

**MEJORAS HORIZONTALES
DE AHORRO Y EFICIENCIA ENERGÉTICA
SECTOR INDUSTRIAL**

ENERGÍA ELÉCTRICA

EJEMPLOS PRÁCTICOS



**Junta de
Castilla y León**

El sector industrial de Castilla y León es importante consumidor de energía final, el 27,61 %, suponiendo los combustibles de origen fósil procedentes de mercados exteriores, como el petróleo y el gas natural, más del 77% sobre el consumo total en este sector.

En el momento actual en que experimentamos una situación económica especial, todas las Administraciones públicas y en particular la de Castilla y León aportan ideas, métodos y posiciones encaminadas a mejorar los resultados económicos de las empresas, ya que con ello se mejora el bienestar general de los ciudadanos.

En el caso del sector industrial, el gasto energético tiene un peso relevante en los costes totales de producción de un nuevo producto, que requiere ser estudiado, analizado y ajustado al mínimo posible, sin que se pierda calidad y prestaciones de los productos fabricados.

Por ello, la Consejería de Economía y Empleo, a través del Ente Regional de la Energía de Castilla y León (EREN), y en el marco de la Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España (E4), pone en sus manos estos manuales técnicos sobre medidas de ahorro y eficiencia energética en equipos e instalaciones térmicas y eléctricas, como un instrumento de consulta a la hora de tomar decisiones que puedan contribuir a la reducción del consumo energético y, para mejorar la eficiencia energética de los procesos productivos y de todos aquellos equipos e instalaciones auxiliares que intervienen en la fabricación de un producto.

Adicionalmente, la aplicación de las medidas descritas en este documento contribuirán a la reducción de las emisiones contaminantes, lo que implica la reducción de los efectos adversos del sector industrial sobre el medio ambiente, y nos permitirá converger en los objetivos fijados por el Protocolo de Kioto.

Es mi deseo que estos manuales de Mejoras Horizontales de Ahorro y Eficiencia Energética en el Sector Industrial: Energía Térmica y Energía Eléctrica, puedan servir para aumentar la competitividad de las empresas de Castilla y León y despierte la inquietud de sus responsables en la toma de decisiones, para implementar algunas de las propuestas descritas en los mismos, y con ello favorecer la modernización de nuestro tejido industrial.

TOMÁS VILLANUEVA RODRÍGUEZ
Vicepresidente segundo
y Consejero de Economía y Empleo

Edita: Junta de Castilla y León
Consejería de Economía y Empleo
Ente Regional de Energía de Castilla y León

Colabora: Exergía XXI

Diseño e
Impresión: Angelma, S.A.
Tel. 983 25 12 01

Dep. Legal:



FRÍO INDUSTRIAL

INDICE

FRÍO INDUSTRIAL

1.- INTRODUCCIÓN	3
2.- LA MÁQUINA FRIGORÍFICA	3
3.- EL CICLO FRIGORÍFICO	4
3.1.- Evolución del fluido	5
3.2.- Eficiencia del ciclo	7
3.3.- Limitaciones del ciclo	8
3.4.- Tipos de ciclos	8
4.- LA MÁQUINA DE ABSORCIÓN	17
5.- CÁLCULO DE LA CARGA TÉRMICA	19
5.1.- Carga de transmisión de calor	20
5.2.- Carga de infiltración	21
5.3.- Carga del producto	22
5.4.- Carga miscelánea	24
6.- MEDIDAS PARA LA MEJORA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN INSTALACIONES DE FRÍO INDUSTRIAL	25
6.1.- Economizadores para el refrigerante	25
6.2.- Economizadores para el aire	25
6.3.- Economizadores para el agua y líquidos	25
6.4.- Sustitución de grupos de frío	25
7.- ANEXO: Tablas para el cálculo de la carga térmica	33

1. INTRODUCCIÓN



Máquina frigorífica

La **producción de frío** se realiza de forma totalmente autónoma mediante máquinas frigoríficas sofisticadas, siendo el único problema a salvar el encontrar una fuente de energía eléctrica o mecánica que accione todo el sistema.

El frío se produce cuando existen elementos capaces de robar el calor del ambiente en el que se encuentran, de tal forma que se produce el calentamiento de los primeros y el enfriamiento del medio de donde extraen el calor.

Debido a la importancia que tienen los calores latentes sobre los sensibles y sobre todo del calor latente de vaporización con respecto del de fusión, el frío industrial se consigue a través de líquidos que son capaces de absorber gran cantidad de calor al vaporizarse, siempre a presiones determinadas y controladas.

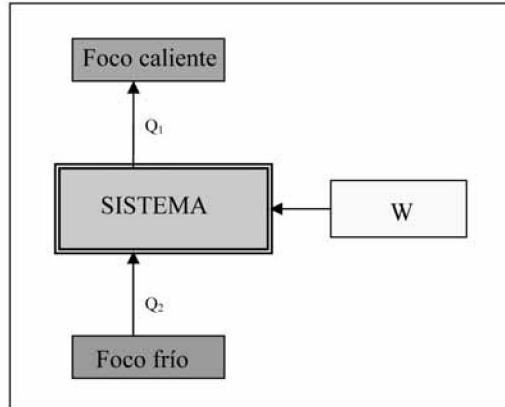
Las ventajas de los **refrigerantes líquidos** con respecto de los sólidos son las siguientes:

- Se puede controlar la temperatura, la presión de vaporización y la refrigeración con gran facilidad.
- No se desaprovecha el líquido refrigerante, ya que este se puede recoger y condensar repetidas veces, de tal forma que se produzca una fuente continua de vaporización, y por lo tanto, de producción de frío industrial.

2. LA MÁQUINA FRIGORÍFICA

Las **máquinas frigoríficas** trabajan según un **ciclo frigorífico** donde, empleando un trabajo externo (energía eléctrica o mecánica), absorben calor de un foco frío, enfriándolo aun más y lo entregan a un foco caliente, calentándolo aun más. Si el elemento útil del ciclo es la absorción de calor del foco frío, el ciclo

se denomina ciclo frigorífico y si, por el contrario, el efecto útil es la cesión de calor al foco caliente, se tendrá el ciclo de una bomba de calor.

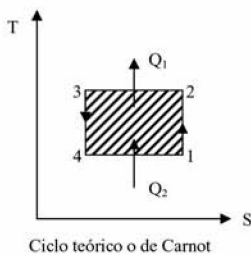


3. EL CICLO FRIGORÍFICO

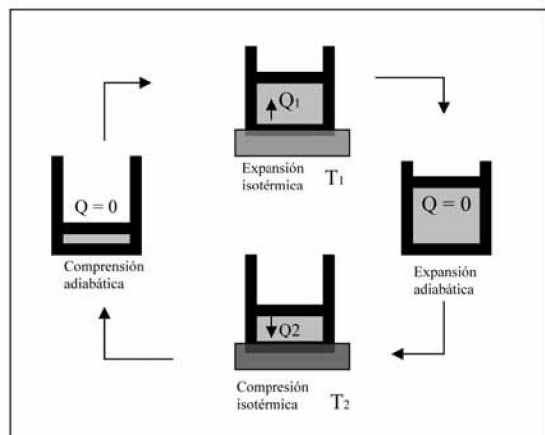
Un ciclo es un proceso en el que la sustancia que evoluciona después de sufrir una serie de transformaciones vuelve a recuperar su estado inicial.

El ciclo frigorífico está compuesto por cuatro fases fundamentales:

- Compresión del fluido (1-2)
- Condensación (2-3)
- Expansión o laminación (3-4)
- Evaporación (4-1)



Ciclo teórico o de Carnot



3.1 Evolución del fluido

La evolución del fluido dentro del ciclo frigorífico puede estudiarse de dos maneras:

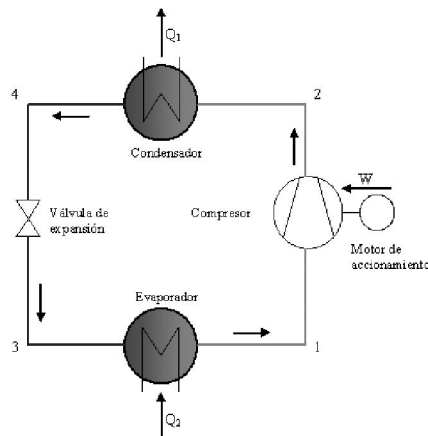
• Evolución teórica

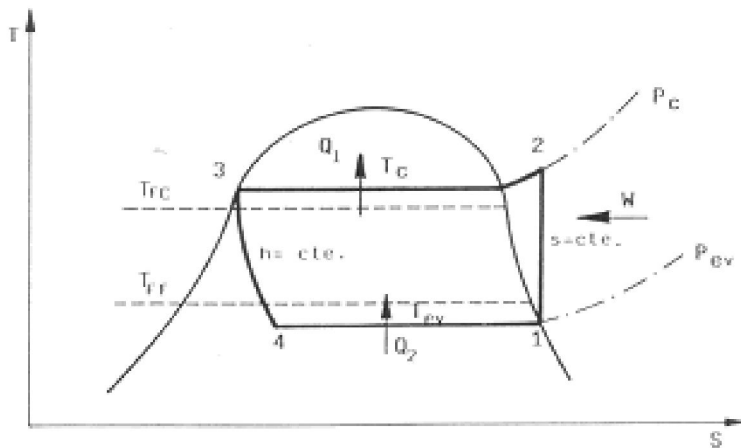
Para que se produzca la evolución teórica del fluido, la máquina frigorífica deberá cumplir las siguientes condiciones:

- La circulación del fluido frigorífico se realiza sin pérdidas de carga.
- La expansión es isoentrópica.
- El condensador es isoentrópico.
- La cesión y absorción del calor por parte del fluido frigorífico, se realiza de forma reversible, lo que supone una diferencia de temperatura infinitamente pequeña entre el fluido y el medio a enfriar en el evaporador y el fluido y el medio a calentar en el condensador. Esta circunstancia requiere que las superficies de intercambio sean infinitamente grandes y, que los caudales de los fluidos exteriores sean, también, infinitamente grandes.

Sin embargo, el ciclo de la máquina frigorífica es irreversible ya que la expansión lo es. Para que el ciclo fuera reversible, la turbina tendría que ser isoentrópica. Por otro lado, hay que tener en cuenta que es imposible igualar las temperaturas de evaporación y condensación del fluido con las de los focos frío y caliente, respectivamente.

A continuación se considera un ciclo frigorífico teniendo en cuenta la diferencia de temperaturas y la irreversibilidad del proceso de laminación.



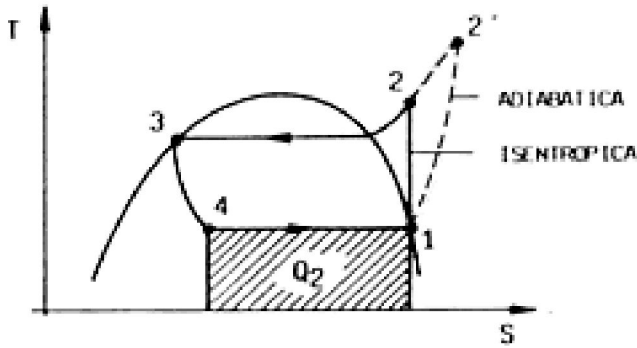


• Evolución real

Lo visto en el apartado anterior es un ciclo teórico, imposible de conseguir, por lo que únicamente se puede emplear como comparación. Las causas que hacen que un ciclo no pueda llegar a ser perfecto pueden resumirse en las siguientes:

- La superficie de los condensadores no puede ser infinita, ni se dispone de infinitas fuentes a temperatura entre T y T_c . La máquina se acercará tanto más a la máquina perfecta, cuanto mayor sea el condensador y, por consiguiente, menor la diferencia entre T_c y la temperatura del medio exterior.
- Lo mismo puede decirse de los evaporadores.
- La compresión no es isoentrópica.
- La circulación del fluido se hace con pérdidas de carga. El que éstas sean mayores o menores dependerá del diseño de las tuberías y de los equipos.
- La presión de descarga del compresor, es superior a la presión media de condensación.
- La presión de aspiración del compresor es inferior a la presión media de evaporación.
- La expansión no es reversible.

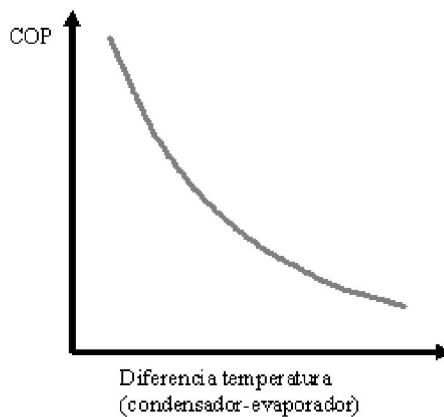
La evolución real queda, por lo tanto, de la siguiente forma:



3.2 Eficiencia del ciclo

La eficiencia del ciclo se determina a través del **COP** (Coefficient of performance) como la relación entre el efecto útil del ciclo y el trabajo empleado para obtenerlo.

Si el efecto deseado de la máquina frigorífica es enfriar un ambiente se hablará de máquina frigorífica. Sin embargo, si el efecto útil de la máquina es ceder calor al ambiente, es decir calentarlo, se tendrá una bomba de calor.



Relación entre el COP y la diferencia de temperatura del condensador y el evaporador

En consecuencia, se define el COP para cada una de las situaciones como:

$$\text{COP}_f = \frac{Q_2}{W}$$

$$\text{COP}_{bc} = \frac{Q_1}{W}$$

3.3 Limitaciones del ciclo

Las limitaciones de los ciclos frigoríficos (o bombas de calor) pueden tenerse en cuenta para altas y bajas presiones.

En bajas presiones, las limitaciones de los ciclos pueden resumirse en:

- La temperatura de evaporación no suele exceder en aproximadamente 15 °C a la temperatura del ambiente que se quiere refrigerar.
- Se procura que la presión a esta baja temperatura sea superior a la atmosférica, de tal forma que a lo largo del circuito del elemento refrigerante, en caso de que exista alguna fisura en cualquiera de los elementos, se produzca el escape del elemento y no la entrada de aire.

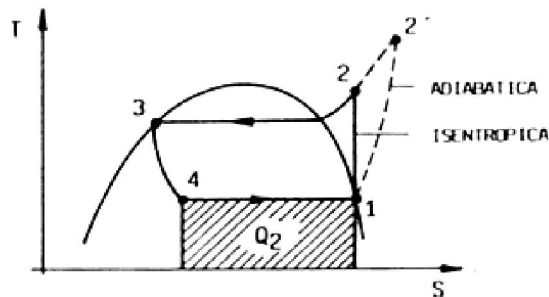
Las limitaciones de los ciclos para altas presiones:

- La temperatura del fluido refrigerante debe ser superior a la del elemento refrigerador.
- La fabricación de elementos que puedan trabajar a altas presiones a la vez que conseguir un elemento compresor capaz de obtener esta presión en su descarga.
- Los fluidos frigoríficos pierden toda su capacidad refrigerante a una temperatura determinada, por lo que se evitará alcanzar esta temperatura de sobrecalentamiento.

3.4 Tipos de ciclos

Existen diferentes tipos de ciclos frigoríficos entre los que destacan:

- **Ciclo con una compresión y sin subenfriamiento:**



Se parte de un vapor saturado seco en las condiciones del punto 1. Este vapor se comprime isoentrópicamente hasta el punto 2. El fluido entra en el condensador y cede su calor hasta alcanzar las condiciones de líquido saturado. El flui-

do pasa por una válvula de laminación hasta alcanzar la presión del evaporador, donde absorbe calor hasta volver a las condiciones del punto 1.

Los cálculos más importantes del ciclo son:

Efecto frigorífico. Es el calor extraído de la fuente fría en el evaporador

$$Q_2 = h_1 - h_4 \left[\frac{\text{kcal}}{\text{kg de fluido}} \right]$$

Calor cedido a la fuente caliente

$$Q_1 = h_2 - h_3 \left[\frac{\text{kcal}}{\text{kg de fluido}} \right]$$

Trabajo teórico del compresor

$$W_{teor} = h_2 - h_1 \left[\frac{\text{kcal}}{\text{kg de fluido}} \right]$$

Eficacia teórica del ciclo

$$\epsilon_{teor} = \frac{Q_2}{W_{teor}}$$

El compresor, realmente no trabaja de forma isentrópica sino adiabática, por lo que se define el rendimiento isentrópico del compresor como la relación entre el trabajo teórico y el trabajo real.

$$\eta_s = \frac{W_{teor}}{W_{real}} = \frac{h_2 - h_1}{h_2' - h_1}$$

Eficacia real del ciclo

$$\epsilon_{real} = \frac{Q_2}{W_{real}} = \frac{Q_2}{\frac{W_{teor}}{\eta_s}} \Rightarrow \epsilon_{real} = \epsilon_{teor} \cdot \eta_s$$

Eficacia total del ciclo

$$\epsilon_{total} = \frac{Q_2}{W_{total}} = \frac{Q_2}{\frac{Q_2}{\eta_{mec}}} = \frac{Q_2}{\frac{Q_2}{\eta_{mec} \cdot \eta_s}} \Rightarrow \epsilon_{total} = \epsilon_{teor} \cdot \eta_{mec} \cdot \eta_s$$

Potencia frigorífica del ciclo

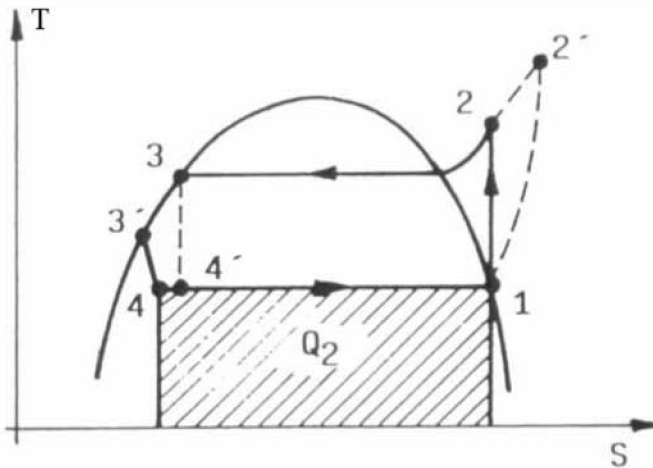
$$P_{frigo} = Q_2 \cdot M \left[\frac{kcal}{h} \right]$$

Donde M son los kg/h de fluido frigorífico.

Potencia mecánica del ciclo

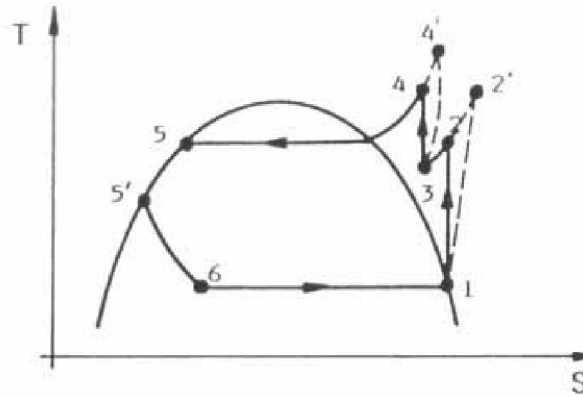
$$P_{mec} = W_{total} \cdot M \left[\frac{kcal}{h} \right]$$

• Ciclo con una compresión y con subenfriamiento



Este ciclo es similar al anterior con la salvedad de que el fluido no sale del condensador en las condiciones del punto 3, ya que hay subenfriamiento del líquido. El balance energético de este ciclo es igual que el descrito anteriormente en cuanto a eficacias y trabajos, con la ventaja de que se gana rendimiento de refrigeración.

• Ciclo con doble compresión y con subenfriamiento



Se parte de un vapor saturado seco en las condiciones del punto 1. Este vapor se comprime isoentrópicamente hasta 2 o adiabáticamente hasta 2'. El fluido comprimido se enfría antes de introducirlo en un nuevo compresor hasta alcanzar las condiciones de punto 4 ó 4'. El fluido entra en el condensador donde cede su calor hasta llegar a líquido saturado (5), aunque sigue enfriándose hasta 5'. Desde aquí sufre una laminación a entalpía constante hasta 6 y entra en el evaporador donde absorbe calor para llegar nuevamente a las condiciones del punto 1.

Los parámetros del ciclo se calculan de la siguiente manera:

Efecto frigorífico:

$$Q_2 = h_1 - h_6 \quad \left[\frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \right]$$

Calor cedido al foco caliente:

$$Q_1 = h_4' - h_5' \quad \left[\frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \right]$$

Trabajo de los compresores:

Compresor de baja

$$W_{teor} = h_2 - h_1$$

$$W_{real} = h_2' - h_1 = \frac{W_{teor}}{\eta_s} \quad \left[\frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \right]$$

$$W_{total} = \frac{W_{teor}}{\eta_s \cdot \eta_{mec}}$$

Compresor de alta

$$W_{teor} = h_4 - h_3$$

$$W_{real} = \frac{W_{teor}}{\eta_s} \quad \left[\frac{kcal}{kg} \right]$$

$$W_{total} = \frac{W_{teor}}{\eta_s \cdot \eta_{mec}}$$

- Eficacia del ciclo frigorífico

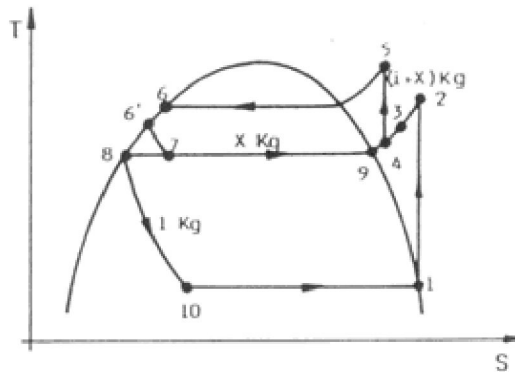
$$\epsilon = \frac{Q_2}{W_{comp\ baja} + W_{comp\ alta}}$$

· Ciclo con doble compresión y doble laminación:

Puede realizarse de dos maneras:

- 1- Con separador de líquidos
- 2- Con barboteo

A. Con separador de líquidos



Se parte de un vapor saturado seco y en las condiciones del punto 1 que entra en el compresor de baja y es comprimido hasta 2. De 2 a 3 el fluido sufre un enfriamiento antes de entrar en un mezclador isobárico y adiabático. En este mezclador, 1 kg de fluido en las condiciones del punto 3 se mezclan con X kg de fluido en las condiciones del punto 9 que provienen del separador de líquido.

La mezcla, que está constituida por $(1 + X)$ kg va a estar en las condiciones del punto 4, entra en el compresor de alta y es comprimida hasta el punto 5. A continuación entra en el condensador y es enfriado hasta el punto 6'.

El fluido pasa por una válvula de expansión hasta 7 y entra en el separador de líquido donde se separa el líquido del vapor.

El vapor (X kg), en las condiciones de 9, va al mezclador, donde se mezcla en las condiciones antes descritas, y el líquido (1 kg) en las condiciones de 8, sufre una segunda laminación hasta 10, donde pasa al evaporador, realizando el efecto frigorífico hasta el punto 1.

Los cálculos más significativos del ciclo son los siguientes:

- Cálculo del porcentaje de vapor en la mezcla (X):

En el punto 7 hay $(1+X)$ kg de fluido. De esos $(1 + X)$ kg, parte están en forma de vapor (X kg) y la otra parte en estado líquido (1 kg).

Para averiguar los kg de vapor que hay en 7 se multiplica la cantidad de fluido $(1+X)$ por el título X_7 .

$$(1 + X) \cdot X_7 = X \quad \Rightarrow \quad X = \frac{X_7}{1 - X_7}$$

Siendo X_7 el título del fluido en esas condiciones.

- Cálculo de la entalpía de 4:

Se calcula realizando un balance de entalpías en el mezclador.

En el mezclador entran X kg en las condiciones de 9 y 1 kg en las condiciones de 3 y salen $(1 + X)$ kg en las condiciones de 4. El mezclador es isobárico y adiabático por lo que la entalpía entrante es igual a la saliente:

$$h_9 \cdot X + h_3 = h_4 \cdot (1 + X) \quad \Rightarrow \quad h_4 = \frac{h_9 \cdot X + h_3}{(1 + X)} \quad \left[\frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \right]$$

- Efecto frigorífico:

$$Q_2 = h_1 - h_{10} \quad \left[\frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \right]$$

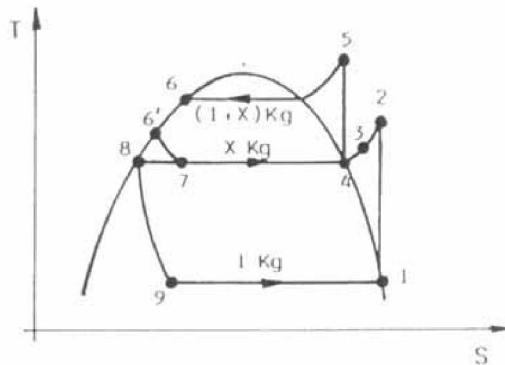
- Trabajo total de los compresores:

$$W_{comp} = \frac{(h_2 - h_1) + (1 + X)(h_5 - h_4)}{\eta_s \cdot \eta_{mec}} \left[\frac{kcal}{kg} \right]$$

- Eficacia frigorífica:

$$\epsilon = \frac{Q_2}{W_{comp}}$$

B. Con barboteo:



Se parte de un vapor saturado seco en las condiciones del punto 1 que entra en el compresor de baja que lo comprime hasta el punto 2. A continuación se realiza un enfriamiento del fluido de 2 a 3 antes de entrar al separador de líquido y de aquí salen $(1+X)$ kg en las condiciones del punto 4. El fluido entra en el compresor de alta y es comprimido hasta 5.

