar.
- Los métodos de control convencionales son: Cascada, prealimentamiento, proporción, selectivo, de gama partida y nivel.

- El control en cascada se utiliza cuando un parámetro maestro regula a otro esclavo susceptible de perturbaciones.
- La prealimentación permite tomar medidas antes de que una perturbación afecte al proceso.
- El control de proporción varía el flujo en relación a uno maestro.
- El control de gama partida permite el control de más de una válvula desde un simple control.
- El control selectivo puede proporcionar un control alternativo cuando sea necesario.
- Si el proceso es complejo, puede ser necesario la utilización de sistemas complejos de control.

2.9.1.6 Tomar medidas eficazmente.

Descripción: El buen control de un sistema depende de una buena medición. Si las medidas se realizan mal, el ajuste del sistema será malo lo que acarrea un gasto extra de energía.

Las medidas pueden ser malas por muy diferentes razones; el dispositivo de medida ha sido elegido incorrectamente para la función que desempeña o puede inducir ruidos en la señal.

Es importante ajustar las características del control al tipo de medida que se realiza y a la dinámica de la función de control. Los sensores más comunes son de nivel, caudal, presión, temperatura y en la industria alimenticia la humedad.

A tener en cuenta.

- El buen funcionamiento de un control depende de unas buenas medidas.
- Es importante que la medida no se encuentre distorsionada por ruidos.
- Los sensores más comunes son los de nivel, caudal, presión y temperatura.

2.9.1.7 Corregir los fallos de la instrumentación.

Descripción: Los problemas en la toma de medidas incluye el ruido en las señales, retardos, tiempos muertos y no linealidades.

Los problemas con las funciones de control incluye: el incorrecto rango del instrumento de medida, mala elección de la acción de control, mal ajuste, ignorar perturbaciones...

Medida del ruido.

El ruido puede ser definido como una señal aleatoria indeseable. Puede aparecer como el resultado de la utilización de cables mal apantallados o que las conexiones no sean buenas. Hay señales que son intrínsecamente ruidosas como por ejemplo el caudal y la presión. La frecuencia del ruido suele ser mucho mayor que la de la señal que se pretende medir por lo que puede ser eliminado mediante la aplicación de filtros. Se debe tener cuidado porque con el filtrado se elimina información de la señal.

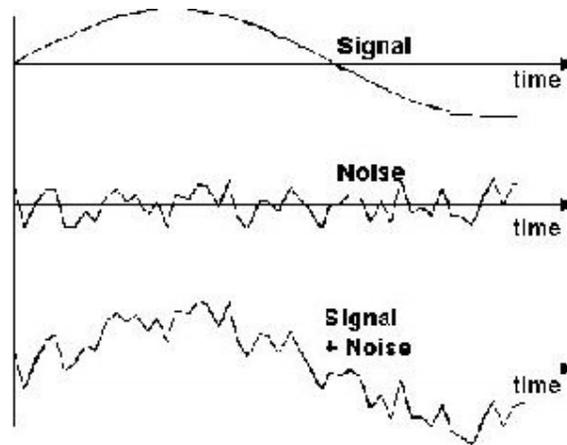


Fig. 2.181. Ejemplo de una señal con ruido.

Medida del retraso.

Ninguna instalación actúa instantáneamente ante una perturbación. Se tiene asumido que el retardo existe pero es necesario disminuirlo en la medida de lo posible. Básicamente hay dos tipos de retrasos, tiempo muerto o retardo en el transporte y retardo temporal.

Los sistemas que tienen un tiempo muerto considerable son difíciles de controlar. El problema puede aumentar, por ejemplo, cuando el material a analizar es transportado hasta un analizador remoto. Se deben minimizar los tiempos muertos. Si el tiempo muerto es inherente al proceso por sí mismo puede ser posible mitigar el problema redituando la medida.