En 5, el fluido se enfría en el condensador hasta 6'. Desde 6' pasa hasta 7 a través de una válvula de expansión, donde se realiza una laminación a entalpía constante.

En 7, el fluido va al separador de líquido. El líquido saturado que sale del separador, en las condiciones del punto 8, experimenta una segunda laminación hasta 9, donde ingresa en el evaporador y realiza el efecto frigorífico hasta el punto 1.

Los cálculos más importantes del ciclo son los siguientes:

- Cálculo de X

Se plantea un balance de entalpías en el separador del líquido de forma que la entalpía entrante sea igual a la saliente:

$$h_3 + (1 + X) \cdot h_7 = (1 + X) \cdot h_4 + h_8 \quad \Rightarrow \quad X = \frac{h_3 - h_8}{h_4 - h_7} - 1 \quad [\text{kg}]$$

- Efecto frigorífico

$$Q_2 = h_1 - h_9 \quad \left[\frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \right]$$

- Trabajo de los compresores

$$W_{\text{comp}} = \frac{(h_2 - h_1) + (1 + X)(h_5 - h_4)}{\eta_s \cdot \eta_{\text{mec}}} \quad \left[\frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \right]$$

- Eficacia frigorífica

$$\epsilon = \frac{Q_2}{W_{\text{comp}}}$$

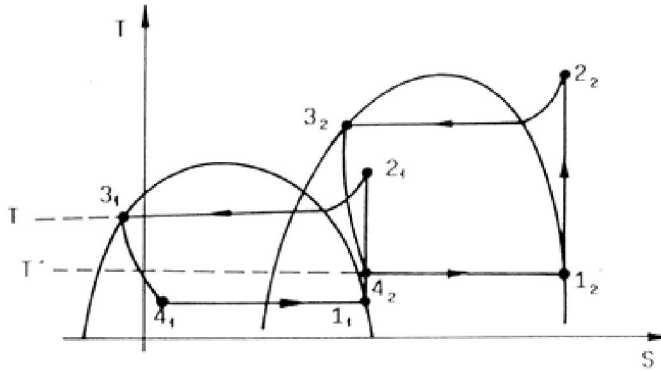
· **Ciclo frigorífico con dos fluidos condensables**

Cuando la temperatura requerida en el evaporador es muy baja (-70 °C, -100 °C) el empleo de los fluidos frigoríficos clásicos se hace imposible o presenta varios inconvenientes:

- Los fluidos clásicos dan en el evaporador presiones muy bajas (problema de entradas de aire).
- El volumen puede ser muy grande (dimensiones excesivas del compresor).

La máquina descrita comprende dos ciclos frigoríficos simples, pero cada uno de los ciclos es susceptible, evidentemente, de ser mejorado, introduciendo la expansión y compresión en varios escalones con reaspiraciones intermedias.

Se recurre normalmente en estos casos al empleo de dos fluidos condensables que recorren cada uno su ciclo sin mezclarse absorbiendo uno de los fluidos el calor que cede el otro.



Los parámetros más importantes del ciclo se calculan de la siguiente manera:

- Relación entre las masas:

En el intercambiador, que hará las veces de condensador para uno de los fluidos y evaporador para el otro, el calor que cede el fluido 1, lo absorbe el fluido 2.

$$M_1 \cdot (h_{21} - h_{31}) = M_2 \cdot (h_{12} - h_{42}) \Rightarrow X = \frac{M_2}{M_1} = \frac{h_{21} - h_{31}}{h_{12} - h_{42}}$$

- Efecto frigorífico:

$$Q_2 = h_{11} - h_{41} \quad \left[\frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \right]$$

- Trabajo de compresores:

$$W_{comp} = \frac{(h_{21} - h_{11}) + X \cdot (h_{22} - h_{12})}{\eta_s \cdot \eta_{mec}} \quad \left[\frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \right]$$

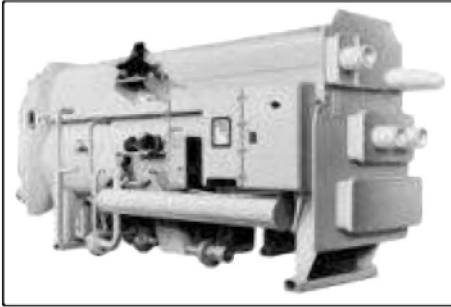
- Eficacia frigorífica:

$$\epsilon = \frac{Q_2}{W_{comp}}$$

- Calor cedido al foco caliente:

$$Q_1 = h_{22} - h_{32} \quad \left[\frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \right]$$

4. LA MÁQUINA DE ABSORCIÓN

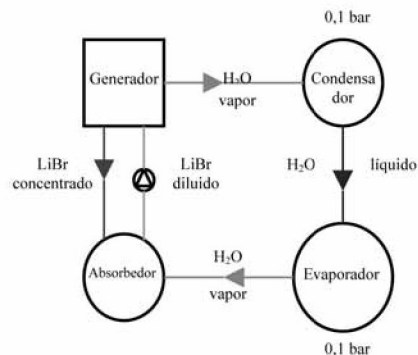


La máquina de absorción es un equipo que permite traspasar energía de una fuente a baja temperatura a otra fuente a alta temperatura con un pequeño consumo de energía adicional. La energía aportada es térmica. Su funcionamiento se basa en la capacidad de determinadas sustancias para absorber un fluido refrigerante.

Máquina de absorción

La sección del evaporador contiene el refrigerante, agua. El refrigerante obtiene calor de una fuente térmica como el agua caliente de refrigeración o un colector solar. Debido a la baja presión mantenida en el evaporador, rápidamente alcanza la temperatura de saturación y se evapora. El resto del ciclo está destinado a la recuperación de este refrigerante.

La afinidad del LiBr (bromuro de litio) por el agua provoca la absorción del vapor refrigerante por la solución concentrada de LiBr en la sección del absorbedor. Esta solución, ahora diluida, se bombea al generador, donde se utiliza vapor o agua caliente para liberar el agua de la solución en forma de vapor. Este vapor entra en el condensador y vuelve a convertirse en líquido, que retorna al evaporador para ser reutilizado. Mientras tanto, la solución concentrada que se quedó en el generador vuelve al absorbedor. El ciclo es continuo mientras la máquina siga en funcionamiento.



Las fuentes de calor de una máquina de absorción pueden ser las siguientes:

- Procesos industriales que producen vapor a alta, media o baja presión o fluidos calientes.
- Sistemas de cogeneración que suministran vapor residual o agua caliente.
- Vapor o agua caliente generados en los sistemas de recuperación de calor de gases de extracción (chimeneas de gas, descargas de turbinas o motores).
- Hornos de secado, hornos de cocción de pinturas, hornos de proceso, instalaciones de tratamiento térmico y forjas que generan fuentes de calor recuperables.
- Sistemas de energía solar o cualquier sistema que produzca agua caliente a temperaturas relativamente bajas (por encima de 80 °C).

Estas máquinas se emplean para las siguientes **aplicaciones**:

- Agua fría para procesos de refrigeración.
- Enfriamiento directo de líquido o vapor de proceso.
- Aire acondicionado para confort en cualquier instalación en que exista suministro de vapor o agua caliente (escuelas, edificios de oficinas, hospitales, etc.).
- Aplicaciones en procesos que requieran simultáneamente refrigeración y calefacción en una gama pequeña de temperaturas.

Ejemplo: Aplicación de una máquina de absorción

Una planta industrial utiliza agua fría a 5 °C para una sección de su proceso productivo. Este agua se genera en un grupo de frío con COP = 4. La demanda de agua fría por parte del proceso productivo es de 500 kW, que para un funcionamiento de 3.000 h/año equivale a 1.500.000 kWh_{frío}/año. De modo que, para la obtención de agua fría se tiene un consumo eléctrico de:

$$\text{Consumo Energía Eléctrica} = \frac{1.500.000}{4} = 375.000 \text{ kWh/año}$$

Por otro lado, esta planta industrial dispone de una instalación de cogeneración formada por dos motores alternativos y una turbina de vapor a condensación.

Se ha pensado en aprovechar el calor del circuito de refrigeración de alta temperatura de los motores (C.R.A.) para alimentar una máquina de absorción de BrLi/H₂O y producir el agua fría necesaria para el proceso productivo de modo que se evitaría parte del consumo eléctrico en el grupo de frío.

La potencia de calor a disipar del C.R.A. de los dos motores es de 2.560 kW.

Se propone instalar una máquina de absorción de las siguientes características:

Potencia frigorífica: 550 kW

COP: 0,51

Potencia generador: 1.080 kW

Por lo tanto, el ahorro energético es el consumo eléctrico evitado en el grupo de frío:

Ahorro energético = 375.000 kWh/año

Que equivalen a = **94 tep/año de energía primaria ***

Ahorro económico (7,5 c€/kWh) = 28.125 €/año

* Se ha considerado el factor energía primaria / energía final = 0,34

5. CÁLCULO DE LA CARGA TÉRMICA

El cálculo de carga térmica de una cámara de refrigeración tiene por objeto la determinación de la cantidad de calor que es necesario extraer de la misma en un tiempo determinado para crear y mantener en su interior la temperatura y humedad relativa requeridas.

En refrigeración, esta cantidad de calor a extraer de la cámara se calcula por día (24 h) y se toma de 16 a 20 horas diarias de operación del líquido de refrigeración para vencer dicha carga, dejando las horas restantes de cada día para descongelación de los serpentines y como un factor de reserva para cargas poco frecuentes.

La humedad relativa en las cámaras se obtiene metiendo un diferencial fijo entre las temperaturas de la cámara y de la evaporación del refrigerante.

La carga térmica Q de una cámara de refrigeración comercial se descompone en las siguientes cargas parciales:

$$Q = Q_a + Q_r + Q_p + Q_m$$

Donde:

Q_a : Carga de transmisión de calor por conducción a través de paredes, techo y piso de la cámara.

Q_r : Carga de infiltración del aire exterior en la cámara.

Q_p : Carga del producto a conservar en la cámara.

Q_m : Carga miscelánea que comprende las cargas térmicas debidas a personas y a equipos eléctricos.

Estas cargas térmicas se expresarán en $\frac{\text{Kcal}}{24\text{h}}$

5.1 Carga de transmisión de calor

Esta carga es debida a la diferencia de temperatura entre el aire exterior e interior de la cámara, lo que da lugar a una transferencia de calor por conducción del medio exterior hacia el interior de la cámara. Esta transferencia de calor se atenúa mediante el aislamiento térmico de la cámara con corcho y otro material aislante térmico.

Los espesores mínimos de corcho recomendados desde el punto de vista técnico-económico se relacionan en la Tabla 1 en función de la temperatura de la cámara. Los espesores a emplear para otros materiales aislantes están dados en la Tabla 2 en función del espesor de corcho dado en la Tabla 1.

La carga de transmisión de calor a través de las paredes, techo y piso de una cámara está dada por la siguiente ecuación:

$$Q_a = S \cdot M = \sum_{i=1}^n K_i \cdot s_i \cdot (t_e - t) \cdot 24 \quad \left[\frac{\text{kcal}}{24 \text{ h}} \right]$$

Donde:

Q_a : Carga de transmisión de calor a través de las paredes, techo y piso de la cámara.

s_i : Área de cada sección de la cámara [m²]

S : Área exterior total de la cámara (paredes, techo, piso) [m²]

K : Coeficiente de transmisión de la pared [kcal/m² · °C · h]

M : Factor unitario de transmisión de calor [kcal · m²/24 h]

El diferencial de temperatura entre el aire exterior y el interior de la cámara es: $D_t = t_e - t$

Siendo:

t_e : Temperatura del aire exterior de la cámara, que se toma como la temperatura de diseño de la localidad.

t : Temperatura de diseño de la cámara o sencillamente, temperatura de la cámara. En la Tabla 3 se muestran el factor unitario de transmisión de calor en los diferentes espesores de corcho y el diferencial de temperatura entre el aire exterior e interior de la cámara.

Cuando no se tienen las dimensiones interiores de la cámara, se acostumbra a restar 0,30 m ó 0,60 m a las dimensiones exteriores de ésta para poder obtener las dimensiones interiores según la cámara sea para temperatura superior o inferior a 0 °C.

5.2 Carga de infiltración

Cierta cantidad de aire exterior penetra en la cámara cada vez que se abre la puerta y, además, también penetra por rendijas, juntas de puerta, etc. Se hace necesario llevar el aire infiltrado de las condiciones del ambiente exterior a las de la cámara, constituyendo esto una carga más a vencer por el equipo de refrigeración.

La cantidad de aire de infiltración se establece por estudios basados en la experiencia y se suele expresar en cambios o renovaciones de aire por día (24 h). En la Tabla 4 se dan los cambios de aire de infiltración por día para las cámaras a temperaturas superiores a 0 °C y en la Tabla 5, para cámaras a temperaturas inferiores a 0 °C.

La carga de infiltración se expresa por la siguiente ecuación:

$$Q_r = v \cdot n \cdot q \quad \left[\frac{\text{kcal}}{24 \text{ h}} \right]$$

Donde:

Q_r : Carga de infiltración de la cámara

v : Volumen interno de la cámara [m³]

n : Cantidad de cambios de aire por día (Tablas 4 y 5)

q : Calor total por m³ de aire de infiltración a extraer de éste para llevarlo de las condiciones exteriores a las condiciones de la cámara. [kcal · m³/24 h]

En las Tablas 6 y 7 se dan los valores de q para cámaras a temperaturas superiores e inferiores a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, respectivamente.

5.3 Carga del producto

Esta carga consiste en la cantidad de calor que es necesario extraer del producto para enfriarlo desde su temperatura de entrada en la cámara hasta la temperatura de ésta en un tiempo determinado. Puede tener varios componentes según el producto se desee enfriar a una temperatura superior o inferior a su temperatura de congelación. En las frutas y vegetales el calor de respiración de los mismos constituye una componente más de esta carga. Por lo tanto, tenemos los siguientes componentes:

· Enfriamiento del producto a una temperatura superior a la de congelación

La carga térmica del producto se expresa por:

$$Q_t = w \cdot c_p \cdot (t_1 - t)$$

Siendo:

Q_t : Carga térmica del producto; [kcal/24 h]

w : cantidad diaria del producto que entra en la cámara; [kg]

c_p : calor específico del producto; [kcal/kg $^{\circ}\text{C}$]

t_1 : Temperatura del producto a la entrada en la cámara; [$^{\circ}\text{C}$]

t : Temperatura de la cámara [$^{\circ}\text{C}$]

· Enfriamiento del producto a una temperatura inferior a la de congelación

La carga térmica del producto para enfriarlo por debajo de su temperatura de congelación viene dada por:

$$Q_t = Q_s^l + Q_l^s + Q_s^s$$

Donde:

$$Q_s^l = w \cdot c_p \cdot (T_C - t_1)$$

$$Q_l^s = w \cdot r_s$$

$$Q_s^s = w \cdot c_p' \cdot (T_C - t)$$

Siendo:

- Q_t : Carga térmica del producto; [kcal/24 h]
- Q_s^l : Carga de enfriamiento del producto desde su temperatura de entrada en la cámara hasta su temperatura de congelación; [kcal/24 h]
- Q_s^i : Calor latente de solidificación de la totalidad del producto; [kcal/24 h]
- Q_s^c : Carga de enfriamiento del producto desde su temperatura de congelación hasta la temperatura de la cámara; [kcal/24 h]
- c_p : Calor específico sensible del líquido; [kcal/kg °C]
- c_p^s : Calor específico sensible del sólido; [kcal/kg °C]
- r_s : Calor latente de solidificación; [kcal/kg]
- t_1 : Temperatura de entrada del producto en la cámara; [°C]
- T_c : Temperatura de congelación del producto; [°C]
- t : Temperatura de la cámara; [°C]
- w : Cantidad del producto a enfriar en 24 horas; si se desea que el tiempo de enfriamiento sea mayor o menor de 24 horas, w se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$w = \frac{24}{\theta} \cdot w_0$$

Donde:

w : cantidad equivalente de producto a enfriar en 24 h; [kg]

w_0 : Cantidad de producto a enfriar en horas; [kg]

En las Tablas 8a - 8c vienen representadas las características técnicas de cada producto.

Carga de respiración de frutas y vegetales

Una vez recolectadas las frutas y los vegetales continúan disipando calor al aire circundante. Este calor es conocido como calor de respiración y representa una carga más a tener en cuenta a la hora de calcular la carga frigorífica. Los valores de estos calores de respiración vienen dados en las Tablas 8a y 8b.

5.4 Carga miscelánea

Esta carga tiene en cuenta el calor que disipan las personas y los equipos eléctricos que se encuentran en la cámara.

• Carga de personas

En la Tabla 9 se indica el calor disipado por las personas en función de la temperatura de la cámara.

- Esta carga proviene de dos fuentes de calor: alumbrado y motores eléctricos. En el primer caso se sabe que un vatio equivale a 0,86 kcal/h ó 20,5 kcal/24 h, lo que nos permite hallar esta carga dados los vatios de las lámparas de la cámara. La carga térmica de los motores eléctricos se especifica en la Tabla 10 teniendo en cuenta la posición del motor y su carga conectada en relación con el espacio refrigerado.

A continuación se presenta un resumen con los principales aspectos a tener en cuenta a la hora de calcular la carga térmica de una instalación frigorífica.

Simbología	Concepto	Fórmula	Observaciones
Q_p	Carga por transmisión a través de paredes y piso	$Q_p = \sum K \cdot S \cdot \Delta T \cdot 24$; [kcal/24 h] $Q_p = S_{total} \cdot M$ M = Ver Tabla 1.3	K (120 mm poliuretano) = 0,17 kcal/m ² ·°C K (76 mm poliuretano) = 0,25 kcal/m ² ·°C
Q_e	Carga de infiltración de aire exterior	$Q_e = V \cdot n \cdot q$; [kcal/24 h] V = Volumen de la cámara; [m ³] n = Cantidad de renovaciones día q = Calor a extraer para llevar el aire de las condiciones exteriores a las interiores; [kcal/m ³ día]	Ver Tablas 4 y 5 Ver Tablas 6 y 7
Q_f	Carga del producto	$Q_f = (Q'_f + Q'_p + Q'_v) \cdot 24$ $Q'_f = m \cdot c_p \cdot \Delta T$; [kcal/h] $Q'_p = m \cdot r$; [kcal/h] $Q'_v = m \cdot c_v \cdot \Delta T$; [kcal/h]	Ver Tablas 8a-8c
Q_r	Calor de respiración de frutas y vegetales	$Q_r = m \cdot q_r$ m = Masa del producto; [Tm] q _r = calor de respiración; [kcal/Tm día]	Ver Tablas 8a y 8b
Q_h	Calor de personas		Ver Tabla 9
Q_l	Calor de iluminación	$Q_l = n \cdot p \cdot 1,2 \cdot 24 \cdot 0,86$ n = N° de lámparas p = Potencia instalada por lámpara; [W] 1,2 = Factor de mayoración. Pérdidas en balastos.	
Q_m	Calor a disipar por motores eléctricos		Ver Tabla 10
$Q_{total\ diario} = 1,1 \cdot (Q_p + Q_e + Q_f + Q_r + Q_h + Q_m)$ [kcal/24 h]			
Carga horaria para cámaras positivas = $\frac{Q_{total}}{16}$			Carga horaria para cámaras negativas = $\frac{Q_{total}}{18}$

6. MEDIDAS PARA LA MEJORA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN INSTALACIONES DE FRÍO INDUSTRIAL

Se van a estudiar los posibles ahorros de energía en los diferentes equipos y componentes de las instalaciones de refrigeración, así como sistemas de producción de frío alternativos y por tanto como sistemas susceptibles de sustituir, aportando alguna mejora, al sistema convencional.

Las medidas de ahorro energético que se van a considerar son:

6.1 Economizadores para el refrigerante

- Intercambiadores aspiración-líquido
- Subenfriamiento abierto del líquido
- Subenfriamiento cerrado del líquido
- Desescarchado por gases calientes

6.2 Economizadores para el aire

- Baterías intercambiadoras
- Tubos evaporadores
- Intercambiador de placas
- Intercambiador de tambor

6.3 Economizadores para el agua y líquidos

- Intercambiadores de calor líquido-líquido
- Intercambiadores de calor líquido-aire

6.4 Sustitución de los grupos de frío

ECONOMIZADORES PARA EL REFRIGERANTE

El ciclo frigorífico puede mejorar su rendimiento mediante uno o varios de los siguientes sistemas:

- **Intercambiador aspiración líquido**

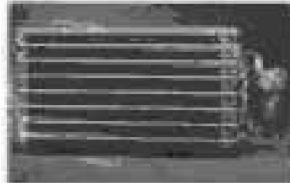
Teóricamente aumenta el rendimiento del ciclo frigorífico gracias al sobrecalentamiento que se produce. Permite apurar el grado de recalentamiento en el evaporador sin miedo a retornar líquido al compresor, ya que se evaporaría en el intercambiador.

En realidad, con este sistema se obtiene una temperatura de descarga del compresor excesiva que es peligrosa para el aceite y para el compresor. El mayor volumen específico del vapor aspirado hace disminuir la potencia del compresor.

- Subenfriamiento abierto del líquido

Consiste en evaporar una pequeña parte del líquido en el recipiente del líquido y a través de un restrictor es aspirado por el compresor en una etapa intermedia de presión.

Mejora el rendimiento termodinámico sin aumentar el recalentamiento de la aspiración, ya que en la etapa intermedia se refrigera el vapor precomprimido, mejora el desplazamiento másico de la segunda etapa al reducir el volumen específico de la mezcla.



Evaporador

- Subenfriamiento cerrado del líquido

Es similar al caso anterior pero utilizando un evaporador (intercambiador cerrado) para enfriar el líquido previamente a su inyección.

Es en todo similar al caso anterior, pero sin perder presión el líquido, siendo más indicado para expansión seca o con conducciones largas.

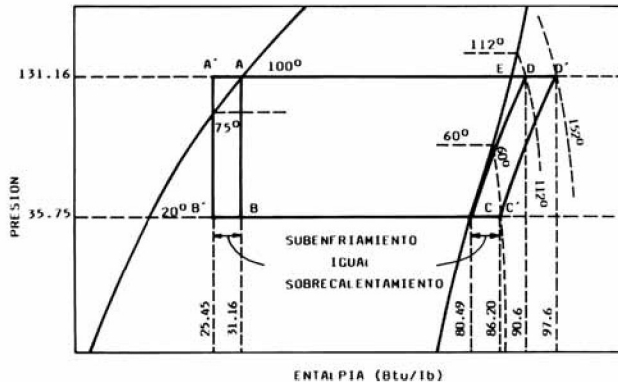
- Desescarche por gases calientes

Utilizado en general en grandes instalaciones de conservación de congelados, normalmente de potencia elevada, con múltiples evaporadores y en general con una central frigorífica común, puede compensar la complejidad de un desescarche por gases calientes frente a un ahorro de energía no desdeniable, sobre todo si puede reducir la potencia contratada.

Ejemplo: Intercambiador de calor entre la línea de líquido y de aspiración

En un ciclo frigorífico se ha instalado un intercambiador de calor entre la línea de líquido y de aspiración, de manera que la cuantía de sobrecalentamiento en la aspiración del compresor y el subenfriamiento en el condensador son iguales.

El ciclo de saturación simple y el nuevo ciclo con intercambiador están representados en el siguiente gráfico:



Se supone una eficiencia en el intercambiador del evaporador de 0,985, y un rendimiento isoentrópico del compresor de 0,8.

Situación actual:

$$\text{Efecto frigorífico: } Q = (h_C - h_B) \cdot 0,985 = 48,59 \text{ Btu/lb}$$

$$\text{Trabajo compresor: } W_{comp} = (h_D - h_C) / 0,8 = 12,64 \text{ Btu/lb}$$

$$\text{Eficacia del ciclo: } E = Q / W = 3,84$$

Efecto frigorífico:

$$\text{Efecto frigorífico: } Q = (h_{C'} - h_{B'}) \cdot 0,985 = 59,84 \text{ Btu/lb}$$

$$\text{Trabajo compresor: } W_{comp} = (h_{D'} - h_{C'}) / 0,8 = 14,25 \text{ Btu/lb}$$

$$\text{Eficacia del ciclo: } E = Q / W = 4,20$$

Por lo tanto, el ahorro porcentual de esta mejora será:

$$\frac{4,20 - 3,84}{4,20} \cdot 100 = 8,57\%$$

Nota: 1 Btu/ lb = 0,5556 Kcal / Kg

El grupo frigorífico consume 1.250.000 kWh/año por lo que el ahorro energético será:

Ahorro energético = 107.125 kWh/año

Que equivalen a = **27 tep/año**

Para un precio de la energía eléctrica de 7,8 c€/kWh el ahorro económico será:

Ahorro económico = 8.355,75 €/año

ECONOMIZADORES PARA EL AIRE

En el caso en el que se necesite ventilar un espacio ocupado por personas o productos almacenados, el aire nuevo reemplaza a un volumen igual extraído.

Si existe una diferencia apreciable de temperaturas entre ambos flujos y el entrante debe acercarse previamente en temperatura al saliente, podemos pensar en recuperar el calor extraído por varios sistemas.

- Baterías intercambiadoras

Dos baterías con agua (glicolada si existe riesgo de congelación) en circuito cerrado, pueden resolver la situación con un rendimiento cercano al 50% de forma sencilla, compacta y económica. Es ideal para canalizaciones muy separadas.

- Tubos evaporadores

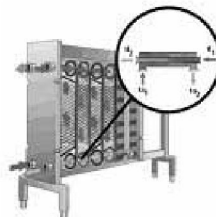
Se trata de una batería partida horizontalmente, donde la parte superior infiere en el flujo de aire saliente y el inferior en el entrante (o viceversa).

Los tubos estarían dispuestos verticalmente, contendrían un fluido refrigerante en un relleno capilar, que permitiría su condensación en la zona más fría y su evaporación en la más caliente.

No están muy extendidos por su complejidad.

- Intercambiador de placas

Cada placa separa el aire entrante del aire saliente intercambiando calor. Se puede conseguir un rendimiento del orden del 65% y es muy indicado para temperaturas extremas y ambientes agresivos por su construcción en aluminio o acero inoxidable.



Intercambiador de placas

- Intercambiadores de tambor

Se trata de un tambor cilíndrico y giratorio, dividido por múltiples tabiques radiales.

Por un semicilindro circula el aire entrante y a contra corriente el saliente por la otra mitad. El calor cedido (a veces también la humedad) a los tabiques por un fluido, es tomado por el otro. Su rendimiento puede ser del 70%, pero su mantenimiento y volumen lo restringen a utilizaciones muy especiales.

Ejemplo: Enfriamiento del aire de entrada a una cámara frigorífica.

Una industria posee una cámara frigorífica en la que el aire se encuentra a 4 °C. Por necesidades del proceso es necesario ventilar la cámara introduciendo aire del exterior que ocupará el lugar de un volumen igual de aire extraído del interior e igual a 50.000 m³/h. El aire exterior se encuentra a 20 °C. Esta acción se lleva a cabo durante 1.800 horas al año.

Se ha decidido instalar un intercambiador de placas para enfriar el aire de entrada a la cámara. Este sistema presenta un rendimiento del 65%.

Las temperaturas del aire a la entrada y salida del intercambiador son las siguientes:

T^a entrada - salida:

Aire del exterior 20 - 16 °C

Aire del interior de la cámara: 4 - 8 °C

El ahorro obtenido en una hora enfriando el aire exterior será:

$$\frac{50.000 \frac{m^3}{h} \cdot 1,176 \frac{kg}{m^3} \cdot 0,24 \frac{kcal}{kg \cdot ^\circ C} (20 - 16) \rho C}{0,65 \cdot 860 \frac{kcal}{kWh}} = 100,1 \text{ kW}$$

Si el enfriamiento del aire se realizara a través de un grupo de frío de COP = 3,5 se consumiría una energía eléctrica:

$$\text{Consumo E.E} = \frac{100,1}{3,5} \cdot 1.800 = 51.480 \text{ kWh/año}$$

Por lo tanto, con la instalación del intercambiador de placas se tiene un ahorro energético de:

Ahorro energético = 51.480 kWh/año

Que equivalen a = **12,9 tep/año de energía primaria (*)**

Si el precio de la energía eléctrica es de 7,8 c€/kWh, el ahorro económico total obtenido es de:

Ahorro económico = 4.015 €/año

* Se ha considerado el factor energía primaria / energía final = 0,34

ECONOMIZADORES PARA EL AGUA Y LÍQUIDOS

Es el caso más industrial, más antiguo y, por tanto, el más conocido.

- Intercambiadores de calor líquido-líquido

Es la utilización obvia para flujos de agua o líquidos utilizados en procesos generalmente dentro de la industria química y alimentaria.

En la industria alimentaria son especialmente importantes los llamados “de placas” por su peculiar característica de ser accesibles para su limpieza por ambos circuitos. Actualmente están muy extendidos en otras utilidades por su carácter compacto y económico en los de gran serie.

No obstante, donde no sea indispensable la limpieza mecánica por ambos circuitos, presentan indudables ventajas de mantenimiento y construcción los de tipo multitubular.

- Intercambiadores de calor líquido-aire

Cuando un fluido es líquido y el otro gas, las baterías o tubos aleteados pueden ser la solución para realizar el intercambio deseado de calor.

Ejemplo: Recuperación del calor de un sistema frigorífico

Una instalación necesita 25 t/h de agua caliente a 60 °C en su proceso productivo. Este agua se obtiene mediante el calentamiento con vapor en un intercambiador.

En otro punto de la empresa, se tiene una máquina frigorífica por cuyo condensador circula agua con las siguientes características:

<i>Caudal:</i>	<i>12 t/h</i>
<i>Temperatura de entrada (fría):</i>	<i>18 °C</i>
<i>Temperatura de salida (caliente):</i>	<i>60 °C</i>

Se ha pensado en aprovechar este agua caliente en el proceso productivo, lo que evitaría parte de la generación del vapor destinado al calentamiento del agua.

El hecho de aprovechar el agua caliente del condensador reduce la necesidad de vapor en:

$$12.000 \frac{\text{kg}}{\text{h}} (60 - 18) \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} = 504.000 \text{ kcal/kg}$$

Se estima un rendimiento del 83 % en la generación y transporte del vapor por lo que se tendrá un ahorro de:

$$\text{Ahorro} = \frac{504.000}{0,83} = 607.229 \text{ kcal/kg}$$

La instalación funciona durante 3.500 horas al año, de modo que se tiene un ahorro energético de:

Ahorro energético = 2.744.000 kWh(PCS)/año

Que equivalen a = 212,4 tep/año

Para un precio del gas natural de 2,3 c€/kWh, el ahorro económico es de:

Ahorro económico = 63.112 €/año

SUSTITUCIÓN DE GRUPOS DE FRÍO

Ejemplo: Sustitución de un grupo de frío

Una línea del proceso productivo de una fábrica se compone de tres máquinas de silicona que demandan una cantidad de frío para llevar a cabo su trabajo. La demanda de frío de estas máquinas se reparte de la siguiente manera:

▪ Máquina 1	348.000 kWh _{frío} /año
▪ Máquina 2	241.300 kWh _{frío} /año
▪ Máquina 3	1.386.100 kWh _{frío} /año
	<hr/>
Total	1.975.400 kWh_{frío}/año

En la actualidad, esta demanda de frío se ve satisfecha mediante un grupo de frío con un $COP_{real} = 2,56$.

En estas condiciones se tiene un consumo eléctrico de:

$$\frac{1.975.400}{2,56} = 771.640 \text{ kWh/año}$$

Se ha decidido sustituir esa máquina frigorífica por una nueva con un mejor COP. Se ha optado por un grupo de frío con un $COP_{real} = 4,25$.

El consumo eléctrico en esta nueva situación será:

$$\frac{1.975.400}{4,25} = 464.800 \text{ kWh/año}$$

El ahorro energético obtenido debido a la sustitución del grupo de frío será:

$$\text{Ahorro energético} = 771.640 - 464.800 = 306.840 \text{ kWh/año}$$

Que equivalen a = **76,71 tep/año de energía primaria***

Para un precio de la energía eléctrica de 7,8 c€/kWh, el ahorro económico es de:

$$\text{Ahorro económico} = 23.934 \text{ €/año}$$

* Se ha considerado el factor energía primaria / energía final = 0,34

ANEXO:

TABLAS PARA EL CÁLCULO DE LA CARGA TÉRMICA

TABLAS PARA EL CÁLCULO DE LA CARGA TÉRMICA

Carga de transmisión de calor

Tabla 1: Espesores mínimos de corcho

Temperatura de la cámara (°C)	Espesor mínimo de corcho [mm]
10 a 16	75
4 a 10	100
-4 a 4	125
-9 a -4	150
-18 a -9	175
-26 a -18	200
-40 a -26	250

Tabla 2: Espesores equivalentes de materiales aislantes

Material	Espesor [mm]		
Corcho, planchas	50	75	100
Madera balsa	75	113	150
Corcho granulado	63	100	130
Insulex	100	150	200
Lithboard	75	100	150
Aserrín	100	150	200

Tabla 3: Cálculo del factor unitario de transmisión de calor para el caso específico del aislamiento de corcho

V [°C]	Espesor del corcho [mm]													Cristales		
	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	Sencillo	Doble	Triple	
1	11,72	8,79	7,03	5,8	5,03	4,04	3,91	3,52	3,22	2,93	2,69	2,49	131,8	53,7	34,2	
20	234	176	141	117	101	88	78	70	64	59	54	50	2.616	1.074	684	
22	258	193	155	129	111	97	80	77	71	64	59	55	2.900	1.181	752	
24	281	211	169	141	121	106	94	85	77	70	65	60	3.163	1.289	821	
26	305	229	183	152	131	114	102	92	84	76	70	65	3.427	1.396	889	
28	328	246	197	164	141	123	109	99	90	82	75	70	3.690	1.504	958	
30	352	264	211	176	151	132	117	106	97	88	81	75	3.954	1.611	1.026	
32	375	281	225	188	161	141	125	113	103	94	86	80	4.218	1.718	1.094	
34	398	299	239	199	171	150	133	120	109	100	91	85	4.481	1.826	1.163	
36	422	316	253	211	181	158	141	127	116	105	97	90	4.745	1.933	1.231	
38	445	334	267	223	191	167	149	134	122	111	102	95	5.008	2.041	1.300	
40	469	352	281	234	201	176	156	141	129	117	108	100	5.272	2.148	1.368	
42	492	369	295	246	211	185	164	148	135	123	113	105	5.536	2.255	1.436	
44	516	387	309	258	221	194	172	155	142	129	118	110	5.799	2.363	1.505	
46	539	404	323	270	231	202	180	162	148	135	124	115	6.063	2.470	1.573	
48	563	422	337	281	241	211	188	169	155	141	129	120	6.226	2.578	1.642	
50	586	440	352	293	252	220	196	176	161	147	135	125	6.590	2.685	1.710	
52	609	457	366	305	262	230	203	183	167	152	140	129	6.854	2.792	1.778	
54	633	475	380	316	272	238	211	190	174	158	145	134	7.117	2.900	1.847	
56	656	492	394	328	282	246	219	197	180	164	151	139	7.381	3.007	1.915	
58	680	510	408	340	292	255	227	204	187	170	156	144	7.644	3.115	1.984	
60	703	527	422	352	302	264	235	211	193	176	161	149	7.908	3.222	2.052	
62	727	545	436	363	312	273	242	218	200	182	167	154	8.172	3.329	2.120	
64	750	563	450	375	322	282	250	225	206	188	172	159	8.435	3.437	2.189	
66	774	580	464	387	332	290	258	232	213	193	178	164	8.699	3.544	2.257	
68	797	598	478	398	342	299	268	239	219	199	183	169	8.962	3.652	2.326	

Carga de infiltración

Tabla 4: Infiltración promedio de aire exterior en las cámaras de refrigeración a más de 0 °C en cambio por 24 h

Volumen de la cámara [m³]	Cambios por 24 h	Volumen de la cámara [m³]	Cambios por 24 h	Volumen de la cámara [m³]	Cambios por 24 h
6	42,0	36	15,5	220	5,6
7	38,1	42	14,2	300	4,7
8	35,6	50	12,6	400	4,1
10	31,8	60	11,7	600	3,4
12	28,6	70	10,6	800	2,8
14	26,1	80	9,9	1.000	2,5
18	22,3	100	8,8	1.400	2,0
22	20,2	120	7,9	1.800	1,9
26	18,5	140	7,2	2.200	1,6
30	17,0	180	6,3	2.800	1,4

Para uso intenso multiplique los valores por 2

Para almacenamiento de largo tiempo multiplique los valores anteriores por 0,6

Tabla 5: Infiltración promedio de aire exterior en las cámaras de refrigeración a más de 0 °C en cambio por 24 h

Volumen de la cámara [m ³]	Cambios por 24 h	Volumen de la cámara [m ³]	Cambios por 24 h	Volumen de la cámara [m ³]	Cambios por 24 h
6	32,1	36	11,9	220	4,4
7	29,0	42	11,0	300	3,7
8	27,1	50	10,0	400	3,1
10	24,0	60	9,2	600	2,5
12	21,8	70	8,3	800	2,2
14	20,1	80	7,6	1.000	1,9
18	17,5	100	6,7	1.400	1,6
22	15,6	120	6,1	1.800	1,4
26	14,1	140	5,6	2.200	1,3
30	13,1	180	4,9	2.800	1,1

Para uso intenso multiplique los valores por 2

Para almacenamiento de largo tiempo multiplique los valores anteriores por 0,6

Tabla 6: Calor a extraer del aire exterior para llevarlo a la temperatura de la cámara [kcal/m³]

Temp. cámara [°C]	Temperatura del aire exterior [°C]									
	30		32		34		36		38	
	Humedad relativa del aire exterior [%]									
	50	60	50	60	50	60	50	60	50	60
18	6,50	8,28	8,45	10,68	10,23	12,73	12,46	15,31	14,24	17,53
16	7,74	9,52	9,61	11,92	11,48	14,06	13,70	16,64	15,48	18,87
14	10,06	11,39	11,39	13,79	13,17	15,75	15,40	18,42	17,18	20,65
12	11,03	13,08	13,08	15,40	14,86	17,26	17,09	19,93	18,87	22,25
10	12,28	14,33	14,44	16,64	16,20	18,60	18,42	21,27	20,29	23,67
8	13,44	15,93	15,66	17,89	17,44	19,84	19,67	22,60	21,54	24,92
6	14,68	16,82	16,82	19,22	18,69	21,18	20,91	23,94	22,78	26,25
4	15,84	15,51	17,98	20,47	19,84	22,43	22,16	25,27	24,03	27,68
2	16,91	19,13	18,06	21,45	21,00	23,40	23,32	26,25	25,18	28,65
0	17,89	20,02	20,20	22,25	21,98	24,38	24,29	27,14	26,07	29,46

Tabla 7: Calor a extraer del aire exterior para llevarlo a la temperatura de la cámara [kcal/m³]

Temp. cámara [°C]	Temperatura del aire exterior [°C]							
	5		10		32		38	
	Humedad relativa del aire exterior [%]							
	50	60	50	60	50	60	50	60
0	1,78	2,40	4,54	5,24	8,45	10,68	26,07	29,46
-2	2,34	3,38	5,61	6,50	20,45	23,14	26,79	30,35
-4	4,00	4,45	6,67	7,48	21,89	24,29	28,03	31,59
-6	4,89	5,43	7,65	8,45	22,78	25,24	29,10	32,93
-8	5,96	6,41	8,72	9,52	23,94	26,61	30,35	34,03
-10	6,85	7,39	9,61	10,50	24,92	27,76	31,32	35,15
-12	7,65	8,19	10,50	11,30	25,99	28,74	32,48	36,13
-14	8,54	9,17	11,30	12,19	26,96	29,72	33,55	37,20
-16	9,43	10,06	12,19	13,17	28,03	30,70	34,71	38,35
-18	10,32	10,85	13,08	13,79	29,10	31,77	35,68	39,24
-20	11,21	11,66	13,97	14,66	30,08	32,57	36,84	40,22
-22	12,01	12,46	14,86	15,48	31,06	33,55	37,91	41,11
-24	12,81	13,17	15,75	16,29	32,13	34,44	38,89	42,36
-26	13,79	14,06	16,54	17,09	33,28	35,51	39,96	43,25
-28	14,59	14,86	17,53	17,89	34,26	36,49	40,85	44,50
-30	15,40	15,75	18,33	18,78	35,15	37,46	41,65	45,56
-32	16,20	16,64	19,22	19,76	36,22	38,71	42,54	46,72
-34	17,59	17,53	20,11	20,82	37,20	39,78	43,43	47,88

Carga del producto

Tabla 8a: Datos para almacenamiento de frutas

Fruta	Almacenamiento		Temperatura [°C]		Humedad relativa [%]		Calor específico [kcal/kg °C]		Temp. de cong. T _c [°C]	Contenido de agua [l]	Calor de respirac. [kcal/Tm d]	Vel. Máx. aire [m/s]	Enfriado f indicado
	Tipo	Tiempo máx.	Indicada	Variación	Indicada	Variación	Sobre T _c	Bajo T _c					
Aguacates	Corto Largo	10 d	4,4 3,3	4,4 a 11,7 2,8 a 11,7	85 85	85-90 85-90	0,91 0,49	0,49 75,6	-2,7	94	2324	0,45	S
Albaricoques	Corto Largo	4-7 d	1,7 0,0	1,1 a 4,4 -0,6 a 0,0	85 85	85-90 85-90	0,92 0,50	67,8	-2,2	85	481 306	0,45 0,30	S S ó B
Anones							0,78	0,42	57,8		72		
Arándanos	Corto Largo	1-3 m.	2,2 2,2	2,2 a 4,4 2,2 a 4,4	85 85	85-90 85-90	0,91 0,47	67,8	-2,6	88	253	0,45 0,45	S S ó B
Bananas verdes, maduras, madurando		10 d	13,3 13,3 21,1	13,3 a 15,6 13,3 a 15,6 16,7 a 21,1	92 87 95	90-95 85-90 90-95	0,90 0,42	60,0	-3,3 a -1,1	75	2324 2569	0,45	S
Bayas	Corto Largo	3-10 d	1,7 0,0	1,7 a 4,4 -0,6 a 0,0	85 85	85-90 85-90	0,90 0,49	66,7	-2,2 a -1,1	84	1535	0,45 0,30	S ó B S ó B
Calmito							0,87	0,45	67,3		84		
Canistel							0,70	0,39	50,0		62,1		
Cerezas agrias, dulces		10-14 d		-0,6 a 0,0 -0,6 a 0,0		80-85	0,87	0,45	66,7	-2,2 -3,9	83	428	
Ciruuelas y pasas frescas	Largo	3-8 s	1,7 0,0	1,7 a 4,4 -0,6 a 0,0	85 85	80-85 80-85	0,88 0,48	64,5	-2,2	80		0,45 0,45	S S ó B
Cocos de agua, fruto masa							0,95 0,25	0,40 0,22	74,5 45,6		93 5,7		
Dátiles curados	Corto Largo	3-6 m.	1,7 -2,2	1,7 a 4,4 -2,2 a 0,0	70 70	65-75 65-75	0,35 0,26	14,5	-20	18		0,75 0,75	S ó B S ó B
Dátiles frescos	Corto Largo	15 d	4,4 1,1	4,4 a 10 1,1 a 2,2	75 70	65-75 65-75	0,71 0,44	64,5	-2,1	90	253	0,45 0,45	S S
Frambuesa				-0,6 a 0,0		80-85	0,89	0,45	67,3	-1,1	82-86	1529	

Tabla 8a: Datos para almacenamiento de frutas (Continuación)

Fruta	Almacenamiento		Temperatura [°C]		Humedad relativa [%]		Calor específico [kcal/kg °C]		Calor latente [kcal/kg]	Temp. de cong. T _c [°C]	Contenido de agua [%]	Calor de respirac. [kcal/Tm d]	Vel. Máx. aire [m/s]	Enfriado F indicado
	Tipo	Tiempo máx.	Indicada	Variación	Indicada	Variación	Sobre T _c	Bajo T _c						
Fresas		7-10 d		-0,6 a 0,0	85		0,92	0,48	71,7	-1,1	90	908		
Frutas secas	Corto Largo	9-12 m.	1,7 0,0	1,7 a 4,4 0,0 a 2,2	70 70	70-75 70-75	0,47	0,32	23,9		30		0,75 0,75	S S ó B
Ganadas	Corto Largo	90 d		1,7 a 4,4 0,6 a 1,7		80-85 80-85	0,87	0,48	62,3	-2,2	77			
Grosellas		10-14 d	0			80-85	0,88	0,46	68,4	-1	85			
Guanábana							0,85	0,44	65,1		81			
Guayaba del Perú							0,81	0,43	61,2		76			
Guayaba cotrera							0,82	0,43	62,3		78,0			
Higos frescos	Corto Largo	15 d	4,4 1,1	4,4 a 10,0 1,1 a 2,2	75 70	65-75 65-75	0,71	0,44	64,5		90,0		0,45 0,45	S S
Higos secos		9-12 m.		4,4 a 7,2		65-75	0,30	0,27	18,9		24,0			
Limonos	Corto Largo	1-4 m	12,8 12,8	12,8 a 15,6 12,8 a 15,6	85 85	85-90 85-90	0,91	0,49	70,1		88,0	575	0,45 0,45	S S ó B
Mamey colorado							0,76	0,41	56,2		70,0			
Mamey Sto. Domingo							0,87	0,45	67,3		84,0			
Mamonclino							0,85	0,44	64,5		80,8			
Mangos		10 d		0,6 a 1,7	85		0,90	0,46	74,5	0	93,0			
Manzanas	Corto Largo	8 m.	1,7 1,1	1,7 a 4,4 1,1 a 0	87 87	85-88 85-88	0,89	0,43	67,8	-1,7	84,0	231	0,45 0,30	S B
Marañones							0,89	0,46	69,5		86,7			

Tabla 8a: Datos para almacenamiento de frutas (Continuación)

Fruta	Almacenamiento		Temperatura [°C]		Humedad relativa [%]		Calor específico [kcal/kg °C]		Calor latente [kcal/kg]	Temp. de cong. T _c [°C]	Contenido de agua [%]	Calor de respirac. [kcal/Tm d]	Vel. Máx. aire [m/s]	Enfriado F indicado
	Tipo	Tiempo máx.	Indicada	Variación	Indicada	Variación	Sobre T _c	Bajo T _c						
Melocotones	Corto Largo	2-4 s	1,7 0,0	1,7 a 4,4 -0,6 a 1,6	85 85	80-85 80-85	0,91	0,41	71,2	-1,6	90,0	309 482	0,30 0,30	S B
Melones de agua y Rocio de miel	Corto Largo	2-4 s	7,2 2,2	7,2 a 10,0 2,2 a 4,4	85 85	75-85 75-85	0,11	0,46	63,9	-1,7	85,0	482	0,45 0,75	S S ó B
Melones Cantaloupe	Corto Largo	7-10 d	0,0	0,0 a 1,7	85	75-85	0,91	0,47	71,2	-1,7	89,0	309	0,45	S ó B
Membrillo	Corto Largo	2-3 m.	1,7 0,0	1,7 a 4,4 -0,6 a 0,0	85 85	80-85 80-85	0,90	0,49	67,8	-2,2	85,0	320	0,30 0,30	S B
Naranjas	Corto Largo	8-10s	4,4 0,0	4,4 a 7,2 0,0 a 1,1	85 85	85-90 85-90	0,91	0,44	69,5	-2,2	81,0	221 389	0,45 0,45	S S ó B
Nisperos		2-3s		-0,6 a 0,0		85-90	0,80	0,46	53,4	-2,1	78,8			
Papayas							0,95	0,48	75,6		94,0			
Peras	Corto Largo	1-7m	1,7 -0,6	1,7 a 4,4 -0,6 a 1,6	90 90	85-90 85-90	0,91	0,49	67,8	-2,8 a -2,2	84,0	214	0,30 0,30	S B
Piñas	Corto		4,4	4,4 a 7,2	85	85-90	0,90	0,50	71,2	-1,2	88,0		0,75	S ó B
Piñas maduras		2-4s	4,4	4,4 a 7,2	85	85-90							0,75	
Piñas verdes		3-4s	10,0	10,0 a 15,6	90	85-90							0,75	
Zapotes							0,83	0,44	62,8		78,0			
Tamarindo							0,52	0,22	32,2		40,0			
Toronjas	Corto Largo	6-8s	4,4 0,0	4,4 a 7,2 0,0 a 1,1	90 85	80-85 80-85	0,91	0,49	71,12	-2	88,0	460 1.070	0,45 0,45	S S ó B
Uvas (Americanas del este)	Corto Largo	3-8s	1,7 -0,6	1,7 a 4,4 -0,6 a 0,0	85 85	80-85 80-85	0,90	0,61	62,3	-2,2	77,0	1.100	0,45 0,45	S S ó B
Uvas (Viníferas California)	Corto Largo	3-6m	1,7 -1,1	1,7 a 4,4 -1,1 a -0,6	85 85	85-90 85-90	0,85	0,59	62,3	-4,3	79,0		0,45 0,45	S S ó B
Zarzamoras		7-10d		0,6 a 0,0		80-85	0,92	0,46	68,9	-1,6	85,0			