Un problema común de retardo temporal aparece cuando se utilizan termopozos. El termopozo es un revestimiento de acero o cerámico que se utiliza para evitar el contacto directo del termopar con el proceso. El termopar está en contacto con el termopozo gracias a un muelle que evitan que se separen y proporcionar

así una respuesta lo más rápida posible. El retardo aparece si la instalación no es muy buena y puede tener severas consecuencias en la calidad del control.

No linealidades.

Las no linealidades no son buenas para el control, generalmente, porque el control requiere un ajuste diferente para cada situación. Puede que la no linealidad esté implícita en el proceso o sea introducido, por ejemplo, en la medida. Deben ser evitadas en la medida de lo posible.

Una fuente de no linealidades se tiene con la medida del caudal mediante un instrumento placa-orificio. La ventaja que tienen estos dispositivos es que son muy simples y económicos. El inconveniente que tienen, a parte de que no es un sistema muy preciso de medición, es que introducen no linealidades en el sistema. A medida que aumenta la presión diferencial a ambos lados del orificio mayor es el caudal. Sin embargo, como la presión diferencial varía con el caudal al cuadrado, es necesario linealizar la señal utilizando un extractor de raíces.

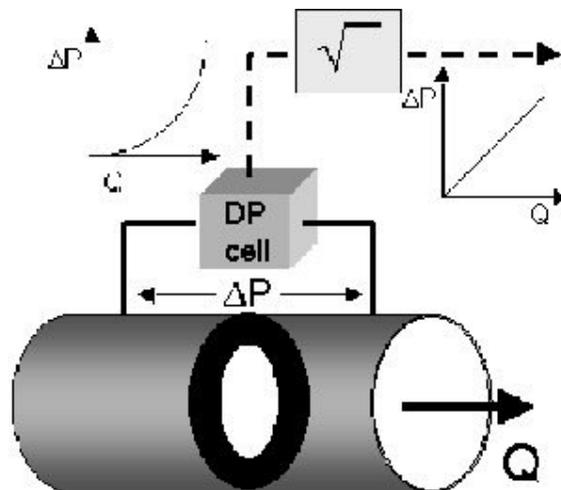


Fig. 2.182. Caudalímetro de Placa-orificio y su no linealidad intrínseca.

Los tres problemas expuestos con anterioridad deben ser evitados siempre que sea posible. Si esto no es posible se debe realizar alguna acción para compensar los efectos.

La calidad del control puede comprometerse si no se elige bien el tipo de controlador y se instala correctamente. Es muy importante tener en cuenta lo siguiente.

- Es muy importante elegir el control correcto para el parámetro que se va a controlar. Por ejemplo, un control derivativo no debe usarse si la señal a medir tiene ruidos. Los diferentes tipos de control se han descrito con anterioridad.

- Ajustarlos bien es muy importante. Un control PID bien ajustado puede ser muy apropiado para la mayoría de las aplicaciones. Si el control no es bueno se pueden inducir inestabilidades en el sistema, como por ejemplo, un abuso de la derivación.
- El rango del control debe ser lo más estrecho posible pero asegurando la cobertura de los valores con que se a encontrar bajo un funcionamiento normal.

Las válvulas son el dispositivo más común sobre el que se realiza un control en la industria.

Los problemas que se pueden tener con las válvulas son los siguientes.

- Que la válvula instalada no sea del tipo más apropiada para la función que desempeña.
- Que la válvula no esté correctamente dimensionada o no se haya instalado una con capacidad suficiente.
- Que el movimiento de la válvula sea el adecuado para cumplir su función.
- Que la válvula sufra procesos de histéresis.

Cada vez se están usando más los variadores de frecuencia en válvulas dado su elevado potencial de ahorro.

A tener en cuenta.

- los problemas asociados a las medidas son: ruido, retardos y no linealidades.
- Los problemas asociados a la función de control incluyen: rano erróneo, mala elección de la función, mal ajuste, ignorar perturbaciones.
- Los problemas con el control de válvulas son: Correcta elección del tamaño, histéresis.

2.9.1.8 Implementar optimización On-Line.

Descripción: El principal objetivo de cualquier planta de procesos es conseguir un producto con las especificaciones predeterminadas. Una vez que esto se consigue, la planta opera, lo mas cerca posible del coste mínimo o del máximo beneficio.