Tabla 8b: Datos para almacenamiento de vegetales

Vegetal	Almacenamiento		Temperatura [°C]		Humedad relativa [%]		Calor específico [kcal/kg °C]		Calor latente [kcal/kg]	Temp. de cong. T _c [°C]	Contenido de agua [%]	Calor de respirac. [kcal/Tm d]	Vel. Máx. aire [m/s]	Enfriado r. indicado
	Tipo	Tiempo máx.	Indicada	Variación	Indicada	Variación	Sobre T _c	Bajo T _c						
Aceitunas frescas		4-6s		7,2 a 10		85-90	0,80	0,43	60,0	-1,9	75,0			
Acelgas							0,80	0,43	60,0		74,8			
Alcachofas	Corto Largo	2-5m		4,4 a 7,2 -0,6 a 0,6	90 90		0,49 0,90	0,49 0,23	74,5 7,8	-2,5	92,0			
Almendras							0,28	0,42	59,5	-3,7	74,0			
Ajos (secos)		6-8m	0,0			70-75	0,79	0,24	41,7		12,1			
Ajiles							0,30	0,22	4,4		5,4			
Ajonjolí							0,24	0,46	75,6	-1,3	94,5	4540	0,45	
Aplo	Corto Largo	2-4m	1,7 0,0	1,7 a 4,4 -0,6 a 0,0	90 90	90-95 90-95	0,91					2820	0,30	S S ó B
Arroz		6m					0,37	46,1			57,7			
Berenjena		7-10d	1,7	7,2 a 10,0	65	85-90	0,92	0,47	71,7	-0,9	89,6			
Boniato (cáscara blanca)							0,67	0,37	46,1		57,6			
Boniato (cáscara roja)							0,67	0,38	47,3		59,5			
Brócoli	Corto Largo	7-10d	4,4 0,0	4,4 a 7,2 0,0 a 1,7	90 90	90-95 90-95	0,90	0,48	75,1	-1,6	93,0	3233 2071	0,45 0,30	S S ó B
Calabaza		2-6m		10,0 a 12,8		70-75	0,84	0,44	63,9	-1,7 a - 1,1	79,3			
Cebollas	Corto Largo	6-8m	10,0 0,0	10,0 a 15,6 0,0 a 2,2	75 75	70-75 70-75	0,91	0,51	72,3	-1,1	89,0	520 245	0,75 0,75	S S ó B
Col (repollo)							0,80	0,43	60,0		75,1			

Tabla 8b: Datos para almacenamiento de vegetales (Continuación)

Vegetal	Almacenamiento		Temperatura [°C]		Humedad relativa [%]		Calor específico [kcal/kg °C]		Calor latente [kcal/kg]	Temp. de cong. T _c [°C]	Contenido de agua [%]	Calor de respirac. [kcal/Tm d]	Vel. Máx. aire [m/s]	Enfriado r. indicado
	Tipo	Tiempo máx.	Indicada	Variación	Indicada	Variación	Sobre T _c	Bajo T _c						
Col berza	Corto Largo	3-4m	1,7 0,0	1,7 a 4,4 0,0 a 2,2	95 95	90-95 90-95	0,93	0,47	73,4	-0,4	91,5	464 334	0,45 0,30	S ó B S ó B
Coliflor	Corto Largo	2-3s	1,7 0,0	1,7 a 4,4 0,0 a 2,2	90 90	85-90 85-90	0,90	0,46	73,9	-0,1	92,5	1265 787	0,45 0,30	S S ó B
Chayote							0,78	0,42	57,8		72,1			
Chicharos							0,27	0,23	7,2		9,2			
Chirivía	Corto Largo	2-4m	1,7 0,0	1,7 a 4,4 0,0 a 2,2	95 95	90-95 90-95	0,86	0,44	66,2	-1,7	83,0		0,30 0,30	S S ó B
Escarolas	Corto Largo	2-3s	1,7 0,0	1,7 a 4,4 0,0 a 2,2	90 90	90-95 90-95	0,90	0,46	75,6	-0,6	89,0	2669	0,45 0,45	S S ó B
Espárragos	Corto Largo	30d	4,4 0,0	4,4 a 7,2 0,0 a 2,2	90 90	85-90 85-90	0,91	0,49	75,1	-1,2	94,0	2268	0,45 0,30	S S ó B
Espinacas	Corto Largo	10-14d	1,7 0,0	1,7 a 4,4 0,0 a 2,2	95 95	90-95 90-95	0,92	0,51	71,7	-0,9	90,0	2780 1251	0,45 0,30	S S ó B
Frijoles negros				0,0 a 2,2	75		0,30	0,24	10,0		12,2			
Frijoles verdes	Corto Largo	30d	4,4 0,6	4,4 a 7,2 0,0 a 4,4	90 90	85-90 85-90	0,87	0,47	66,2	-1,3	83,0	1226 2863	0,45 0,30	S S ó B
Gandul							0,31	0,24	11,1		13,6			
Guisantes verdes	Corto Largo	1-2s	1,7 0,0	1,7 a 4,4 0,0 a 2,2	90 90	85-90 85-90	0,82	0,45	59,5	-1,7	80,0	3675 2268	0,45 0,45	S S ó B
Hongos		2-3d		0,0 a 1,7		80-85	0,90	0,47	70,1	-1	91,0	1712		
Lechuga	Corto Largo	2-3s	1,7 1,7	1,7 a 4,4 0,0 a 2,2	90 90	90-95 90-95	0,90	0,46	75,6	-0,4	89,0	4445 3147	0,45 0,30	S S ó B
Limas (habas)	Corto Largo	15-30d	4,4 0,6	4,4 a 7,2 0,0 a 4,4	90 90	85-90 85-90	0,78	0,30	55	-2	68,5	7421 1501	0,45 0,30	S S ó B
Maíz verde	Corto Largo	4-8d	1,7 0,0	1,7 a 4,4 0,6 a 0,0	90 90	85-90 85-90	0,86	0,38	60	-7	75,5	2277 1637	0,45 0,30	S S ó B

Tabla 8b: Datos para almacenamiento de vegetales (Continuación)

Vegetal	Almacenamiento		Temperatura [°C]		Humedad relativa [%]		Calor específico [kcal/kg °C]		Calor latente [kcal/kg]	Temp. de cong. T _c [°C]	Contenido de agua [%]	Calor de respirac. [kcal/Tm d]	Vel. Máx. aire [m/s]	Enfriado F indicado
	Tipo	Tiempo máx.	Indicada	Variación	Indicada	Variación	Sobre T _c	Bajo T _c						
Maíz en granos							0,30	0,24	10,0		12,5			
Maní							0,26	0,22	5,6		7,1			
Malanga amarilla							0,31	0,24	11,1		14,0			
Malanga blanca							0,66	0,37	46,1		57,7			
Nabos	Corto Largo	4-5m	1,7 0,0	1,7 a 4,4 0,0 a 2,2	95 95	95-98 95-98	0,90	0,25	71,2	-0,8	89,5	598 539	0,45 0,30	S S ó B
Nueces secas		8-12m		0,0 a 10,0		65-75	0,29	0,24	7,8	-7,2 a -4,4	3,6			
Papas blancas		6m	10	10,0 a 21,1	85	85-90	0,86	0,47	62,8	-1,7	78,5	979	0,75	S
Papas dulces		4-6m	12,8	12,8 a 15,6	85	80-85	0,75	0,40	53,9	-1,9	78,0	1398	0,75	S ó B
Papas para semilla		6-12m	2	2,2 a 10,0	85	85-90	0,86	0,47	62,8	-1,7	78,5	489	0,75	S ó B
Pepinos	Corto Largo	10-14d	10,0 7,2	10,0 a 15,0 7,2 a 10,0	85 85	80-85 80-85	0,94	0,48	76,2	-0,8	95,5	2908 90	0,45 0,45	S S ó B
Pimientos verdes		4-6s	0			85-90	0,90	0,46	73,4	-1,1	92,0	756		
Pimientos chili		6-9m		0,0 a 10,0		50-75								
Rábano		2-4m	0			95-98	0,90	0,48	73,4		9,1			
Remolacha	Corto Largo	1-3m	4,4 0,0	4,4 a 7,2 0,0 a 2,2	90 95	85-90 95-98	0,90	0,48	71,7	-2,8	90	1139 737	0,45 0,30	S S ó B
Tomates	Corto Largo	3-5s	12,8 12,8	15,6 12,8 a 15,6	85 85	85-90 85-90	0,92	0,46	73,4	-0,8	95		0,45 0,30	S S ó B
Zanahorias	Corto Largo	4-5m	4,4 0,0	4,4 a 7,2 0,0 a 4,4	90 95	85-90 95-98	0,93	0,45	70,0	-0,9	88		0,45 0,30	S S ó B

Tabla 8c: Datos para almacenamiento de carnes y pescados

Producto	Almacenamiento		Temperatura [°C]		Humedad relativa [%]		Calor específico [kcal/kg °C]		Calor latente [kcal/kg]	Temp. de cong. T _c [°C]	Contenido de agua [%]	Calor de respirac. [kcal/Tm d]	Vel. Máx. aire [m/s]	Enfriado F indicado
	Tipo	Tiempo máx.	Indicada	Variación	Indicada	Variación	Sobre T _c	Bajo T _c						
Aves frescas congeladas	Corto Largo	10d 10m	-2,2 -17,8	-2,2 a -1,1 -20,6 a 17,8	87 85	85-90 85-90	0,79	0,37	58,9	-2,8	74		0,30 0,75	B S
Bacalao fresco salado		2s 6m	-3,9 -20,0	-10,0 a -3,9 -17,8 a -20,6	85 80	85-87 80-84	0,90	0,49	66,2	-1,7	65			
Camarones							0,83	0,45	56,7		70,8			
Carne de res fresca	Corto Largo	3s	1,7 -1,1	1,7 a 4,4 -1,1 a 0,0	87 87	85-90 85-90	0,75	0,40	54,5	-2,8 a -1,7	72		0,30 0,30	S ó B B
Carne de res seca	Corto Largo	6m		7,2 a 10,0	65	65-70	0,22- 0,34	0,19- 0,26	3,9-12,2		5-12		0,75	S ó B
Carne en salmuera	Corto Largo	6m	4,4 -0,6	4,4 a 7,2 -0,6 a 0,0	85 85	80-85 80-85	0,75	0,36	41,7					
Carne en pedazos	Corto	5d	1,1	1,1 a 3,3	87	85-90	0,72	0,40	52,8	-1,7	65		0,30	S
Conejo		1-5d		0,0 a 1,1		90-95								
Cordero	Corto Largo	2s	1,1 -2,2	1,1 a 3,3 -2,2 a -1,1	90 90	85-90 85-90	0,67	0,30	46,7	-1,7	58		0,30 0,30	S ó B B
Chorizos empacados	Corto	4m	4,4 -0,6	4,4 a 7,2 -0,6 a 0,0	80	75-80	0,60						0,75	S ó B B
Chorizos frescos	Corto Largo	15d		1,7 a 4,4 -6,1 a -2,8		80-85 80-85	0,89	0,56	51,7	-3,3	65		0,30	S ó B
Chorizos ahumados	Corto Largo	6m		4,4 a 7,2 0,0 a 4,4	80 80	80-90 80-90	0,86	0,56	47,8	-3,9	60		0,30 0,30	S ó B B
Chorizos secando		2h		-2,2 a 0,0	70		0,86	0,56	51,7	-3,3	65,5			
Jamón y lomo frescos	Corto Largo	3s	1,1 -2,2	1,1 a 3,3 -2,2 a -1,1	85 85	85-87 85-87	0,68	0,38	48,1	-2,8	60		0,30 0,30	S ó B B
Jamón curado		12m		15,6 a 18,3		75-80	0,54	0,33	33,4		43			
Langosta hervida	Corto Largo		-3,9	2,2 a 4,4	80		0,81	0,42	58,4		77			

Tabla 8c: Datos para almacenamiento de carnes y pescados (Continuación)

Producto	Almacenamiento		Temperatura [°C]		Humedad relativa [%]		Calor específico [kcal/kg °C]		Calor latente [kcal/kg]	Temp. de cong. T _c [°C]	Contenido de agua [%]	Calor de respirac. [kcal/Tm ³ d]	Vel. Máx. aire [m/s]	Enfriador indicado
	Tipo	Tiempo máx.	Indicada	Variación	Indicada	Variación	Sobre T _c	Bajo T _c						
Langosta fresca		15-30d	-3			80-84								
Menudos: higado, corazón, etc.	Corto Largo	6m		-2,2 a -1,1 -6,7 a 5,6	85 85	80-90 80-90	0,72	0,40	51,9	-1,7	72		0,75 0,75	S ó B S ó B
Ostras con concha	Corto Largo	15d	1,7 0,0	1,7 a 4,4 0,0 a 3,3	90 90	85-90 85-90	0,83	0,44	64,5	-2,8	80,4		0,45 0,45	S B
Ostras sin concha	Corto Largo	10d	1,7 0,0	1,7 a 4,4 0,0 a 3,3	70 70	70-75 70-75	0,90	0,46	69,5	-2,8	87		0,75 0,75	S S ó B
Palomas			1,1				0,78	0,41	56,7		72			
Pescado con hielo congelado	Corto Largo	15d 6m	1,1 -1,1 -17,8	1,1 a 3,3 -1,1 a 0,0 -20,6 a -17,8	85 85 85	80-85 80-85 80-85	0,76	0,41	56,2	-2,2	70		0,45 0,45 1,25	S ó B S ó B S ó B
Pescado seco		2-4m		-5,0 a -3,9		70-75	0,56	0,34	36,1		45			
Pescado ahumado		6-8m		4,4 a 7,2		50-60								
Pescado en salmueras		10-12m		4,4 a 10,0		90-95								
Puerco fresco	Corto Largo	15d		1,1 a 3,3 -1,1 a 0,0	85 85	85-90 85-90	0,68	0,38	48,1	-2,2	60		0,45	S ó B
Puerco ahumado	Corto Largo	15d		4,4 a 7,2 -2,2 a -1,1	85 85	85-90 85-90	0,60	0,32			57			
Ternera	Corto Largo	15d	1,1 -2,2	1,1 a 3,3 -2,2 a -1,1	87 87	85-90 85-90	0,71	0,30	50,6	-1,7	63		0,30 0,30	S ó B S
Tocino	Corto Largo	15d	4,4 a 7,2	4,4 a 7,2 -2,2 a -1,1		80-85 80-85	0,50	0,30	16,1	-3,9	20		0,75	S ó B

Carga miscelánea

Tabla.9: Calor disipado por las personas

Temperatura de la cámara [°C]	Calor disipado [kcal/h persona]
-24	354
-20	342
-16	324
-12	302
-8	274
-4	250
0	234
4	214
8	193
10	182

Tabla 10: Calor debido a motores eléctricos

Motor kW-(HP)	Caso 1	Caso 2	Caso 3
	kcal/kWh-(kcal/HPh)		
0,1 a 0,4	1.140	860	580
(1/8 a 1/2)	(1.070)	(540)	(430)
0,4 a 2,2	1.250	860	390
(1/2 a 3)	(930)	(540)	(300)
2,2 a 15	1.000	560	140
(3 a 20)	(740)	(640)	(100)

Caso 1: Motor dentro del local de refrigerado realizando trabajo útil dentro de éste. (Motor ventilador de enfriador de aire de techo).

Caso 2: Motor fuera del local refrigerado produciendo trabajo útil dentro de éste. (Motor de bomba de circulación de salmuera o agua fría, motor fuera de la cámara accionando el ventilador dentro de ésta).

Caso 3: Motor dentro de la cámara refrigerada realizando trabajo útil fuera de ésta. (Motor dentro de la cámara accionando bomba o ventilador fuera de ésta).



AIRE COMPRIMIDO

INDICE

AIRE COMPRIMIDO

1.- INTRODUCCIÓN45
2.- CÁLCULO DE LAS FUGAS EN LAS REDES DE AIRE COMPRIMIDO46
3.- MEDIDAS PARA LA MEJORA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN INSTALACIONES DE AIRE COMPRIMIDO48
3.1.- Enfriar la toma de aire de los compresores49
3.2.- Eliminar las fugas de aire comprimido49
3.3.- Recuperar el calor de refrigeración de compresores50
3.4.- Mantener la presión mínima en la red51
3.5.- Sustituir los compresores viejos por otros nuevos con mejor rendimiento52
3.6.- Evitar que los compresores trabajen en vacío54

1. INTRODUCCIÓN

El **aire comprimido** se obtiene de los compresores de aire. Dado que el rendimiento mecánico de estos es bajo, habrá que tratar que el compresor trabaje en perfectas condiciones para obtener una alta eficiencia del sistema.



Hay que tener en cuenta que por tratarse de un fluido en movimiento, cualquier tipo de resistencia a su paso genera unas pérdidas de energía que se disipan en forma de calor. Para evitar este tipo de situaciones hay que realizar una serie de **operaciones** que se resumen en:

Compresor de aire

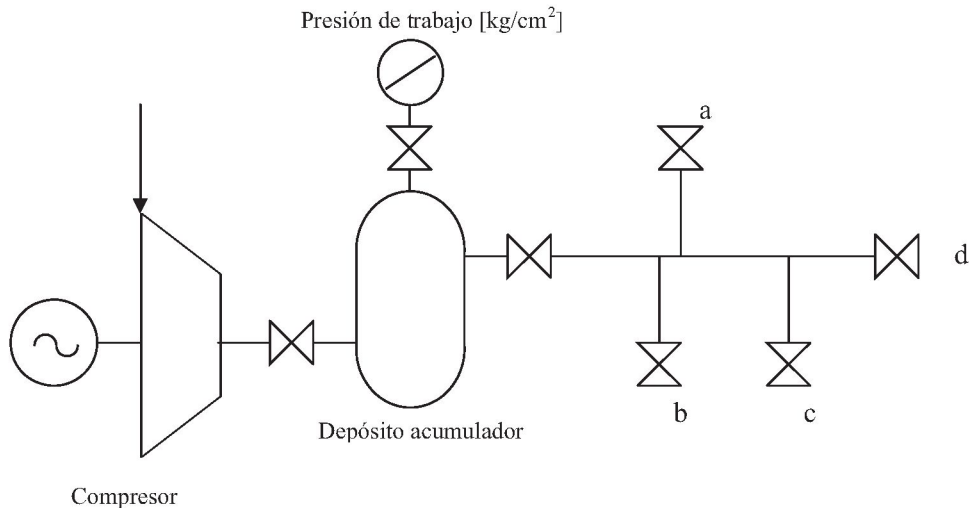
- Reducir las pérdidas en la aspiración. Para ello hay que elegir convenientemente el filtro, diámetro de tubería de aspiración y longitud de la misma.
- Comprobar la refrigeración. Para un buen rendimiento, el calor producido debe eliminarse tan rápidamente como se produzca. En consecuencia, todo el sistema de refrigeración debe mantenerse en buen estado.
- Comprobar que no existan pérdidas en el accionamiento mecánico. Si el accionamiento es por correas comprobar la tensión y el estado de las mismas.
- Lubricar adecuadamente.
- Comprobar las válvulas de entrada y de salida.
- Mantener la tubería de descarga en buenas condiciones.
- Eliminar tiempos muertos.
- Añadir capacidad de compresión al compresor, caso de ser necesario, de acuerdo a sus curvas características.
- Seguir las normas de mantenimiento preventivo dadas por el fabricante.

2. CÁLCULO DE LAS FUGAS EN LAS REDES DE AIRE COMPRIMIDO

Un aspecto muy importante a tener en cuenta en la red de aire comprimido es el de las fugas. Un mal estado de conservación de la red puede traducirse en pérdidas de hasta un 30%. No es posible eliminar las fugas de aire comprimido por completo pero realizando un mantenimiento adecuado, las pérdidas pueden llegar a reducirse hasta el 5%.

Para poder ejercer un control minucioso sobre la red de aire comprimido, será necesario cuantificar las pérdidas de aire que se producen debido a las fugas. Para realizar esta cuantificación se emplean dos métodos:

- Método 1



Asegurándose de que están cerradas las válvulas a, b, c y d y trabajando con un compresor, se sube la presión efectiva situada en el depósito acumulador hasta la de servicio.

El compresor, en este momento, queda trabajando en vacío y se mide el tiempo que transcurre hasta que se pone en marcha el compresor al llegar a una presión prefijada (t_1 minutos).

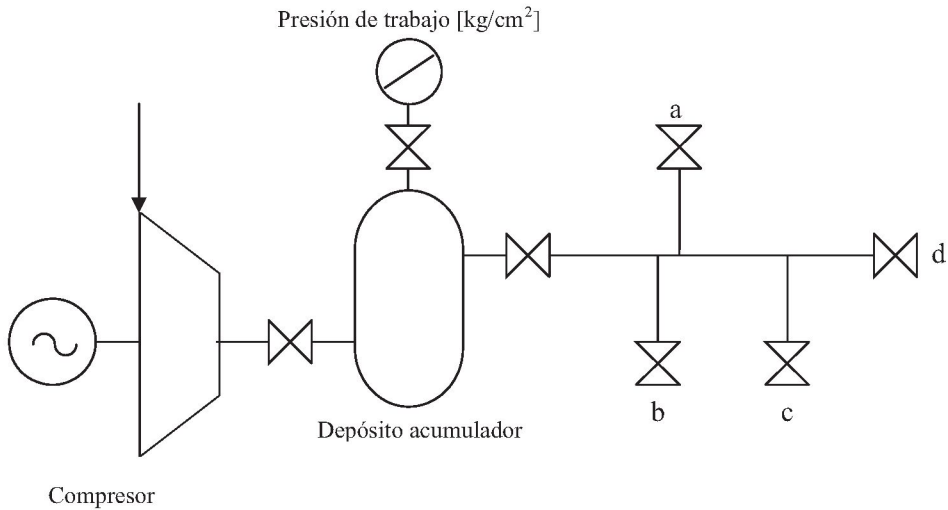
Se mide el tiempo que tarda en subir el manómetro desde la presión prefijada hasta la de servicio (t_2 minutos).

Siendo V [Nm^3/min] el caudal nominal efectivo del compresor, las pérdidas serán:

$$P = \frac{V \cdot t_2}{t_1 + t_2} \quad \left[\frac{Nm^3}{\text{min}} \right]$$

Con el fin de evitar posibles errores, se realiza la medición 3 ó 4 veces, obteniendo el valor medio de ellos.

- Método 2

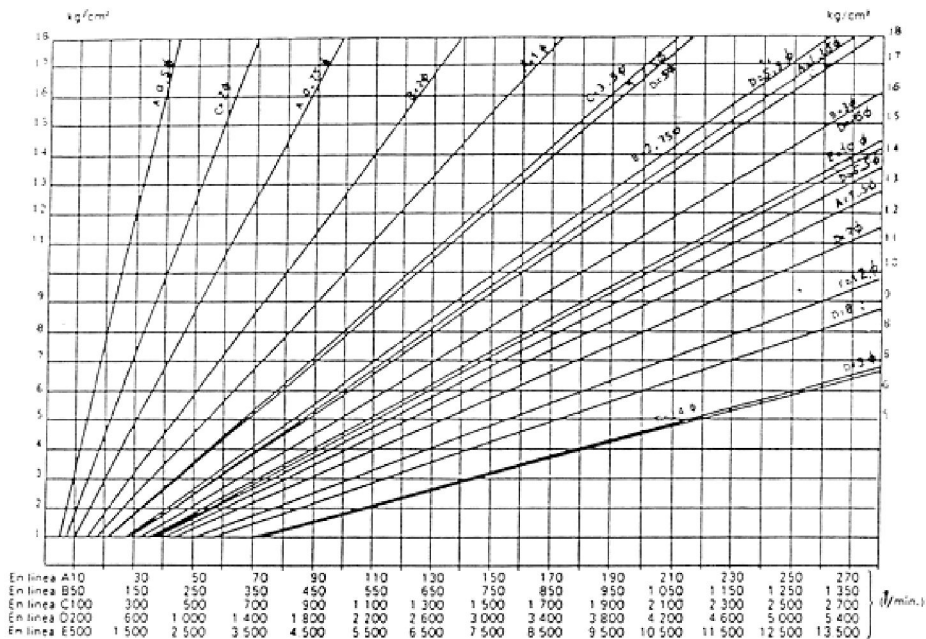


Este segundo método se aplica conociendo al volumen de la red de aire comprimido, A [Nm^3] y siguiendo el método anterior de poner la red a la presión de trabajo medir el tiempo t [min.] que transcurre hasta que el manómetro baja hasta una presión prefijada.

Las pérdidas de aire comprimido, en este caso, serán:

$$P = \frac{A (P_{trabajo} + 1) - A (P_{prefijada} + 1)}{t} \quad \left[\frac{Nm^3}{\text{min}} \right]$$

A continuación se muestra un gráfico para poder calcular el caudal de aire comprimido que sale por un orificio en l/min en función de la presión de la red de aire y del diámetro del orificio.



Caudal de salida en litros por minuto en orificios redondos a distintas presiones

3. MEDIDAS PARA LA MEJORA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN INSTALACIONES DE AIRE COMPRIMIDO

Las medidas de ahorro energético más interesantes para este tipo de instalaciones son:

- 3.1 Enfriar la toma de aire de los compresores
- 3.2 Eliminar las fugas de aire comprimido
- 3.3 Recuperar el calor de refrigeración de compresores
- 3.4 Mantener la presión mínima en la red de aire comprimido
- 3.5 Sustituir los compresores viejos por otros nuevos con mejor rendimiento
- 3.6 Evitar que los compresores trabajen en vacío

ENFRIAR LA TOMA DE AIRE DE LOS COMPRESORES

Cuanto más frío esté el aire en la aspiración de los compresores más cantidad de éste entrará al compresor ya que la densidad del aire disminuye con la temperatura. Es decir, para un mismo volumen de compresión, más cantidad de aire será comprimida, por lo tanto, aumenta el rendimiento de los compresores.

Ejemplo: Enfriar la toma de aire de los compresores.

Una empresa dispone de 3 compresores centrífugos de 250 kW cada uno, de manera que dos de ellos se encuentran funcionando continuamente a plena carga y el tercero regulando en función de la demanda. El consumo de energía eléctrica total en los compresores es de 3.750.000 kWh/año para un funcionamiento de 6.000 h/año.

En los meses de verano, el aire de aspiración de los compresores se encuentra a 35 °C, por lo que se instala un enfriador para bajar la temperatura del aire de aspiración a 15 °C. De esta manera, la densidad del aire introducido en el compresor es mayor, y el consumo eléctrico de los compresores se reduce en un 5,9 %.

Suponiendo que en los meses de verano, el funcionamiento de los compresores es de 1.500 h/año, el ahorro de energía eléctrica obtenido es el siguiente:

Consumo actual = 3.750.000 kWh/año

Consumo con enfriamiento = 3.694.687,5 kWh/año

Ahorro energético = 55.312,5 kWh/año

Que equivalen a = 14 tep/año

Para un precio de energía eléctrica de 7,9 c€/kWh, el ahorro económico es:

Ahorro económico = 4.370 €/año

ELIMINAR LAS FUGAS DE AIRE COMPRIMIDO

El hecho de que existan fugas en la red de aire comprimido implica que se está desaprovechando parte de la energía empleada en la compresión. Por eso es de gran importancia eliminar al máximo las fugas de aire para evitar perder esta energía.

Ejemplo: Eliminación de fugas de aire comprimido.

En la red de aire comprimido de una planta industrial se han detectado un total de 8 fugas, 4 de ellas de 3 mm de diámetro y las otras 4 de 5 mm de diámetro. Por esta red, circula aire a 6 kg/cm².

El caudal de aire que se pierde por cada fuga es de:

Fuga de 3 mm 575 l/min

Fuga de 5 mm 4.000 l/min

Debido a estas fugas, se está perdiendo potencia en el compresor:

Fuga de 3 mm 3,1 kW

Fuga de 5 mm 8,3 kW

Por lo tanto la pérdida de potencia total será:

$$4 \cdot 3,1 + 4 \cdot 8,3 = 45,6 \text{ kW}$$

La planta trabaja durante 4.500 horas al año, por lo que la pérdida energética debida a las fugas de aire comprimido es:

Pérdidas energéticas: 205.200 kWh/año

Se ha decidido sellar estas fugas de aire, por lo que el ahorro energético es el equivalente a la energía perdida por las fugas, es decir:

Ahorro energético: 205.200 kWh/año

Que equivalen a = **51,3 tep/año de energía primaria ***

Para un precio de energía eléctrica de 7,8 c€/kWh, el ahorro económico es:

Ahorro económico = 16.005 €/año

* Se ha considerado el factor energía primaria / energía final = 0,34

RECUPERAR EL CALOR DE REFRIGERACIÓN DE LOS COMPRESORES

La recuperación de calor de compresores constituye una operación interesante desde el punto de vista energético, a partir de un cierto tamaño de compresor.

Del 100% de la energía mecánica o eléctrica que absorbe el compresor, tan sólo un 4% queda asociada en forma de energía térmica al aire comprimido. El resto, pasa de una forma u otra al ambiente. Esta energía es aprovechable para otras utilidades como calefacción.

Ejemplo: Recuperación del calor del aire de refrigeración de los compresores.

Una planta industrial cuenta con 4 equipos de aire comprimido de 110 kW, que son refrigerados por aire, de los cuales 3 se encuentran en funcionamiento y uno en reserva. Este aire de refrigeración se toma de la sala de los compresores, se calienta y es evacuado a la atmósfera.

Se ha decidido emplear este aire caliente producto de la refrigeración de los compresores para la calefacción de la nave, reduciendo así el consumo de los climatizadores en invierno.

Teniendo en cuenta la potencia térmica de refrigeración que se puede aprovechar para el funcionamiento medio de los compresores, y considerando la utilización de este calor únicamente en los meses de invierno, se recuperaría para calefacción la siguiente cantidad de energía:

Energía para calefacción: 43.420 kWh/año

$$\text{Ahorro energético} = \frac{43.420 \text{ kWh/año}}{0,884 \cdot 0,9} = 54.575 \text{ kWh(PCS)/año}$$

Considerando que el rendimiento medio de las climatizadoras es del 88,4 %, el ahorro de gas natural que se obtiene a través de esta medida es el siguiente:

Que equivalen a = **13,8 tep/año de energía primaria ***

Si el precio del gas natural es de 2,3 c€/kWh, el ahorro económico total obtenido es de:

Ahorro económico = 1.255 €/año

* Se ha considerado el factor energía primaria / energía final = 0,34

MANTENER LA PRESIÓN MÍNIMA EN LA RED DE AIRE COMPRIMIDO

En ocasiones, la red de aire comprimido contiene el aire a una presión superior a la necesaria en proceso. Este aumento de la presión se traduce en un consumo innecesario de energía. Por ello, hay que tratar que la presión de la red de aire comprimido sea lo mas cercana posible a la de proceso.

Ejemplo: Mantener la presión mínima en la red de aire comprimido

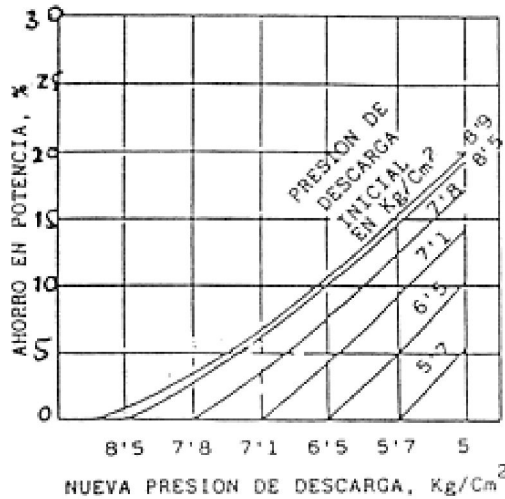
Una planta industrial posee una red de aire comprimido a 7,8 bares. Este aire abastece una instalación en la que la presión del aire requerida es de 7 bares. Por ello, al llegar al punto de utilización, el aire se lamina hasta la presión requerida.

El consumo medio anual de los compresores es de 4.000.000 kWh/año.

Se ha decidido reducir la presión de la red de aire comprimido hasta 7,1 bares de modo que, atendiendo a la figura se obtiene un ahorro del 4%, es decir:

$$\text{Ahorro Energético} = 4.000.000 \cdot \frac{4}{100} = 160.000 \text{ kWh/año}$$

Que equivalen a = 40 tep/año



Para un precio de energía eléctrica de 7,8 c€/kWh, el ahorro económico es:

$$\text{Ahorro económico} = 12.480 \text{ €/año}$$

SUSTITUCIÓN DE COMPRESORES

Ejemplo: Sustitución de compresores

Una empresa dispone de una red de aire comprimido a 4 bares que, entre otros, se emplea para el accionamiento de movimientos de máquinas y para eyección de aire en zonas en las que no puede haber deposición de partículas.

La red se compone de 7 compresores y un secador frigorífico. El aire comprimido es enviado a un colector y desde aquí, al secador frigorífico. El aire seco, se acumula en cuatro depósitos desde donde se distribuye a las diferentes utilizaciones.

El consumo eléctrico anual de estos equipos es el siguiente:

- Consumo en Compresores: 8.238.057 kWh/año
- Consumo del Secador Frigorífico: 541.760 kWh/año

CONSUMO ELÉCTRICO TOTAL ACTUAL: 8.779.817 kWh/año

Tanto los compresores de aire como el secador frigorífico de la red de aire comprimido a 4 bares, presentan un bajo rendimiento. Con objeto de mejorar la eficiencia energética de esta red de aire comprimido, se propone instalar tres nuevos compresores y un secador frigorífico.

La generación futura de aire comprimido a 4 bar(a) se haría casi exclusivamente en estos nuevos compresores, manteniéndose los compresores menos antiguos en reserva.

Además, con objeto de mejorar el rendimiento volumétrico de los compresores nuevos, se llevarían a cabo las siguientes acciones:

- Aspirar el aire fresco del exterior de la sala de compresores.
- Dotar al secador frigorífico nuevo con un nuevo intercambiador aire/aire, con objeto de enfriar el aire de descarga de los compresores antes de su entrada al secador frigorífico y calentar el aire de salida seco antes de su entrada a los cuatro pulmones reguladores de la instalación.

Para esta nueva situación, el consumo eléctrico sería el siguiente:

- Compresores de aire: 5.987.500 kWh/año
- Secador frigorífico: 321.760 kWh/año

CONSUMO ELÉCTRICO TOTAL FUTURO: 6.309.260 kWh/año

Por lo tanto, el ahorro de energía eléctrica sería el siguiente:

- Consumo Eléctrico Actual: 8.779.817 kWh/año
- Consumo Eléctrico Futuro: 6.309.260 kWh/año

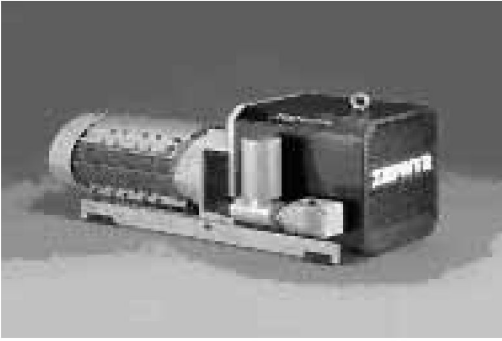
Ahorro energético: 2.470.557 kWh/año

Que equivalen a = **625 tep / año**

Para un precio de la energía eléctrica de 7,3 c€/kWh se tiene un ahorro económico de:

Ahorro económico = 180.351 €/año

EVITAR QUE LOS COMPRESORES TRABAJEN EN VACÍO



Compresor de aire

El trabajo de los compresores en vacío, suponen unos consumos de energía innecesarios evaluables entre un 20 y un 25 %, según la potencia de los equipos. Por otra parte, el trabajar en vacío supone un mayor consumo de energía reactiva, con la consiguiente incidencia en el costo del kWh a través de las penalizaciones en la facturación o en las inversiones necesarias en baterías de condensadores.

Por lo tanto, cabe la posibilidad de analizar una posible desconexión de estos equipos cuando trabajen en vacío, en función del número de arranques y paradas que tendría que soportar el motor.

Ejemplo: Evitar que los compresores trabajen en vacío

Una planta industrial dispone de cuatro compresores de aire de 250 kW de potencia cada uno. Estos compresores tienen el siguiente régimen de trabajo:

- A plena carga: 7.500 h/año
- En vacío (20% de carga): 1.760 h/año

De modo que el consumo eléctrico en las horas en las que los compresores trabajan en vacío es:

$$\text{Consumo E.E.} = 4 \text{ comp} \cdot 250 \frac{\text{kW}}{\text{comp}} \cdot \frac{20}{100} \cdot 1.760 \frac{\text{h}}{\text{año}} = 352.000 \text{ kWh/año}$$

Por lo tanto, el ahorro energético debido a la desconexión de los compresores trabajando en vacío es el equivalente al consumo de los mismos durante esas horas:

Ahorro energético = 352.000 kWh/año

Que equivalen a = **88 tep/año**

Para un precio de la energía eléctrica de 8 c€/kWh el ahorro económico será:

Ahorro económico = 28.160 €/año



ILUMINACIÓN

ÍNDICE

ILUMINACIÓN

1.- INTRODUCCIÓN.....	57
2.- LÁMPARAS	57
3.- LUMINARIAS.....	60
4.- MANTENIMIENTO	61
5.- MEDIDAS PARA LA MEJORA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LOS SISTEMAS DE ILUMINACIÓN	61
5.1.- Nuevas instalaciones	61
5.2.- Instalaciones existentes	62

1. INTRODUCCIÓN

La iluminación es, en general, un campo poco conocido pero que tiene gran importancia a nivel de consumo energético.

Existen dos fuentes básicas de producción de luz:

- Termorradiación
- Luminiscencia

La **termorradiación** depende exclusivamente de la temperatura del cuerpo emisor. La parte de la radiación emitida dentro del espectro visible es conocida como radiación por incandescencia.

La **luminiscencia** es la radiación luminosa que emiten los átomos al pasar de un estado excitado al estado fundamental. Dependiendo de la forma de excitación de los átomos se puede hablar de electroluminiscencia o de fotoluminiscencia.

2. LÁMPARAS

Las lámparas son los dispositivos encargados de generar la radiación luminosa. Existen dos tipos de lámparas:

- Lámparas de termorradiación

Se hace pasar una corriente eléctrica a través de un filamento que al calentarse emite radiación visible. Las principales características de este tipo de lámparas son:

- Factor de potencia unidad.
- Rendimiento luminoso bajo.
- Rendimiento de color excelente.
- Instalación sencilla y económica, no se requieren equipos auxiliares.
- Encendido y reencendido instantáneos.

- Ausencia de efecto estroboscópico.
- Aportación de calor considerable; este aspecto debe tenerse en cuenta en instalaciones que requieren gran número de puntos de luz.

Las lámparas de termorradiación se clasifican a su vez en:

- o Lámparas incandescentes. Poseen un filamento de wolframio. La vida de las lámparas está determinada por la duración del filamento.
- o Lámparas halógenas. Son lámparas halógenas a las que se le añade un aditivo halogenado que ayuda a prolongar la vida de la lámpara.



Lámparas incandescentes



Lámparas halógenas

- Lámparas de descarga

Están formadas por un tubo de descarga en cuyo interior se encuentra un gas fácilmente ionizable y una cierta cantidad de vapor metálico. Los electrones libres, al ser sometido el tubo a una diferencia de potencial, se desplazan y chocan contra los átomos del gas. Estos átomos quedan excitados y al volver a su estado fundamental emiten energía en forma de radiación visible. Las principales características de estas lámparas son:

- La emisión luminosa de este tipo de lámparas no es continua en todo el espectro visible, sino que se realiza mediante radiaciones de longitudes de onda concretas, que dependen del tipo de vapor metálico utilizado y de la presión del gas de llenado del tubo de descarga.
- Estas lámparas necesitan un sistema de arranque para iniciar la descarga a través del gas.

- Requieren un tiempo de encendido, hasta alcanzar las condiciones nominales de funcionamiento.
- También necesitan balastos para estabilizar la descarga; habitualmente se utilizan reactancias inductivas.
- Presentan un factor de potencia inferior a la unidad. Este factor debe ser corregido mediante condensadores. Las lámparas que lo tienen corregido se denominan de Alto Factor.
- Deben funcionar en determinadas posiciones, especificadas en los catálogos de los fabricantes.

Las lámparas de descarga se clasifican a su vez en:

- o Lámparas de vapor de sodio. Las hay de baja y alta presión. Las de baja presión emiten una radiación visible casi monocromática. La longitud de onda de la emisión de estas lámparas está muy próxima a la de mayor sensibilidad del ojo, por lo que el rendimiento de estas lámparas es el mayor que existe. En las de alta presión, se aumenta la presión del gas dentro del tubo de descarga y de esta forma se obtiene un aumento del rendimiento del color.



Lámpara de vapor de sodio

- o Lámparas de vapor de mercurio. Una gran parte de la emisión de estas lámparas se produce en la región del ultravioleta. La emisión en esta zona disminuye a medida que aumenta la presión en los tubos.
- o Lámparas fluorescentes. Son lámparas de vapor de mercurio a baja presión. La radiación del mercurio a baja presión se da totalmente en la zona del ultravioleta. El tubo de descarga se recubre interiormente con elementos fluorescentes que transforman la radiación ultravioleta en visible.



Lámparas fluorescentes

o Lámparas de inducción. Es una lámpara de mercurio a baja presión pero carece de electrodos. Tiene una bobina inductora que, alimentada por un generador electrónico de alta frecuencia (2,65 Mhz), induce un campo eléctrico para excitar a los átomos de mercurio, produciéndose así la emisión ultravioleta. La lámpara se recubre con material fluorescente para producir luz visible.

3. LUMINARIAS

Las luminarias son los elementos que distribuyen, filtran o transforman la luz emitida por las lámparas. Las luminarias contienen todos los accesorios necesarios para la sujeción de la lámpara así como para protegerla y conectarla al circuito eléctrico. Se clasifican según diferentes criterios:

- Atendiendo a la distribución del flujo luminoso.

Esta clasificación hace referencia al porcentaje del flujo de luz que se emite por debajo del plano horizontal que contiene el eje de la fuente de luz.

- | | |
|---------------------|----------|
| - Directa | 90-100 % |
| - Semi-directa | 60-90 % |
| - General difusa | 40-60 % |
| - General indirecta | 40-60 % |
| - Semi-indirecta | 10-40 % |
| - Indirecta | 0-10 % |

- Atendiendo al ángulo de apertura del haz

El ángulo de apertura es el ángulo (medido desde la vertical de la luminaria) bajo el que se emite el 50% del flujo saliente de la luminaria.

- Intensiva 0-30 °
- Semi-intensiva 30-40 °
- Dispersa 40-50 °
- Semi-extensiva 50-60 °
- Extensiva 60-70 °
- Hiperextensiva 70-90 °

4. MANTENIMIENTO

El mantenimiento del sistema de iluminación es de gran importancia para el buen funcionamiento de éste. Si las lámparas y las luminarias están sucias disminuye la emisión de luz y aumenta la temperatura de las lámparas lo que repercute de manera negativa en el rendimiento luminoso así como en la vida de las mismas.

5. MEDIDAS PARA LA MEJORA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LOS SISTEMAS DE ILUMINACIÓN

Las medidas a tomar para que la eficiencia energética sea óptima en el alumbrado dependerán de si la instalación es nueva o si ya está en funcionamiento.

5.1 Instalaciones nuevas

- o Elegir el tipo de lámparas adecuado para cada aplicación.
- o Fijar el nivel de iluminación adecuado a la actividad.
- o Selección de las luminarias más adecuadas.
- o En los paramentos interiores utilizar colores claros y materiales con factor de reflexión alto.

5.2 Instalaciones existentes

- o Sustituir las luminarias.
- o Ajustar los niveles de iluminación.
- o Sustituir lámparas de bajo rendimiento luminoso por otras de mayor eficiencia.
- o Emplear un número de interruptores adecuados.

INSTALACIONES NUEVAS

Cuando la instalación de alumbrado sea nueva, las medidas a tomar para que la eficiencia energética del sistema de alumbrado sea óptima serán las siguientes:

A. Elegir el tipo de lámparas adecuado para cada aplicación

Como norma general debe tenerse en cuenta que habitualmente un rendimiento de color alto implica un rendimiento luminoso más bajo, por lo que, como primera medida, debe fijarse la "calidad" del alumbrado.

B. Fijar el nivel de iluminación adecuado a la actividad

En alumbrado de interiores las lámparas fluorescentes pueden cubrir casi todas las necesidades, obteniendo unos índices de aprovechamiento energético muy altos.

En este tipo de lámparas se seleccionarán siempre las de 26 mm de diámetro y si el número de horas de funcionamiento lo justifica, las de reactancias de alta frecuencia.

Debe tenerse en cuenta que las lámparas compactas han sido diseñadas para sustituir al alumbrado incandescente, en instalaciones nuevas su costo es más caro y obtienen, en general, un aprovechamiento energético menor.

C. Seleccionar las luminarias más adecuadas

Para la selección de las luminarias más adecuadas al tipo de lámparas y a los lugares donde se vayan a instalar, se tienen en cuenta factores como:

- Suciedad del lugar.
- Temperaturas del mismo.
- Altura de la instalación.
- Necesidades de controlar el deslumbramiento.
- Etc.

D. En los paramentos interiores utilizar colores claros y materiales con factor de reflexión alto

INSTALACIONES EXISTENTES

A. Sustituir las luminarias

Sobre todo aquellas que tengan la óptica muy deteriorada o aquellas que no se adapten convenientemente a las características de los locales.

B. Ajustar los niveles de iluminación

Ejemplo: Ajustar la potencia de iluminación a la adecuada

Un local destinado a actividades de oficina está equipado con un sistema de iluminación compuesto por 500 lámparas fluorescentes de 40 W cada una. Este sistema funciona una media de 3.500 horas al año.

El consumo de energía eléctrica es de:

$$500 \text{ lámpara} \cdot 0,040 \frac{\text{kW}}{\text{lámpara}} \cdot 3.500 \frac{\text{h}}{\text{año}} = 70.000 \text{ kWh/año}$$

Debido a un cambio en la gestión de la empresa, este local va a ser utilizado en adelante para la práctica de otra actividad que, según un estudio realizado, requiere un menor nivel de iluminación. Dicho estudio establece que con una tercera parte de las lámparas sería suficiente para alcanzar el nivel de iluminación requerido para la nueva actividad. Está previsto que esta actividad se lleve a cabo durante 4.800 horas al año.

El consumo eléctrico una vez adoptada la medida de reducir el número de lámparas es de:

$$\frac{1}{3} \cdot 500 \text{ lámpara} \cdot 0,040 \frac{\text{kW}}{\text{lámpara}} \cdot 4.800 \frac{\text{h}}{\text{año}} = 32.000 \text{ kWh/año}$$

De modo que el ahorro de energía eléctrica obtenido a través de esta medida es de:

$$\text{Ahorro energético} = 70.000 - 32.000 = 38.000 \text{ kWh/año}$$

$$\text{Que equivalen a} = 9,5 \text{ tep/año}$$

Para un precio de la energía eléctrica de 7,8 c€/kWh, se tendrá un ahorro económico:

$$\text{Ahorro económico} = 2.964 \text{ €/año}$$

C. Sustituir las lámparas de bajo rendimiento luminoso, por otras de mayor eficiencia.

Antes de proceder a esta sustitución debe considerarse el régimen de funcionamiento de las mismas, número de horas, encendidos y apagados, etc., para poder evaluar el periodo de amortización de esta sustitución.

Ejemplo: Sustitución de lámparas por otras de mayor eficiencia

En un taller se utiliza un sistema de iluminación compuesto por 300 lámparas de incandescencia de 450 W unitarios. La empresa desarrolla su labor de taller durante 2.000 horas al año, por lo que tiene un consumo eléctrico de:

$$300 \text{ lamp} \cdot 0,45 \frac{\text{kW}}{\text{lamp}} \cdot 2.000 \frac{\text{h}}{\text{año}} = 270.000 \text{ kWh/año}$$

Tras un estudio se ha determinado que, para el tipo de trabajo desarrollado en el taller, sería más adecuado el uso de lámparas fluorescentes, ya que ofrecen un nivel de iluminación mejor. Se procede a la sustitución de las lámparas de descarga por lámparas fluorescentes de 3 tubos con una potencia de 40 W por tubo, manteniendo intactos los puntos de luz. En esta nueva situación se tendrá un consumo eléctrico de:

$$300 \text{ pto de luz} \cdot 3 \frac{\text{tubo}}{\text{pto de luz}} \cdot 0,04 \frac{\text{kW}}{\text{tubo}} \cdot 2.000 \frac{\text{h}}{\text{año}} = 72.000 \text{ kWh/año}$$

El ahorro energético obtiene por la sustitución de las lámparas es de:

$$\text{Ahorro energético} = 270.000 - 72.000 = 198.000 \text{ kWh/año}$$

$$\text{Que equivalen a} = 49,5 \text{ tep/año}$$

Para un precio de la energía eléctrica de 7,8 c€/kWh, se tendrá un ahorro económico:

$$\text{Ahorro económico} = 15.444 \text{ €/año}$$

D. Emplear un número de interruptores adecuado

El hecho de tener un número de interruptores adecuado evita el consumo innecesario de energía eléctrica ya que puede darse el caso de que se esté iluminada toda una estancia y que realmente sólo sea necesaria la iluminación en una parte de la misma.

Ejemplo: Instalación de un número adecuado de interruptores

Una nave industrial alberga tres líneas de proceso destinadas a la fabricación de un mismo producto. Las dos primeras trabajan un único turno de 8 horas día-

rias durante 320 días al año, mientras que la tercera trabaja dos turnos de 8 horas durante los mismos días. Esta última línea ocupa un 25 % de la superficie total de la planta.

El sistema de iluminación de la nave está compuesto por 500 tubos fluorescentes de 40 W cada uno y se accionan mediante un único interruptor.

En esta situación se tiene que en el segundo turno todas las lámparas están encendidas aun cuando únicamente se está trabajando en un 25 % de la superficie de la nave.