Como las condiciones que afectan a la planta están en continua variación, es importante variar los parámetros de operación (presiones, temperaturas, etc.) para conseguir los objetivos económicos. El sistema de control asegura que los parámetros de control se encuentren dentro de unos valores deseados mientras que el sistema de optimización determina cuales son estos valores deseados que proporcionan el máximo beneficio.

La mejora de la producción se puede conseguir de diferentes maneras: ajustando el sistema de control, instalando una más avanzado o utilizando métodos predictivos de control para. Los modelos predictivos de control se basan en que si hay un modelo dinámico del proceso, es posible predecir los valores futuros que deben ajustarse en el sistema de control para optimizar la producción.

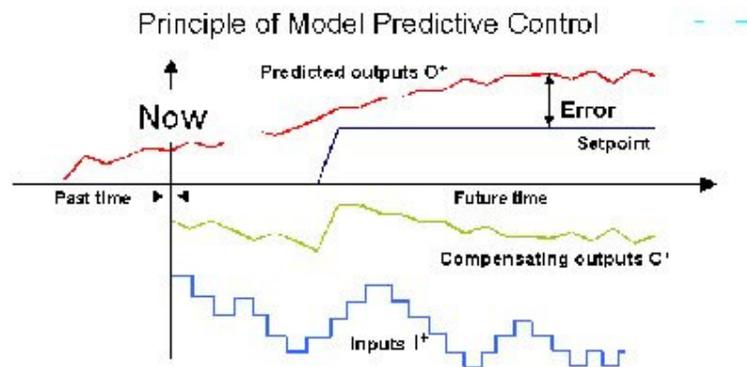


Fig. 2.183. Principio de funcionamiento de un modelo de control predictivo.

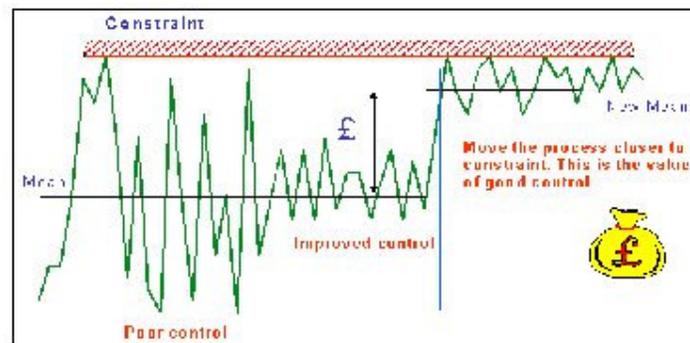


Fig. 2.184. Beneficios obtenidos según el sistema de control.

Como se puede observar en la figura anterior la situación que desperdicia mas dinero es aquella en la que el control es malo. Por el contrario con el sistema de control predictivo se pueden conseguir importantes ahorros.

El análisis de beneficios es una técnica excelente para identificar las posibles fuentes de ganancias y lo que se debe realizar para conseguirlas.

Una optimización completa normalmente requiere de un modelo económico matemático del proceso cuya función objetivo es maximizar (o minimizar) un valor en presencia de una serie de variables limitadoras del proceso. La función objetivo puede ser, por ejemplo, minimizar el consumo de energía o aumentar el beneficio.

En algunas ocasiones es apropiado utilizar optimizadores no lineales, que proporcionan ciertas facilidades adicionales.

También se utilizan sistemas expertos que pueden ser usados para capturar la experiencia de los ingenieros y operadores.

A tener en cuenta.

- Los controles convencionales aseguran que la planta opera con unos valores predeterminados.
- Los optimizadores determinan cuales son los valores más beneficiosos.
- Muchos optimizadores on-line incluyen un modelo económico del proceso.
- Los optimizadores no lineales pueden proporcionar buenos resultados explotando el proceso de forma no lineal.
- Los sistemas expertos pueden ser usados para capturar la experiencia de los ingenieros y operadores.