El consumo de energía eléctrica debida a la iluminación en la situación actual es de:

$$500 \text{ tubo} \cdot 0,040 \frac{\text{kW}}{\text{tubo}} \cdot 8 \frac{\text{h}}{\text{día}} \cdot 320 \frac{\text{día}}{\text{año}} = 51.200 \text{ kWh/año}$$

Se procede a la instalación de varios interruptores, de modo que todas las lámparas de cada línea de trabajo se activan mediante interruptores independientes. Tras esta medida, el ahorro eléctrico es:

$$500 \text{ tubo} \cdot 0,040 \frac{\text{kW}}{\text{tubo}} \cdot 8 \frac{\text{h}}{\text{día}} \cdot 320 \frac{\text{día}}{\text{año}} \cdot \frac{25}{100} = 12.800 \text{ kWh/año}$$

Que equivalen a = **9,7 tep/año**

Para un precio de la energía eléctrica de 7,8 c€/kWh, se tendrá un ahorro económico:

Ahorro económico = 2.995 €/año



**INSTALACIONES ELÉCTRICAS Y
REGULACIÓN DE VELOCIDAD DE
MOTORES ELÉCTRICOS**

INDICE

INSTALACIONES ELÉCTRICAS Y REGULACIÓN DE VELOCIDAD DE MOTORES ELÉCTRICOS

1.- INTRODUCCIÓN.....	69
2.- EL TRANSFORMADOR	72
3.- MEDIDAS PARA LA MEJORA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN TRANSFORMADORES	73
3.1.- Sustitución de transformadores antiguos.....	74
3.2.- Desconexión de los transformadores que trabajen en vacío	74
3.3.- Acoplar correctamente los transformadores en paralelo	76
4.- EL MOTOR ELÉCTRICO.....	80
4.1.- Rendimiento del motor	80
4.2.- Clasificación de los motores eléctricos	81
4.3.- El motor asíncrono	82
4.4.- El motor síncrono.....	84
5.- REGULACIÓN DE LA VELOCIDAD DE LOS MOTORES ELÉCTRICOS	86
6.- MEDIDAS PARA LA MEJORA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN MOTORES ELÉCTRICOS	87
6.1.- utilización de motores de alto rendimiento	87
6.2.- Utilización de motores síncronos en vez de asíncronos.....	88
6.3.- Adecuación de los motores a la potencia necesaria	88
6.4.- Alimentación del motor que arrastra una bomba con caudal variable mediante variadores de frecuencia	89
6.5.- Alimentar los ventiladores con un variador de velocidad.....	90
6.6.- Emplear motores de dos velocidades para variar el caudal de una bomba o ventilador cuando hay dos regímenes de carga	92

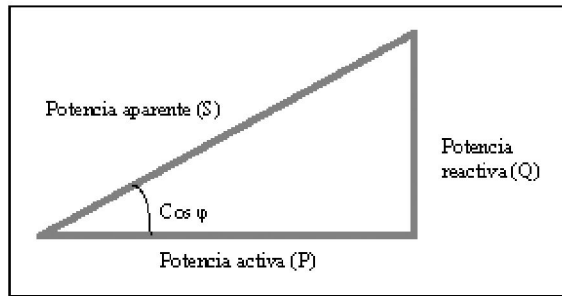
1. INTRODUCCIÓN

Cuando un receptor eléctrico se ve sometido a una tensión sinusoidal de valor eficaz V , se origina una corriente de valor eficaz I , también sinusoidal, retrasada en el tiempo un ángulo φ .

La potencia total que absorbe el receptor se conoce como potencia aparente y se expresa como:

$$S = V \cdot I$$

La potencia aparente se descompone, a su vez, en dos elementos:



Potencia aparente

De la figura se deduce que:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

• Potencia activa, P

Es la potencia que absorbe el receptor y que se transforma en trabajo útil. Viene expresado por:

$$P = V \cdot I \cdot \cos \varphi$$

·Potencia reactiva, Q

Esta potencia no aporta trabajo alguno pero es necesaria para que el receptor genere los campos electromagnéticos que necesita para su funcionamiento. Se representa por la expresión:

$$Q = V \cdot I \cdot \text{sen}\varphi$$

La potencia reactiva presenta varios inconvenientes, como:

- Sobrecargas, pérdidas y caídas de tensión en las líneas.
- Incidencia en la factura de energía eléctrica.

Puede verse que es conveniente que la potencia reactiva sea lo más pequeña posible. Esto se consigue haciendo que el $\cos\varphi$, conocido como factor de potencia sea lo más cercano posible a la unidad. Esta operación se conoce como compensación de la energía reactiva y se lleva a cabo mediante baterías de condensadores.

Las vigentes tarifas españolas aplican un factor corrector al coste del término de potencia más el término de energía de:

- Bonificador, para $\cos\varphi > 0,95$
- Penalizador, para $\cos\varphi < 0,90$

Este factor corrector viene dado por la expresión:

$$\text{❖ } K_r(\%) = \frac{37,026}{\cos^2\varphi} - 41,026; \quad \text{para } 1 \geq \cos\varphi \geq 0,95$$

$$\text{❖ } K_r(\%) = 0; \quad \text{para } 0,95 \geq \cos\varphi \geq 0,90$$

$$\text{❖ } K_r(\%) = \frac{29,16}{\cos^2\varphi} - 36; \quad \text{para } \cos\varphi < 0,90$$

Los valores negativos de K_r indican una bonificación que como máximo será del 4% (para valores de $\cos\varphi = 1$). Los valores positivos indican una penalización que será como máximo del 50,7% (para valores de $\cos\varphi = 0,33$).

Ejemplo: Reducción de factura eléctrica por mejora del factor de potencia

Una fábrica que consume 440.000 kWh/mes tiene un contrato de suministro eléctrico a tarifa, en la modalidad de discriminación horaria tipo 3 y tarifa 2.1, con una potencia contratada de 950 kW en los tres periodos.

Tarifa 2.1:

Término de energía 6,737 cent €/kWh

Término de Potencia 4,538341 €/kW/mes

El factor de potencia actual es de 0,93 todos los meses, por lo que no se aplica bonificación alguna por energía reactiva.

Se ha corregido el factor de potencia, consiguiendo el valor máximo de 1 todos los meses, con lo que se ha obtenido una bonificación en el término de complemento por energía reactiva, reduciendo la factura eléctrica.

La factura eléctrica actual y la factura con el factor de potencia mejorado es la siguiente:

Término	Unidades	FACTURA ACTUAL	FACTURA FUTURA
Energía consumida	kWh	440.000	440.000
Término de Energía	€	29.643	29.643
Potencia facturada	kWh	980	980
Término de Potencia	€	4.448	4.448
Discriminación Horaria	kWh	110	110
Discriminación Horaria	€	- 7	- 7
Factor de Potencia	-	0,93	1
Complemento E. Reactiva	%	0 %	- 4 %
Complemento E. Reactiva	€	0	- 1.364
Alquiler equipos medida	€	64	64
Impuesto Electricidad	€	1.743	1.673
TOTAL FACTURA ACTUAL	€	35.891	34.457

Por lo tanto, el ahorro obtenido es de 1.434 €/mes, lo que supone un ahorro total de:

Ahorro económico = 17.208 €/año.

2. EL TRANSFORMADOR



Transformador

El transformador es una máquina eléctrica que convierte, en general, una tensión de entrada (primaria) en otra tensión diferente de salida (secundaria), aplicando las leyes de la inducción magnética.

En los transformadores, las pérdidas suponen un porcentaje muy bajo de la energía que transforman, pero aún así, deben de tenerse en cuenta. Se tienen dos tipos de pérdidas:

- Pérdidas en el hierro

Estas pérdidas se producen en cuanto se realiza la conexión y son prácticamente las mismas, tanto si el transformador está en vacío como si está alimentando una carga, cualquiera que sea ésta.

- Pérdidas en el cobre

Al suministrar carga, se producen en los bobinados pérdidas por efecto Joule ($I^2 \cdot R$), que se miden separadamente de las pérdidas en el hierro en un ensayo de cortocircuito, ya que de esta manera, se anula el flujo magnético en gran parte del núcleo metálico y, por ello, las pérdidas en el hierro resultan despreciables frente a las de cobre.

POTENCIA NOMINAL [kVA]	PERDIDAS EN EL HIERRO [W]	PERDIDAS EN EL COBRE (CORRIENTE NOMINAL) [W]	TENSION DE CORTOCIRCUITO Z [%]
25	195	670	4,5
50	345	810	4,5
75	400	1.080	4,5
100	435	1.850	4,5
125	480	2.350	4,5
160	490	2.600	6,0
200	570	3.400	6,0
250	675	4.230	6,0
315	750	5.250	6,0
400	900	6.200	6,0
500	1.000	8.050	6,0
630	1.250	9.000	6,0
800	1.690	10.800	6,0
1.000	1.800	12.600	6,0
1.250	2.010	16.800	6,0
1.600	2.500	19.000	6,0
2.000	2.750	23.900	7,0
2.500	3.480	29.600	7,0
3.150	3.500	30.500	7,15
4.000	4.300	34.000	7,15
5.000	5.000	39.500	7,15
6.300	6.300	45.000	7,15
8.000	7.000	57.000	8,35
10.000	7.600	68.500	8,35

Las pérdidas que se producen en el transformador se disipan en forma de calor a través de la refrigeración. De esta forma se consigue que la temperatura de los elementos del transformador sea la adecuada para su correcto funcionamiento. La refrigeración del transformador se realiza de tres maneras diferentes:

- Aceite-aire
- Impulsión de aire
- Impulsión de aire y aceite

Como en cualquier máquina eléctrica el rendimiento de un transformador se define como:

$$\eta = \frac{\text{Potencia útil}}{\text{Potencia útil} + \text{Potencia de pérdidas}}$$

- Potencia útil: Potencia entregada a la carga = $\sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi$
- Potencia de pérdidas: Pérdidas en el cobre + Pérdidas en el hierro
- U: Tensión entre líneas
- I: Corriente de línea que recorre el transformador
- $\cos \varphi$: Factor de potencia de la carga

3. MEDIDAS PARA LA MEJORA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN TRANSFORMADORES

Las principales medidas a tomar para aumentar la eficiencia energética en el uso de transformadores son las siguientes:

- 3.1 Sustituir los transformadores antiguos por otros nuevos
- 3.2 Desconectar los transformadores que estén en vacío
- 3.3 Acoplar correctamente los transformadores en paralelo

SUSTITUCIÓN DE TRANSFORMADORES ANTIGUOS

Ejemplo: Sustitución del transformador actual por uno nuevo

Una empresa que consume 3.750.000 kWh/año de energía eléctrica posee un transformador de 1.600 kVA, en el que las pérdidas medidas por diferencia entre el consumo eléctrico facturado por la compañía eléctrica y la energía eléctrica medida en el secundario del transformador, suponen el 4% de la energía eléctrica consumida.

Se ha decidido sustituir el viejo transformador por uno nuevo en el que las pérdidas en el transformador sean del 1,5%.

Por lo tanto, el ahorro energético obtenido mediante la sustitución del transformador es:

Situación Actual:

Energía Eléctrica Demandada: 3.750.000 kWh/año

Pérdidas Transformador 4% · 3.750.000 = 150.000 kWh/año

Demanda Neta del Proceso Productivo: 3.600.000 kWh/año

Situación Futura:

Energía Eléctrica Demandada: 3.655.000 kWh/año

Pérdidas Transformador 1,5% · 3.655.000 = 55.000 kWh/año

Demanda Neta del Proceso Productivo: 3.600.000 kWh/año

Ahorro energético = 150.000-55.000 = 95.000 kWh/año

Que equivalen a = **24 tep/año**

Para un precio de la energía eléctrica de 8 c€/kWh el ahorro económico es:

Ahorro económico = 7.600 €/año

DESCONEXIÓN DE LOS TRANSFORMADORES QUE TRABAJEN EN VACÍO

Ejemplo: Desconexión de transformador en vacío

Una planta industrial posee un transformador con las siguientes características:

- Potencia nominal: 8.000 kVA

- Pérdidas en el hierro: 7,0 kW

- Pérdidas en el cobre (al 100% de carga): 57 kW

Este transformador trabaja al 90% de carga durante 5.000 horas al año y el resto de las horas, únicamente suministra la energía necesaria para los sistemas auxiliares, que asciende a 140 kW (1,75% de carga).

En esta situación, las pérdidas de energía que se dan en el transformador son:

- P. Hierro = $7 \cdot (5.000 + 3760) = 61.320$ kWh/año
- P. Cobre = $57 \cdot \left(\frac{90}{100}\right)^2 \cdot 5.000 + 57 \cdot \left(\frac{1,75}{100}\right)^2 \cdot 3.760 = 230.916$ kWh/año
- P. Totales = 292.236 kWh/año

Se ha decidido desconectar el transformador cuando la planta no esté en funcionamiento y los servicios auxiliares se alimentarán desde un nuevo transformador que tiene las siguientes características:

- Potencia nominal: 160 kVA
- Pérdidas en el hierro: 0,49 kW
- Pérdidas en el cobre (al 100% de carga): 2,6 kW

$$\frac{140}{160} \cdot 100 = 87,5\% \text{ de carga.}$$

Funcionando de esta nueva manera se tendrán las siguientes pérdidas de energía en los transformadores:

- P. Hierro = $7 \cdot 5.000 + 0,49 \cdot 3.760 = 36.842$ kWh/año
- P. Cobre = $57 \cdot \left(\frac{90}{100}\right)^2 \cdot 5.000 + 2,6 \cdot \left(\frac{87,5}{100}\right)^2 \cdot 3.760 = 238.334$ kWh/año
- P. Totales = 275.176 kWh/año

Por lo tanto, el ahorro energético obtenido mediante esta medida es de:

Ahorro energético = $292.236 - 275.176 = 17.060$ kWh/año

Que equivalen a = **4,3 tep/año**

Para un precio de la energía eléctrica de 8 c€/kWh el ahorro económico es:

Ahorro económico = 1.365 €/año

ACOPLAR CORRECTAMENTE LOS TRANSFORMADORES EN PARALELO

Al conectar a la red los primarios de dos transformadores y a continuación sus secundarios en paralelo pueden producirse circulaciones internas de corriente entre los dos transformadores y desequilibrios en el reparto de las cargas entre ambos.

Estas circulaciones internas de corriente provocan consumos de energía evitables y dan lugar a calentamientos y envejecimiento prematuro de los componentes de los transformadores. Las causas más importantes de esta situación son:

- Desigualdad de impedancias de cortocircuito.
- Desigualdad de relaciones de transformación.

Estos desequilibrios se pueden corregir instalando un autotransformador.

Ejemplo: Conexión en paralelo de transformadores

Una planta industrial utiliza dos transformadores conectados en paralelo con las siguientes características:

Transformador 1 (T_1)

- *Potencia nominal (S_1): 8.000 kVA*
- *Tensión de cortocircuito (Z_1): 8,5 %*
- *Pérdidas en el cobre (al 100% de carga): 57 kW*

Transformador 2 (T_2)

- *Potencia nominal (S_2): 4.000 kVA*
- *Tensión de cortocircuito (Z_2): 5,3 %*
- *Pérdidas en el cobre (al 100% de carga): 34 kW*

Estos transformadores trabajan durante 5.200 horas al año con un índice de carga de 115%, de modo que la potencia de funcionamiento será:

$$S_T = 1,15 \cdot (8.000 + 4.000) = 13.800 \text{ kVA}$$

Esta potencia se reparte en los transformadores de la siguiente manera:

$$T_1: \frac{S_1 \cdot Z_2}{S_1 \cdot Z_2 + S_2 \cdot Z_1} \cdot S_T = \frac{8.000 \cdot 5,3}{8.000 \cdot 5,3 + 4.000 \cdot 8,5} \cdot 13.800 = 7.659 \text{ kVA}$$

$$T_2: \frac{S_2 \cdot Z_1}{S_1 \cdot Z_2 + S_2 \cdot Z_1} \cdot S_T = \frac{4.000 \cdot 8,5}{8.000 \cdot 5,3 + 4.000 \cdot 8,5} \cdot 13.800 = 6.141 \text{ kVA}$$

Se observa que existe un reparto muy desequilibrado de las potencias ya que mientras T_1 trabaja al 95,7 %, T_2 lo hace alrededor del 153,55 de su potencia.

En estas circunstancias se tendrán unas pérdidas en el cobre de:

$$T_1: 57 \cdot \left(\frac{95,7}{100}\right)^2 \cdot 5.200 = 271.457 \text{ kWh/año}$$

$$T_2: 34 \cdot \left(\frac{153,55}{100}\right)^2 \cdot 5.200 = 416.852 \text{ kWh/año}$$

$$\text{Total} = 688.309 \text{ kWh/año}$$

Para realizar el equilibrado de las cargas se ha decidido instalar un autotransformador. En esta nueva situación, el reparto de potencia será:

$$T_1: \frac{8.000}{8.000 + 4.000} \cdot 13.800 = 9.200 \text{ kVA}$$

$$T_2: \frac{4.000}{8.000 + 4.000} \cdot 13.800 = 4.600 \text{ kVA}$$

Es decir, los dos transformadores trabajarán al 115% de su potencia.

La potencia necesaria para el autotransformador será:

$$\frac{Z_1 - Z_2}{100} \cdot \frac{S_1 \cdot S_2}{S_1 + S_2} = \frac{8,5 - 5,3}{100} \cdot \frac{8.000 \cdot 4.000}{8.000 + 4.000} = 85,3 \text{ kVA}$$

Se ha optado por elegir un autotransformador de 125 kVA con las siguientes características:

- Pérdidas en el hierro: 0,48 kW
- Pérdidas en el cobre (al 100% de carga): 2,35 kW

$$\frac{85,3}{125} \cdot 100 = 68,24 \% \text{ de carga.}$$

Las nuevas pérdidas de energía en los transformadores serán:

$$T_1: 57 \cdot \left(\frac{115}{100}\right)^2 \cdot 5.200 = 391.989 \text{ kWh/año}$$

$$T_2: 34 \cdot \left(\frac{115}{100}\right)^2 \cdot 5.200 = 233.818 \text{ kWh/año}$$

Y en el autotransformador:

- P. Hierro = $0,48 \cdot 5.200 = 2.496$ kWh/año
- P. Cobre = $2,35 \cdot \left(\frac{68,24}{100}\right)^2 \cdot 5.200 = 5.690$ kWh/año

De modo que las pérdidas totales suman: 633.993 kWh/año

Por tanto, el ahorro energético será:

Ahorro energético = 688.309-633.993 = 54.376 kWh/año

Que equivalen a = **13,6 tep/año**

Para un precio de la energía eléctrica de 8 c€/kWh el ahorro económico es:

Ahorro económico = 4.350 €/año

Ejemplo: Corrección de la relación de transformación

Una planta industrial tiene dos transformadores trabajando en paralelo durante 5.200 horas al año y alimentando a la planta con un factor de potencia $\cos\varphi = 0,8$. Los transformadores tienen las siguientes características:

Transformador 1 (T_1)

- Potencia nominal (S_1): 6.300 kVA
- Relación de transformación (a_1): 34,21
- Tensión de cortocircuito (Z_1): 7,15 %
- Pérdidas en el cobre (al 100% de carga): 45 kW

Transformador 2 (T_2)

- Potencia nominal (S_2): 3.150 kVA
- Relación de transformación (a_2): 36,48
- Tensión de cortocircuito (Z_2): 7,15 %
- Pérdidas en el cobre (al 100% de carga): 30,5 kW

El porcentaje de desequilibrio entre los dos transformadores es:

$$e = \frac{36,48 - 34,21}{36,48} \cdot 100 = 6,22 \%$$

Este desequilibrio en la igualdad de la relación de transformación provocará la aparición de corrientes de circulación por el interior de los transformadores y por las barras que los unen. Estas corrientes, en tanto por uno de sus corrientes nominales serán:

$$I_{T1}: \frac{S_1 \cdot e}{S_1 \cdot Z_2 + S_2 \cdot Z_1} = \frac{6.300 \cdot 6,22}{6.300 \cdot 7,15 + 3.150 \cdot 7,15} = 0,58$$

$$I_{T2}: \frac{S_1 \cdot e}{S_1 \cdot Z_2 + S_2 \cdot Z_1} = \frac{3.150 \cdot 6,22}{6.300 \cdot 7,15 + 3.150 \cdot 7,15} = 0,29$$

Esta corriente de circulación es esencialmente reactiva. Si se suma a la corriente de carga y para $\cos\varphi = 0,8$ ($\text{sen}\varphi = 0,6$), provocan las siguientes pérdidas:

$$30,5 \cdot (2 \cdot 0,58 \cdot 0,6 + 0,58^2) + 45 \cdot (2 \cdot 0,29 \cdot 0,6 + 0,29^2) = 2 \text{ kW}$$

Por lo tanto, las pérdidas de energía debidas a la desigualdad entre las relaciones de transformación son:

$$12 \text{ kW} \cdot 5.200 \frac{h}{\text{año}} = 62.400 \text{ kWh/año}$$

Para corregir el efecto provocado por la desigualdad en la relación de transformación, se conecta un autotransformador cuya potencia es:

$$\frac{e}{100} \cdot \frac{S_1 \cdot S_2}{S_1 + S_2} = \frac{6,22}{100} \cdot \frac{6.300 \cdot 3.150}{6.300 + 3.150} = 130,62 \text{ kVA}$$

Se ha optado por una autotransformador de 160 kVA con las siguientes características:

- Pérdidas en el hierro: 0,49 kW
- Pérdidas en el cobre (al 100% de carga): 2,6 kW

Este autotransformador, trabajará con un índice de carga de $\frac{130,62}{160} \cdot 100 = 81,64 \%$

Una vez tomada esta medida, las corrientes de circulación que se creaban por la desigualdad de las relaciones de transformación desaparecen y con ellas, las pérdidas que provocaban. De modo que, al instalar el autotransformador únicamente habrá que tener en cuenta sus pérdidas:

- P. Hierro = $0,49 \cdot 5.200 = 2.548$ kWh/año
- P. Cobre = $2,6 \cdot \left(\frac{81,64}{100}\right)^2 \cdot 5.200 = 9.011$ kWh/año

Total = 11.559 kWh/año

Por tanto, el ahorro energético será:

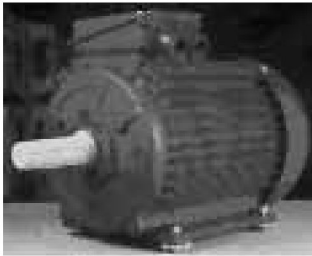
Ahorro energético = $62.400 - 11.559 = 50.840$ kWh/año

Que equivalen a = **12,71 tep/año**

Para un precio de la energía eléctrica de 8 c€/kWh el ahorro económico es:

Ahorro económico = 4.067 €/año

4. EL MOTOR ELÉCTRICO



Motor eléctrico

Es una máquina que absorbe energía eléctrica de la red y la transforma en energía mecánica. En el proceso de transformación se dan unas pérdidas que se disipan en forma de calor.

4.1 Rendimiento del motor

Se puede definir el rendimiento del motor eléctrico como la relación entre la energía mecánica cedida y la energía eléctrica absorbida de la red.

$$\eta = \frac{P.\text{mecánica cedida}}{P.\text{eléctrica absorbida}} = \frac{P.\text{eléctrica absorbida} - P.\text{pérdidas}}{P.\text{eléctrica absorbida}}$$

Un mal rendimiento del motor acarrea ciertas consecuencias:

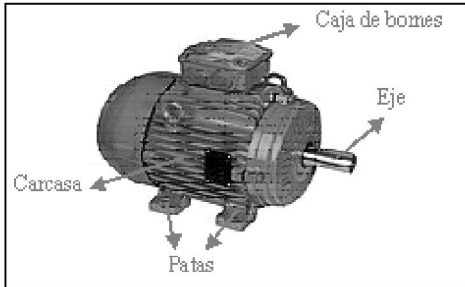
- Alto coste económico del funcionamiento del mismo, lo que implica su sustitución por otro mejor.
- Vida media más corta de la máquina, si el punto de funcionamiento se estabiliza a una temperatura superior a la de diseño.
- Necesidad de elementos de refrigeración para evacuar el calor.

4.2 Clasificación de los motores eléctricos

Los motores eléctricos se clasifican de la siguiente manera:

- **Motores de corriente continua**
 - > De corriente continua industrial
 - > De tracción
 - > De imanes permanentes
- **Motores de corriente alterna**
 - > Síncronos
 - Síncronos excitados
 - Síncronos de reluctancia
 - > Asíncronos o de inducción polifásicos
 - De rotor bobinado con anillos rozantes
 - De rotor en cortocircuito o de jaula
 - > Asíncronos o de inducción monofásicos
 - De fase partida
 - Con compensador de arranque
 - Con compensador permanente
 - De espira de sombra
 - > Motores de colector
 - Motores serie de colector
 - Motores polifásicos de colector
 - > Motores asíncronos sincronizados
 - > Motores lineales

4.3 El motor asíncrono



El motor asíncrono es el más utilizado en la industria ya que presenta unas características de robustez, prestaciones, costo y rendimiento muy buenas. El funcionamiento está basado en la Ley de Lenz que dice que la f.e.m. inducida tiende a oponerse a la causa que la produce.

Motor asíncrono

En el estator del motor se encuentra un bobinado polifásico que tiene P pares de polos.

Al ser alimentado por una tensión polifásica de frecuencia f_1 aparece una onda de campo magnético giratoria con velocidad:

$$\frac{\omega_1}{P} = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_1}{P}$$

Si el rotor tiene el bobinado cerrado sobre sí mismo, el campo giratorio induce una f.e.m. en dicho bobinado, que a su vez genera una corriente rotórica, que sometida al campo magnético exterior, origina un par motor. Para que se produzca la f.e.m., el rotor tiene que retrasarse respecto a la onda de flujo magnético del estator y, en consecuencia, el rotor gira a velocidad inferior a la de sincronismo, determinada por el número de pares de polos. Este fenómeno se conoce con el nombre de deslizamiento. La velocidad en un motor asíncrono (n_2) se expresa como:

$$n_2 = \frac{60 \cdot f}{P} \cdot (1 - s)$$

Donde:

f: Frecuencia de la red

s: Deslizamiento

P: Número de pares de polos

Actualmente se justifica el empleo de un motor asíncrono algo especial, denominado de alto rendimiento. Es un motor asíncrono con pérdidas más reducidas que los convencionales y perfectamente intercambiable con uno de estos.

Este tipo de motores responde a los mismos principios básicos que uno normal, pero presenta algunas mejoras para reducir pérdidas:

- Reducción de las pérdidas por efecto Joule ($I^2 \cdot R$).
- Reducción de las pérdidas magnéticas.
- Reducción de las pérdidas suplementarias.
- Reducción de las pérdidas mecánicas.

El arranque del motor se produce cuando se conectan los devanados del estator a la tensión adecuada, que va a producir un par motor superior al par resistente. En este instante, la corriente que circula es del orden de 4 a 7 veces la corriente nominal del motor. Esta intensidad tan elevada puede producir una importante perturbación y caídas de tensión en la línea de alimentación, perjudicando a otras cargas que estén conectadas a la misma línea de alimentación. Los motores de potencia superior a 0,75 kW deben estar provistos de reostatos de arranque o dispositivos equivalentes que no permitan que la relación $I_{\text{arranque}}/I_{\text{plena carga}}$ sea superior a la señalada en el cuadro adjunto.

Potencia del motor [kW]	Constante máxima $I_{\text{arranque}}/I_{\text{plena carga}}$
De 0,75 a 1,5	4,5
De 1,5 a 5,0	3
De 5,0 a 15,0	2
De más de 15,0	1,5

Existen diferentes métodos para realizar el arranque del motor asíncrono. Para los motores de jaula de ardilla se tienen:

• **Arranque directo**

Consiste en conectar directamente el motor a la tensión de la red, lo que requiere menor inversión en equipamientos. El incremento de la intensidad de arranque es admitido en establecimientos que reciben la energía en alta tensión y tienen la estación transformadora de su propiedad.

• **Arranque con inserción de una resistencia en el estator**

Consiste en disponer de una resistencia variable en cada fase del motor, conectada entre la red y el estator, que limite la intensidad en el momento del arranque. El problema es que el par de arranque disminuye cuadráticamente respecto a la disminución de la intensidad.

• Arranque por autotransformador

Este método utiliza un autotransformador intercalado entre la red y el motor, para reducir la tensión en el momento de arranque. Como la intensidad depende de la tensión, una reducción de la tensión implica una reducción de la intensidad. Este método resulta más caro, por lo que su empleo sólo se justifica en motores de potencias superiores a 50 kW. El par y la intensidad absorbida de la red disminuyen en la misma proporción.

• Arranque estrella triángulo

Este método usa el conmutador que conecta los devanados del estator en estrella durante el arranque, cambiando después la conexión a triángulo, mediante un dispositivo automático. Este método sólo se puede usar en motores diseñados para funcionar en régimen con una conexión de los bobinados en triángulo. Este método disminuye la intensidad de arranque a 1/3 y lo mismo hace con el par de arranque.

Para el arranque en los motores de rotor bobinado puede emplearse cualquiera de los métodos vistos anteriormente. Además puede emplearse otro método adicional en el que se limita la corriente de arranque incrementando la impedancia propia del motor, introduciendo unas resistencias variables en el bobinado del rotor. Una vez que el motor gira a una velocidad próxima a la de régimen, se ponen las resistencias variables a cero y se cortocircuita el bobinado del rotor. Con este método, se consigue disminuir la intensidad de arranque y aumentar el par de arranque.

Este método, presenta la ventaja adicional de que mejora el factor de potencia al ser el circuito más resistivo, esto lleva a que en el arranque se absorba menor potencia reactiva.

4.4 El motor síncrono



Motor síncrono

El motor síncrono tiene un bobinado polifásico en el estator semejante al del motor asíncrono. En él se origina un campo giratorio a la velocidad F (W , P), donde:

W: Pulsación angular de la frecuencia de la red.

P: Número de pares de polos.

Si en el rotor se dispone de un número de polos fijos semejantes al del estator, excitados en su polaridad fija por una fuente externa de corriente continua, se producirá una interacción mutua en el momento en el que la velocidad de los polos rotóricos sea igual a la de los polos ficticios que origina el estator. De esta interacción mutua se deriva el efecto del par motor. El rotor gira, pues, en sincronismo con la frecuencia de alimentación del estator, de ahí el nombre de motor síncrono.

El rotor está constituido por polos alternativamente N-S, cuya excitación es tomada de un equipo exterior que puede ser:

- Excitatriz rotatoria.
- Equipo rectificador de excitación estática.

Los motores síncronos presentan las siguientes **ventajas** frente a los asíncronos:

- Mejor rendimiento.
- Corriente absorbida óptima en función de la excitación.
- Posibilidad de funcionar como condensador o como inductancia.

Y los siguientes **inconvenientes**:

- Mayor sensibilidad a los armónicos de tensión.
- Necesidad de un sistema de excitación.
- Sólo pueden arrancar con carga débil y necesitan sistemas auxiliares de arranque.
- Peligro de desacoplamiento por sobrecargas.

Como consecuencia de lo anterior **se utilizan** en:

- Compresores con arranque en vacío.
- Turbosoplantes con arranque en vacío.
- Accionamientos que funcionan con pocos arranques y muchas horas de servicio.
- Bombas centrífugas de elevada potencia.

5. REGULACIÓN DE LA VELOCIDAD DE LOS MOTORES ELÉCTRICOS

En algunos casos, debido a las exigencias del proceso, se hace necesario variar y regular la velocidad del motor eléctrico. Recordamos que la velocidad del motor asíncrono responde a la expresión:

$$n_2 = \frac{60 \cdot f}{P} \cdot (1 - s)$$

Se puede ver que la forma de regular la velocidad del motor es actuar sobre ciertos parámetros como:

- **Nº de pares de polos (P)**

Esta regulación se realiza variando las conexiones de los bobinados del estator. De esta forma se permite obtener unas velocidades determinadas pero no una variación continua. Este método únicamente se emplea cuando las velocidades del proceso están definidas de manera muy precisa.

- **Frecuencia (f)**

Si se varía la frecuencia del estator, la velocidad del campo magnético también variará según la expresión:

$$n_1 = \frac{60 \cdot f}{P}$$

Como la velocidad del rotor es ligeramente inferior a la del campo magnético, también variará con la frecuencia.

- **Deslizamiento (s)**

La regulación se realiza de dos maneras, la primera es actuando sobre la tensión aplicada en el estator ya que el par motor es proporcional al cuadrado de la misma y la segunda es variando la resistencia del rotor, con lo que variará también el par motor.

A pesar de los beneficios que conlleva la regulación de la velocidad a nivel energético, hay que tener en cuenta las **consecuencias** que estas variaciones de velocidad tienen sobre el propio motor. Las más importantes son:

- En altas frecuencias, limitación de cojinetes por la velocidad.
- Mayores pérdidas en el cobre del estator y rotor.
- Mayores pérdidas magnéticas.
- Pares pulsatorios parásitos.
- Elevado ruido y vibración.

En resumen, el ahorro energético logrado en el proceso como consecuencia de la regulación de la velocidad decrece algo al ser peor el rendimiento del motor.

6. MEDIDAS PARA LA MEJORA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN MOTORES ELÉCTRICOS

En la utilización de motores eléctricos cabe destacar las siguientes medidas para optimizar el ahorro energético:

- 6.1 Utilización de motores de alto rendimiento
- 6.2 Utilización de motores síncronos en vez de asíncronos
- 6.3 Adecuación de los motores a la potencia necesaria
- 6.4 Alimentación del motor que arrastra una bomba con caudal variable mediante variadores de frecuencia
- 6.5 Alimentar los ventiladores con un variador de velocidad
- 6.6 Emplear motores de dos velocidades para variar el caudal de una bomba o ventilador cuando hay dos regímenes de carga

UTILIZACIÓN DE MOTORES DE ALTO RENDIMIENTO

Ejemplo: Motores de alto rendimiento

Una empresa que trabaja 6.500 horas al año cuenta con 5 motores eléctricos de 15 kW cada uno. El rendimiento de estos motores es del 87 %.

Se ha decidido sustituir esos motores por unos nuevos de alto rendimiento cuya eficiencia es del 93%.

El ahorro energético obtenido por la sustitución de los motores eléctricos convencionales por los de alto rendimiento es:

$$A. \text{ Energético} = 5 \text{ mot} \cdot 15 \frac{\text{kW}}{\text{mot}} \cdot 6.500 \frac{\text{h}}{\text{año}} \cdot \left(\frac{100}{87} - \frac{100}{93} \right) = 36.151 \text{ kWh/año}$$

Que equivalen a = **9 tep/año**

Para un precio de la energía eléctrica de 8 c€/kWh el ahorro económico es:

Ahorro económico = 2.892 €/año

UTILIZAR MOTORES SÍNCRONOS EN VEZ DE ASÍNCRONOS

En aquellos accionamientos de más de 1.000 kW con elevado número de horas de servicio es conveniente planear la utilización de motores síncronos en vez de asíncronos, por su mejor rendimiento y, aunque sea secundario, por la posibilidad de que generen energía reactiva en adelanto. Es conveniente, sin embargo, que arranquen pocas veces, dadas las dificultades que presenta el motor síncrono para el arranque.

Ejemplo: Elección de un motor síncrono frente a uno asíncrono

En una fábrica se quiere instalar un compresor que requiere una potencia mecánica en el eje de 1.800 kW. Este compresor está previsto que funcione 6.500 horas anuales.

El rendimiento de un motor síncrono es del 96% mientras que el del asíncrono es un 95%.

Las pérdidas que se darán en ambos motores son:

- Síncrono: $\frac{1.800}{0,96} - 1.800 = 75 \text{ kW}$
- Asíncrono: $\frac{1.800}{0,95} - 1.800 = 94,74 \text{ kW}$

Por lo tanto, el hecho de utilizar un motor síncrono en vez de uno asíncrono supone un ahorro de:

$$\text{Ahorro energético} = (94,74 - 75) \cdot 6.500 = 128.310 \text{ kWh/año}$$

Que equivalen a = **32 tep/año**

Para un precio de la energía eléctrica de 8 c€/kWh el ahorro económico es:

$$\text{Ahorro económico} = 10.265 \text{ €/año}$$

ADECUACIÓN DE LOS MOTORES A LA POTENCIA NECESARIA

El empleo indiscriminado de los coeficientes de seguridad encadenados da lugar a motores excesivamente sobredimensionados.

Ejemplo: Adecuación de los motores a la potencia necesaria

Una planta industrial tiene un motor de 9 kW a 1.500 r.p.m. Tras unas mediciones se ha comprobado que este motor está muy sobredimensionado ya que

realmente está proporcionando 5 kW. Es decir, está trabajando al 55% de su capacidad nominal. En estas circunstancias su rendimiento es del 76%.

Se ha decidido sustituir este motor por otro de 5,5 kW a 1.500 r.p.m. Este motor trabajará al 91% de su capacidad y con un rendimiento del 82%.

Por lo tanto, el ahorro energético obtenido por la sustitución del motor eléctrico es:

$$\text{Ahorro energético} = 5 \text{ kW} \cdot 5.500 \frac{\text{h}}{\text{año}} \cdot \left(\frac{100}{76} - \frac{100}{82} \right) = 2.648 \text{ kWh/año}$$

Que equivalen a = 0,66 tep/año

Para un precio de la energía eléctrica de 8 c€/kWh el ahorro económico es:

Ahorro económico = 212 €/año

ALIMENTACIÓN DEL MOTOR QUE ARRASTRA UNA BOMBA CON CAUDAL VARIABLE MEDIANTE VARIADOR DE FRECUENCIA

Ejemplo: Motor con variador de frecuencia

En un circuito de refrigeración se tiene una bomba cuyo caudal nominal es de 1 m³/h. la curva característica de la bomba responde a la expresión:

$$H(m.c.a.) = 120 - 30 \cdot Q^2$$

El régimen de funcionamiento de esta bomba es de 5.000 horas anuales repartidas de la siguiente manera:

Horas de funcionamiento	% Caudal
1.000	100
2.000	80
1.500	70
5.000	60

Inicialmente se realizaba la regulación del caudal mediante estrangulamiento de una válvula accionada por el controlador del proceso.

Se propone alimentar el motor que arrastra la bomba mediante un variador de frecuencia.

En el cuadro siguiente se comparan las dos situaciones:

Caudal (m ³ /h)	Sin variador		Con variador		Ahorro (kW)
	H (m.c.a.)	P (kW)	H (m.c.a.)	P (kW)	
1,0 (100%)	90,0	882,0	90,0	882,0	---
0,8 (80%)	100,0	790,2	90,0	705,6	84,6
0,7 (70%)	105,3	722,4	90,0	617,4	105,0
0,6 (60%)	109,2	642,1	90,0	529,2	112,9

Por lo tanto, el ahorro total en el consumo eléctrico, considerando un rendimiento del 75%, será:

$$A. \text{ Energético} = \frac{1}{0,75} \cdot (84,6 \cdot 2.000 + 105 \cdot 1.500 + 112,9 \cdot 500) = 510.867 \text{ kWh/año}$$

Que equivalen a = 127,7 tep/año

Para un precio de la energía eléctrica de 8 c€/kWh el ahorro económico es:

Ahorro económico = 40.870 €/año

ALIMENTAR LOS VENTILADORES CON UN VARIADOR DE VELOCIDAD

Ejemplo: Variadores de velocidad en ventiladores.

Una empresa dispone de múltiples ventiladores repartidos en los diferentes equipos de su instalación. El punto de funcionamiento de cada ventilador varía en función del artículo que se esté fabricando. La regulación del caudal de aire se realiza mediante cortatiros.

Bajo estas circunstancias, el consumo eléctrico de los ventiladores es el siguiente:

Ventilador	Potencia (kW)	Horas de funcionamiento (h)	Grado de carga medio (%)	Consumo anual (kWh/año)
Nº 1	2 × 45	8.760	90%	709.560
Nº 2	2 × 45	8.760	90%	709.560
Nº 3	2 × 55	8.760	90%	867.240
Nº 4	2 × 55	8.760	90%	867.240
Nº 5	1 × 75	8.460	90%	571.050
Nº 6	1 × 75	8.459	90%	570.983
Nº 7	1 × 75	4.768	90%	321.840
Nº 8	1 × 75	8.459	90%	570.983
Nº 9	1 × 90	8.460	90%	685.260
TOTAL	790	73.646	90%	5.873.716

Se propone instalar variadores de velocidad en los ventiladores para reducir su consumo. Para valorar el ahorro energético que supone la instalación de variadores de velocidad en cada ventilador habría que analizar la variación de la demanda de caudal en cada equipo. No obstante, el ahorro energético que supone la instalación de variadores de velocidad se sitúa entre el 20 y el 30% del consumo total del ventilador.

Si se estima un ahorro medio del 25% del consumo del ventilador, el ahorro total de energía eléctrica será:

Ventilador	Consumo anual (kWh/año)	Ahorro energético (kWh/año)
Nº 1	709.560	177.390
Nº 2	709.560	177.390
Nº 3	867.240	216.810
Nº 4	867.240	216.810
Nº 5	571.050	142.763
Nº 6	570.983	142.746
Nº 7	321.840	80.460
Nº 8	570.983	142.746
Nº 9	685.260	171.315
TOTAL	5.873.716	1.468.430

Por lo tanto, se tiene un ahorro energético de:

Ahorro energético = 1.468.430 kWh/año

Que equivalen a = **367 tep/año**

Para un precio de la energía eléctrica de 7,3c€/kWh el ahorro económico es:

Ahorro económico = 107.195 €/año

EMPLEAR MOTORES DE DOS VELOCIDADES PARA VARIAR EL CAUDAL DE UNA BOMBA O VENTILADOR CUANDO HAY DOS RÉGIMENES DE CARGA

Este tipo de motores son de aplicación cuando los flujos a regular tienen un nivel de caudal a plena carga (100%) y otro nivel de caudal mitad (50%). En este caso la inversión es mucho menor que en el caso anterior (variador de frecuencia) pues se limita a un motor de dos velocidades y a un contactor adicional.

Ejemplo: Motor de dos velocidades en una bomba

En una instalación se tiene una bomba centrífuga con caudal nominal de 0,1 m³/h, que trabaja según el siguiente régimen de funcionamiento:

Horas de funcionamiento	% Caudal
2.500	100
3.500	50

La bomba está accionada por un motor de una única velocidad de 132 kW a 1.500 r.p.m. y la regulación del caudal se realiza mediante estrangulamiento.

Se propone sustituir este motor de accionamiento de la bomba por otro de dos velocidades de 132 kW a 1.500 r.p.m. y 90 kW a 750 r.p.m.

En el siguiente cuadro se pueden comparar las dos situaciones planteadas:

	Estrangulamiento		Motor de dos velocidades	
	0,1	0,05	0,1	0,05
Caudal (m ³ /h)	0,1	0,05	0,1	0,05
Presión de la bomba (m.c.a.)	90	112,5	90	22,5
Velocidad (%)	100	100	100	50
Rendimiento de la bomba (%)	80	60	80	80
Potencia para accionar la bomba (kW)	110,29	91,91	110,29	13,78
Rendimiento del motor (%)	91,5	90,8	89	55
Potencia absorbida en por el motor (kW)	120,53	101,22	123,92	25,05
Tiempo de servicio (h/año)	2.500	3.500	2.500	3.500
Energía absorbida por el motor (kWh/año)	301.325	354.270	309.800	87.675
Energía total absorbida (kWh/año)	655.595		397.475	

El ahorro energético producido por la sustitución del motor de accionamiento por otro de dos velocidades es:

Ahorro energético = 655.595 - 397.475 = 258.120 kWh/año

Que equivalen a = **64,53 tep/año**

Para un precio de la energía eléctrica de 8 c€/kWh el ahorro económico es:

Ahorro económico = 20.650 €/año

5

**BOMBAS, INSTALACIONES DE
BOMBEO Y CIRCUITOS
HIDRÁULICOS**

INDICE

BOMBAS, INSTALACIONES DE BOMBEO Y CIRCUITOS HIDRÁULICOS

1.- LAS CONDUCCIONES	97
2.- LAS BOMBAS.	97
2.1.- Potencia de la bomba	98
2.2.- Rendimiento de la bomba	98
2.3.- Curvas características.	98
2.4.- Cavitación	99
2.5.- Parámetros que afectan al funcionamiento de la bomba	100
2.6.- Regulación del caudal en bombas	100
3.- MEDIDAS PARA LA MEJORA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA.	101
3.1.- Ajustar el punto de funcionamiento de las bombas.	102
3.2.- Reducir el diámetro del rodete de la bomba	103
ANEXO TABLAS.	105

1. LAS CONDUCCIONES

En los circuitos hidráulicos y los sistemas de bombeo, la conducción del líquido es uno de los elementos más importantes. Las conducciones conectan todos los equipos y transportan el fluido a través de una sección circular en tramos largos. La importancia de la conducción radica en que su dimensionamiento condiciona los siguientes aspectos:

- Las pérdidas de carga del sistema de bombeo.
- El rendimiento energético del sistema de bombeo.
- La inversión necesaria para llevar a cabo el sistema de bombeo.
- Las posibilidades de mantenimiento correcto del sistema.
- La existencia de fenómenos indeseados como la cavitación o el golpe de ariete.

Las pérdidas de carga que se originan en la conducción son un aspecto importante. Su estudio requiere el empleo de expresiones analíticas complejas. En la práctica, y para facilitar el cálculo de dichas pérdidas de carga en las conducciones, se emplean tablas y ábacos.

2. LAS BOMBAS



Bomba hidráulica

Otro de los elementos más importantes en los sistemas de bombeo es la bomba. La bomba es el elemento encargado de impulsar el fluido a través de la conducción. Para ello absorbe la energía mecánica proporcionada por un motor y lo cede al fluido en forma de energía hidráulica.

2.1 Potencia de la bomba

La potencia hidráulica de la bomba responde a la siguiente expresión:

$$P = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H$$

Donde:

- P: Potencia hidráulica de la bomba [W]
- ρ : Densidad del fluido [kg/m³]
- g: Aceleración de la gravedad = 9,81 [m/s²]
- Q: Caudal [m³/s]
- H: Altura de impulsión [m]

2.2 Rendimiento de la bomba

El rendimiento de la bomba se establece como la relación entre la potencia hidráulica cedida al fluido y la potencia mecánica absorbida:

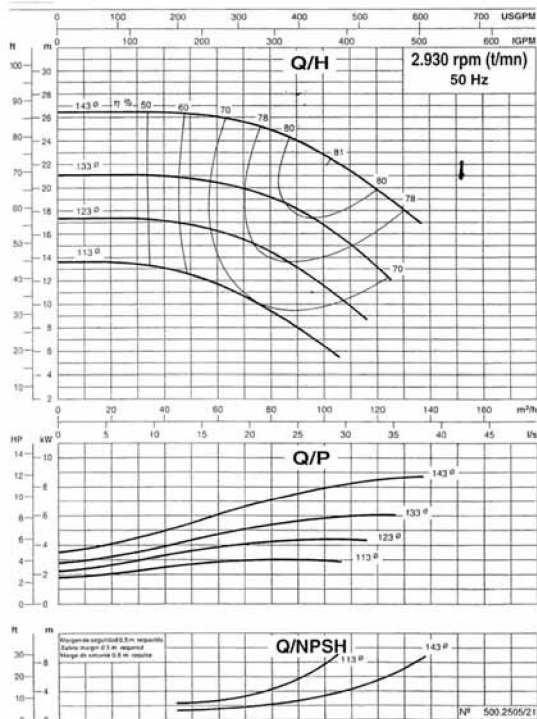
$$\eta = \frac{P}{P_m}$$

2.3 Curvas características

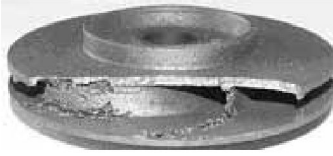
Las bombas vienen definidas a través de sus curvas características que relacionan las variables que intervienen en el funcionamiento de las mismas. Existen diferentes curvas:

- Curva de presión-caudal
- Curva de rendimiento-caudal
- Curva de potencia caudal

A modo de ejemplo se incluyen las siguientes curvas características.



2.4 Cavitación



Desgaste producido por cavitación

La cavitación es un fenómeno de gran importancia en el estudio de las bombas. La cavitación es la formación de burbujas o bolsas de vapor debidas a una ebullición provocada por las bajas presiones que aparecen en algunos lugares de las bombas. Las burbujas son arrastradas por la corriente y en zonas de mayores presiones condensan produciendo fuertes presiones que pueden originar daños mecánicos muy importantes en las bombas y en las conducciones.

Los efectos de la cavitación son:

- Disminución del rendimiento.
- Desgastes y envejecimientos prematuros.
- Vibraciones y ruidos.

La cavitación se puede analizar a través del estudio del NPSH. El NPSH (Net Positive Suction Head) es el término utilizado para determinar las características que se deben dar a la aspiración de una bomba. Por definición, el NPSH es la presión total disponible en el centro de la bomba corregida por la tensión de vapor, expresada en metros:

$$NPSH = \frac{P_{atm}}{\rho \cdot g} - \frac{f(t)}{\rho \cdot g} \pm h_a - h_f$$

Por lo que respecta a h_a , su valor puede ser positivo o negativo, según que el nivel de la superficie del líquido se encuentre por encima del eje de la bomba o por debajo.

Se puede hablar de dos tipos de NPSH:

- NPSH disponible: Es el valor que se calcula por la expresión de anterior, en función de la instalación elegida para la bomba y en función de la temperatura del fluido una vez que se adquiere el calentamiento del régimen. Este NPSH es, por lo tanto, calculable.
- NPSH de cada bomba; este valor viene determinado por el fabricante, que a su vez lo ha obtenido a través de ensayos. En la práctica y como margen de seguridad a este valor se le añade 0,5 m.

En cualquiera de los casos, si se quiere evitar la existencia de problemas de cavitación, es necesario que se cumpla que el NPSH disponible en la instalación de la bomba, sea mayor o igual al NPSH fijado por el fabricante para la bomba que se ha elegido.

2.5 Parámetros que afectan al funcionamiento de la bomba

Algunos de los parámetros más importantes que afectan al funcionamiento de la bomba son:

- **La altitud.** La influencia de la variación de la presión atmosférica con la altitud del lugar en el que se instala la bomba es importante. La fórmula aproximada que da la presión atmosférica en metros de columna de agua es la siguiente:

$$P_{atm} = 10,33 - \frac{(h - 500)}{1.000}$$

Donde h es la altitud del lugar en m.

Esta fórmula es válida para valores de h entre 500 y 4.000 m. Hasta h = 500m, se puede tomar $P_{atm} = 10,33$ m aproximadamente.

- Otro de los aspectos que hay que cuidar es que el tubo de aspiración esté por debajo de la superficie libre del fluido con una adecuada **submergencia**, para evitar la formación de vórtices y remolinos que descienden de hecho la superficie del líquido aspirado.

La submergencia se puede calcular por la fórmula:

$$S = \frac{v^2}{2g} + 0,1 \quad [m]$$

Donde v es la velocidad de entrada [m/s]

Cuando la submergencia no sea la correcta se puede observar:

- Fluctuaciones del caudal.
- Formación de remolinos visibles o bajo superficie.
- Ruidos y vibraciones con potencia variable en el motor. Se detecta por la corriente en línea.

2.6 Regulación del caudal en bombas

En muchos procesos es necesario trabajar con un caudal inferior al nominal y se hace necesario un sistema de regulación del mismo. Se utilizan diferentes métodos para regular el caudal de una bomba.

- **Regulación del caudal por arranque-parada**

La base de este método consiste en el almacenamiento de líquido en un depósito de regulación (o acumulación) y, a partir de este depósito, realizar posteriormente la distribución de acuerdo con las necesidades del proceso en los diferentes puntos.

- Regulación del caudal por estrangulamiento de la tubería que conduce el fluido

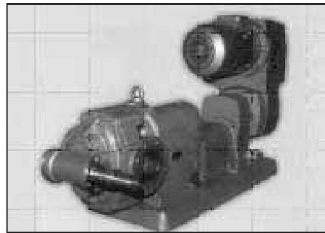
Esto se obtiene por medio de una válvula V que va montada en la tubería de impulsión de la bomba. Cerrando esta válvula, se produce una pérdida de carga adicional, que cambia la altura manométrica total del sistema y, en consecuencia, la característica dinámica de la instalación de bombeo.

- Regulación del caudal por variación de la velocidad de la bomba

La curva característica de la bomba relaciona las diferentes variables que intervienen en el funcionamiento de la misma como son el caudal y la velocidad de giro del accionamiento de la bomba. De modo que actuando sobre la velocidad de la bomba se consigue una regulación del caudal.

- Regulación del caudal por by-pass

Se logra esta regulación mediante una válvula auxiliar montada en un tubo en derivación con la bomba (by-pass). De este modo, parte del caudal que pasa a través de la bomba se devuelve al lado de succión.



Bomba con by-pass

3. MEDIDAS PARA LA MEJORA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA

En lo que se refiere exclusivamente al las bombas, pueden considerarse las siguientes medidas a adoptar para la mejora de la eficiencia energética en los sistemas de bombeo:

3.1 Ajustar el punto de funcionamiento de las bombas

3.2 Reducir el diámetro del rodete de la bomba

AJUSTAR EL PUNTO DE FUNCIONAMIENTO DE LAS BOMBAS

Ejemplo: Ajustar el punto de funcionamiento de las bombas.

La red de distribución de agua de una fábrica se lleva a cabo mediante dos bombas que funcionan en paralelo. Sin embargo, estas bombas fueron diseñadas, calculadas y seleccionadas para operar individualmente y por lo tanto, hacerlas trabajar en paralelo hace que funcionen fuera de sus especificaciones.

Las principales características de las bombas son:

- Caudal nominal: 16 m³/h
- Velocidad: 3.000 r.p.m.
- ATM: 40 m.c.a.

Y los motores de accionamiento:

- Potencia nominal: 4 kW
- Velocidad: 3.000 r.p.m.
- Factor de potencia: 0,88
- Corriente nominal absorbida: 8,4 A
- Rendimiento (plena carga):82%

En estas condiciones de funcionamiento, se obtienen las siguientes mediciones:

- Potencia eléctrica absorbida:

Nº 1 2,2 kW

Nº 2 2,2 kW

- Caudal impulsado:

Nº 1 4,9 m³/h

Nº 2 4,9 m³/h

El consumo total de energía es de:

$$4,4 \text{ kW} \cdot 8.000 \text{ h/año} = 35.200 \text{ kWh/año}$$

Se observa que con una única bomba sería suficiente para impulsar los 9,8 m³/h de caudal. En estas nuevas condiciones la bomba absorbería una potencia eléctrica de 2,85 kW, lo que hace un consumo eléctrico de:

$$2,85 \text{ kW} \cdot 8.000 \text{ h/año} = 22.800 \text{ kWh/año}$$

Por lo tanto, el ahorro de energía eléctrica es de:

$$\text{Ahorro energético} = 35.200 - 22.800 = 12.400 \text{ kWh/año}$$

Que equivalen a = 3,1 tep/año

Para un precio de la energía eléctrica de 8 c€/kWh, el ahorro económico será:

$$\text{Ahorro económico} = 992\text{€/año}$$

REDUCIR EL DIÁMETRO DEL RODETE DE LA BOMBA

Ejemplo: Reducción del diámetro del rodete de una bomba

Una planta industrial cuenta con una bomba centrífuga para llevar a cabo el transporte de agua a los diferentes puntos de utilización. Las características más importantes de la bomba empleada son:

- Caudal: 500 m³/h
- Altura manométrica 80 m.c.a.
- Horas de funcionamiento 4.500 h/año

En el punto de funcionamiento, la bomba presenta un rendimiento del 78 %, por lo que la potencia absorbida será:

$$P = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{\eta} = \frac{1.000 \cdot 9,8 \cdot \frac{500}{3.600} \cdot 80}{0,78} = 139,6 \text{ kW}$$

En estas condiciones, el motor eléctrico que arrastra la bomba tiene un rendimiento del 95 %. La potencia eléctrica total absorbida por la bomba será:

$$\frac{139,6 \cdot 4.500}{0,95} = 661.263 \text{ kWh/año}$$

Se ha decidido tornearse el rodete de la bomba para reducir su diámetro. Debido a esta modificación, el punto de funcionamiento de la bomba varía, al igual que sus características:

- Caudal: 400 m³/h
- Altura manométrica: 70 m.c.a.
- Horas de funcionamiento: = 4.500 $\frac{500}{400} = 5.625$ h/año

En estas circunstancias, el rendimiento de la bomba es del 80%, por lo que la potencia absorbida será:

$$P = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{\eta} = \frac{1.000 \cdot 9,8 \cdot \frac{400}{3.600} \cdot 70}{0,8} = 95,3 \text{ kW}$$

Una vez realizada la variación del diámetro del rodete, el motor eléctrico presenta un rendimiento del 91 %. El consumo de energía eléctrica será:

$$\frac{95,3 \cdot 5.625}{0,91} = 589.080 \text{ kWh/año}$$

Por lo tanto, el ahorro de energía eléctrica es de:

$$\text{Ahorro energético} = 661.263 - 589.080 = \mathbf{72.183 \text{ kWh/año}}$$

Que equivalen a = **18 tep/año**

Para un precio de la energía eléctrica de 8 c€/kWh, el ahorro económico será:

$$\text{Ahorro económico} = \mathbf{5.775 \text{ €/año}}$$

ANEXO TABLAS Y ÁBACOS

ÍNDICE

- Tabla 1: Magnitudes fundamentales en el Sistema Internacional
- Tabla 2: Unidades admitidas con nombre especial en el Sistema Internacional
- Tabla 3: Magnitudes derivadas en el Sistema Internacional
- Tabla 4: Relación entre unidades de potencia
- Tabla 5: Ábaco para el cálculo de las pérdidas de carga en tuberías rectilíneas
- Tabla 6: Pérdidas de carga del agua a 15 °C por 100 m de tubería
- Tabla 7: Pérdidas de carga de Fuelóleo 1 por 100 m de tubería
- Tabla 8: Pérdidas de carga de Fuelóleo 2 por 100 m de tubería
- Tabla 9: Pérdidas de carga en m por cada 100 m de longitud de tubo para tubos con rugosidad absoluta de 0,1 mm y agua fría a 12 °C
- Tabla 10: Coeficientes multiplicadores de las pérdidas de carga para tubos con rugosidades absolutas deferentes a 0,1 mm
- Tabla 11: Pérdidas de carga en accesorios expresadas en longitud equivalente de tubería
- Tabla 12: Valores de viscosidades absolutas
- Tabla 13: Viscosidad absoluta y cinemática del agua
- Tabla 14: Equivalencia entre unidades de viscosidad cinemática
- Tabla 15: Tensión de vapor, calor en el líquido y volumen específico del agua líquida.
- Tabla 16: Tensión de vapor de varios líquidos

Tabla 1 Magnitudes fundamentales en el Sistema Internacional (S.I.)

MAGNITUD	SÍMBOLO DIMENSIONAL DE LA MAGNITUD	NOMBRE DE LA UNIDAD	SÍMBOLO DE LA UNIDAD
Longitud	L	metro	m
Masa	M	kilogramo	kg
Tiempo	T	segundo	s
Intensidad de corriente		amperio	A
Temperatura		kelvin	K
Intensidad luminosa		candela	cd
Angulo plano		radián	rad
Angulo sólido		estereorradián	sr

Tabla 2 Unidades admitidas con nombre especial en el Sistema Internacional (S.I.)

la tonelada: 1 t = 10 ³ (kg)
el litro 1 l = 10 ³ (m ³)
el bar: 1 bar = 10 ⁵ (N/m ²)

Tabla 3 Magnitudes derivadas en el Sistema Internacional (S.I.)

MAGNITUD	SÍMBOLO DE LA MAGNITUD	UNIDAD	SÍMBOLO DE LA UNIDAD
Area	L ²	metro cuadrado	m ²
Volumen	L ³	metro cúbico	m ³
Velocidad	LT ⁻¹	metro por segundo	m/s
Aceleración	LT ⁻²	metro por segundo por segundo	m/s ²
Velocidad angular	T ⁻¹	radianes por segundo	rad/s
Aceleración angular	T ⁻²	radianes por segundo por segundo	rad/s ²
Caudal	L ³ T ⁻¹	metro cúbico por segundo	m ³ /s
Densidad o masa específica	ML ⁻³	kilogramo por metro cúbico	kg/m ³
Fuerza (peso)	MLT ⁻²	newton	N
Tensión superficial	MT ⁻²	newton por metro	N/m
Presión (tensión)	ML ⁻¹ T ⁻²	pascal	Pa(N/m ²)
Energía	ML ² T ⁻²	julio	J
Peso específico	ML ⁻² T ⁻²	newton por metro cúbico	N/m ³
Flujo luminoso	—	lumen (candela · estereorradian)	Lm(cd · sr)
Iluminancia	—	lux (lumen por metro cuadrado)	Lx(Lm/m ²)
Viscosidad dinámica	ML ⁻¹ T ⁻¹	pascal · segundo	Pa · s
Viscosidad cinemática	L ² T ⁻¹	metro cuadrado por segundo	m ² /s
Entropía	—	julio por Kelvin	J/K
Entropía específica	—	entropía por kilogramo	J/K · kg
Frecuencia	T ⁻¹	hercio	Hz(s ⁻¹)
Potencial eléctrico	—	voltio (watio por amperio)	V(W/A)
Resistencia eléctrica	—	ohmio (voltio por amperio)	(V/A)
Carga (cantidad de electricidad)	—	culombio (amperio · segundo)	C(A · s)
Capacidad eléctrica	—	faradio (culombio por voltio)	F(C/V)
Inductancia	—	henrio (voltio · seg por amperio)	H(V · s/A)
Densidad de energía	—	julio por metro cuadrado	J/m ²
Capacidad térmica	—	julio por metro cúbico y K	J/m ³ · K
Conductividad térmica	—	watio por metro y K	W/m · K(J/m · s · K)
Temperatura	—	grado Celsius (K-273,15)	°C

Tabla 4 Relación entre unidades de potencia

	kg ^m /h	ft ³ /s	kcal/s	BTU/s	erg/s	W abs	kcal/h	BTU/h	CV	HP	kW abs
1 kg ^m /s	1	7,233	0,002342	0,009295	9,81·10 ⁷	9,81	8,4337	33,468	0,01333	0,01315	0,00981
1 ft ³ /s	0,13825	1	0,0003238	0,001285	1,3558·10 ⁷	1,3558	1,166	4,6272	0,001843	0,001818	0,0013558
1 kcal/s	426,86	3,087,5	1	3,9683	4,186·10 ⁷	4,186	3,600	14,285,88	5,6914	5,6136	4,186
1 BTU/s	107,566	778,028	0,25194	1	1,055,8·10 ⁷	1,055,8	906,984	3,600	1,4342	1,4146	1,055
1 erg/s	0,102·10 ⁻⁷	0,7376·10 ⁻⁷	2,388·10 ⁻¹¹	9,48·10 ⁻¹¹	1	10 ⁻⁷	0,86·10 ⁻¹¹	34,128·10 ⁻¹¹	1,3596·10 ⁻¹⁰	1,341·10 ⁻¹⁰	10 ⁻¹⁰
1 W	0,102	0,7376	0,0002388	0,000948	10 ⁷	1	0,86	3,4128	0,00136	0,001341	10 ⁻¹
1 kcal/h	0,1186	0,8576	0,0002778	0,0011	1,162,8·10 ⁴	1,1628	1	3,9684	0,001381	0,00136	0,0011628
1 BTU/h	0,02988	0,216	0,00007	0,000277	293,07·10 ⁴	0,293	0,25194	1	0,0003984	0,0003929	0,000293
1 CV	75	542,5	0,1737	0,69724	7,355·10 ⁸	735,5	632,32	2,510,06	1	0,9863	0,7355
1 HP	76,04	550	0,17814	0,70692	7,457·10 ⁸	745,7	641,3	2,544,91	1,0139	1	0,7457
1 kW	101,97	737,56	0,2388	0,948	10 ¹⁰	1,000	860	3,412,8	1,3596	1,341	1

1 poncelet = 100 CV.
 1 HP (boiler, developed) = 34,5 lb de agua a 212 °F evaporadas a 212 °F =
 = 33,480 BTU/h = 8,435 kcal/h = 9,808 kW
 1 GW_h = 10⁹ Wh = 10⁶ MW_h = 10⁶ kWh

Tabla 5 Ábaco para el cálculo de las pérdidas de carga en tuberías rectilíneas

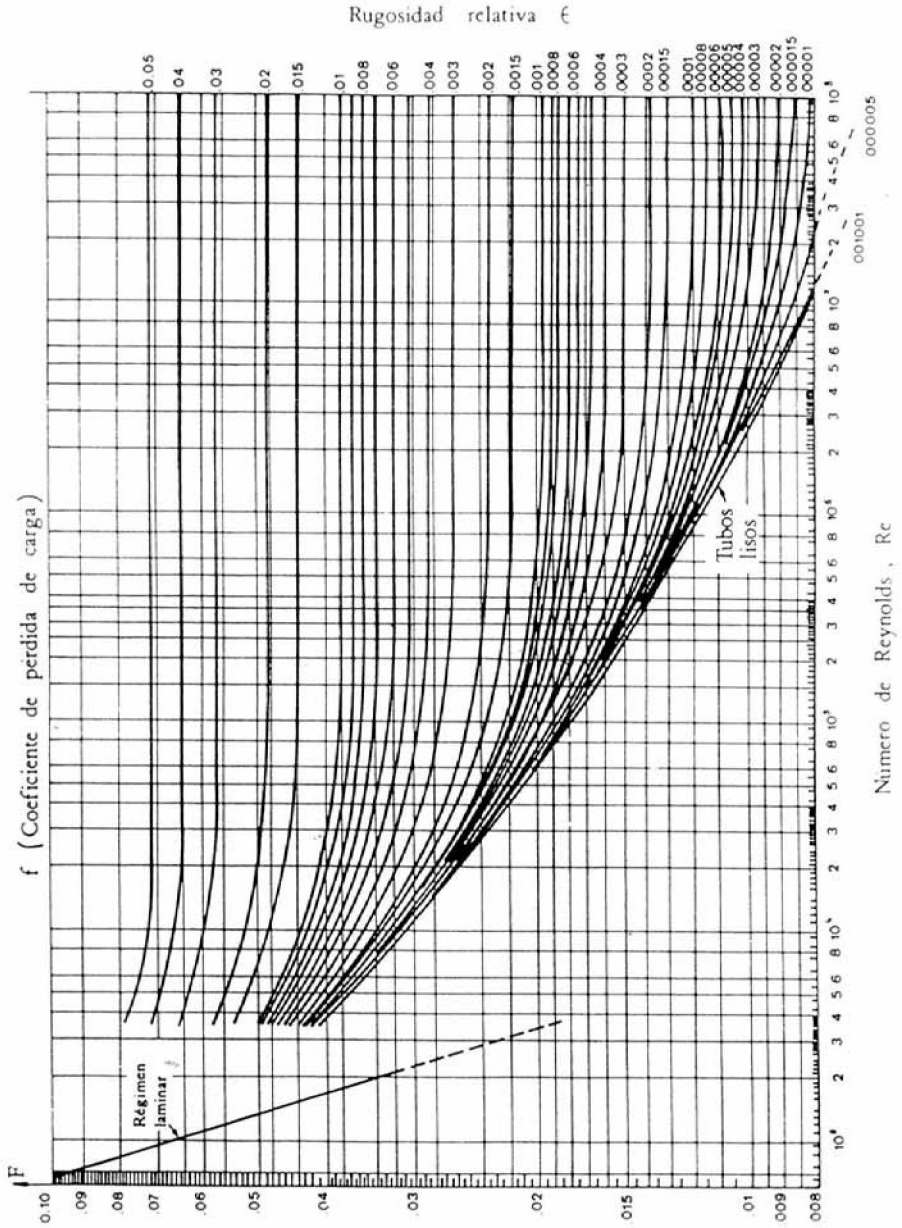


Tabla 5 Ábaco para el cálculo de las pérdidas de carga en tuberías rectilíneas (Continuación)

Valores absolutos de la rugosidad

h_r en mm

$$\text{Rugosidad relativa} = \frac{h_r}{D}$$

D: Diámetro de tubería en mm.

Tubos estirados de vidrio, cobre, latón		0,001
Tubos comerciales de latón		0,025
Tubos de acero laminado.	Nuevo	0,05
	Oxidado	0,15 a 0,25
	Con incrustaciones	1,5 a 3,0
	Con revestimiento bituminoso	0,015
Tubos de acero soldado.	Nuevo	0,03 a 0,1
	Oxidado	0,4
Tubos de hierro galvanizado		0,15 a 0,20
Tubos de fundición corriente.	Nuevo	0,25
	Oxidado	1 a 1,50
	Con revestimiento bituminoso	0,10
Tubos de cemento liso		0,30 a 0,80
Tubos de cemento en bruto		hasta 3,0
Tubos de acero remachado		8 a 15
Galerías de roca		90 a 600

Tabla 6 Pérdidas de carga del agua a 15 °C (kg cm2 por 100 m de tubería)

		0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	
VELOCIDAD (M/S)																
DIAMETRO (PULGADAS)																
1.0	M ³ /H	0.9	1.8	2.7	3.6	4.6	5.5	6.4	7.3	8.2	9.1	10.0	10.9	11.9	12.8	
	P. Carga	0.1637	0.5765	1.2265	2.1177	3.2231	4.5707	6.1491	7.9687	10.0060	12.2551	14.7100	17.5061	20.3797	23.6357	
1.5	M ³ /H	2.1	4.1	6.2	8.2	10.3	12.3	14.4	16.4	18.5	20.5	22.6	24.6	26.7	28.7	
	P. Carga	0.0974	0.3451	0.7353	1.2654	1.9363	2.7412	3.6831	4.7687	5.9824	7.3331	8.8376	10.4943	12.2610	14.1538	
2.0	M ³ /H	3.6	7.3	10.9	14.6	18.2	21.9	25.5	29.2	32.8	36.5	40.1	43.8	47.4	51.1	
	P. Carga	0.0676	0.2412	0.5140	0.8863	1.3542	1.9147	2.5821	3.3412	4.1890	5.1471	6.1984	7.3413	8.5744	9.8962	
3.0	M ³ /H	8.2	16.4	24.6	32.8	41.0	49.3	57.5	65.7	73.9	82.1	90.3	98.5	106.7	114.9	
	P. Carga	0.0409	0.1458	0.3103	0.5360	0.8170	1.1588	1.5613	2.0183	2.5412	3.1210	3.7566	4.4471	5.1916	5.9890	
4.0	M ³ /H	14.6	29.2	43.8	58.4	73.0	87.6	102.2	116.7	131.3	145.9	160.5	175.1	189.7	204.3	
	P. Carga	0.0286	0.1020	0.2184	0.3765	0.5760	0.8162	1.0989	1.4196	1.7868	2.1937	2.6395	3.1236	3.6452	4.2275	
6.0	M ³ /H	32.8	65.7	98.5	131.3	164.2	197.0	229.8	262.7	295.5	328.3	361.2	394.0	426.9	459.7	
	P. Carga	0.0173	0.0621	0.1331	0.2288	0.3513	0.4971	0.6686	0.8680	1.0886	1.3358	1.6114	1.9039	2.2230	2.5781	
8.0	M ³ /H	58.4	116.7	175.1	233.5	291.9	350.2	408.6	467.0	525.4	583.7	642.1	700.5	758.8	817.2	
	P. Carga	0.0122	0.0439	0.0938	0.1618	0.2474	0.3507	0.4714	0.6118	0.7693	0.9436	1.1344	1.3456	1.5740	1.8135	
10.0	M ³ /H	91.2	182.4	273.6	364.8	456.0	547.2	638.5	729.7	820.9	912.1	1003.3	1094.5	1185.7	1276.9	
	P. Carga	0.0093	0.0314	0.0715	0.1235	0.1887	0.2682	0.3603	0.4675	0.5877	0.7206	0.8660	1.0271	1.2012	1.3884	
12.0	M ³ /H	131.3	262.7	394.0	525.4	656.7	788.0	919.4	1050.7	1182.0	1313.4	1444.7	1576.1	1707.4	1838.7	
	P. Carga	0.0074	0.0268	0.0574	0.0993	0.1522	0.2154	0.2902	0.3752	0.4715	0.5801	0.6969	0.8265	0.9665	1.1169	
16.0	M ³ /H	233.5	467.0	700.5	934.0	1167.5	1400.9	1634.4	1867.9	2101.4	2334.9	2568.4	2801.9	3035.4	3268.9	
	P. Carga	0.0052	0.0190	0.0407	0.0701	0.1076	0.1528	0.2057	0.2657	0.3350	0.4105	0.4931	0.5868	0.6835	0.7927	
20.0	M ³ /H	364.8	729.7	1094.5	1459.3	1824.1	2189.0	2553.8	2918.6	3283.5	3648.3	4013.1	4377.9	4742.8	5107.6	
	P. Carga	0.0040	0.0145	0.0311	0.0537	0.0824	0.1169	0.1571	0.2039	0.2561	0.3150	0.3781	0.4482	0.5240	0.6077	
24.0	M ³ /H	525.4	1050.7	1576.1	2101.4	2626.8	3152.1	3677.5	4202.8	4728.2	5253.5	5778.9	6304.2	6829.6	7355.0	
	P. Carga	0.0032	0.0117	0.0251	0.0433	0.0664	0.0941	0.1271	0.1641	0.2068	0.2533	0.3052	0.3618	0.4239	0.4884	
28.0	M ³ /H	715.1	1430.1	2145.2	2860.3	3575.3	4290.4	5005.5	5720.5	6435.6	7150.6	7865.7	8580.8	9295.9	10010.9	
	P. Carga	0.0027	0.0097	0.0209	0.0361	0.0554	0.0785	0.1055	0.1367	0.1716	0.2110	0.2542	0.3013	0.3521	0.4066	
32.0	M ³ /H	934.0	1867.9	2801.9	3735.8	4669.8	5603.8	6537.7	7471.7	8405.7	9339.6	10273.6	11207.5	12141.5	13075.5	
	P. Carga	0.0023	0.0083	0.0178	0.0308	0.0471	0.0670	0.0901	0.1167	0.1470	0.1800	0.2169	0.2570	0.3003	0.3483	
36.0	M ³ /H	1182.0	2364.1	3546.1	4728.2	5910.2	7092.3	8274.3	9456.4	10638.4	11820.5	13002.5	14184.6	15366.6	16548.6	
	P. Carga	0.0020	0.0072	0.0155	0.0268	0.0410	0.0583	0.0784	0.1015	0.1279	0.1566	0.1887	0.2235	0.2612	0.3029	

Tabla 7.
Pérdidas de carga del fuelóleo 1 en Kg/cm² por 100 m de tubería

Velocidad (m/s)		0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0	
Diámetro (Pulgadas)		Temperatura del Fuelóleo (25 °C)															
1.0	Kg/h	345	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	P. Carga	8,3044	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1.5	Kg/h	776	1,551	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	P. Carga	3,6908	7,3817	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
2.0	Kg/h	1,379	2,758	4,137	5,516	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	P. Carga	2,0761	4,1522	6,2283	8,3044	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
2.5	Kg/h	2,155	4,310	6,464	8,619	10,774	12,929	15,083	-	-	-	-	-	-	-	-	
	P. Carga	1,3287	2,6574	3,9861	5,3148	6,6435	7,9722	9,3009	-	-	-	-	-	-	-	-	
3.0	Kg/h	3,103	6,206	9,309	12,412	15,514	18,617	21,720	24,823	27,926	31,029	-	-	-	-	-	
	P. Carga	0,9227	1,8454	2,7681	3,6909	4,6136	5,5363	6,4590	7,3817	8,3044	9,2271	-	-	-	-	-	
4.0	Kg/h	5,516	11,032	16,549	22,065	27,581	33,097	38,614	44,130	49,646	55,162	60,679	66,195	71,711	77,227	82,744	
	P. Carga	0,5190	1,0381	1,5571	2,0761	2,5951	3,1142	3,6332	4,1522	4,6712	5,1903	5,7093	6,2283	6,7473	7,2664	7,7854	
6.0	Kg/h	12,412	24,823	37,235	49,646	62,058	74,469	86,881	99,292	111,704	124,115	136,527	148,938	161,350	173,761	186,173	
	P. Carga	0,2307	0,4614	0,6920	0,9227	1,1534	1,3841	1,6147	1,8454	2,0761	2,3068	2,5375	2,7681	2,9988	3,2295	3,4602	

Velocidad (m/s)		0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0	
Diámetro (Pulgadas)		Temperatura del Fuelóleo (50 °C)															
1.0	Kg/h	345	690	1,034	1,379	1,724	2,069	2,413	-	-	-	-	-	-	-	-	
	P. Carga	1,2761	2,5522	3,8283	5,1044	6,3805	7,6566	8,9327	-	-	-	-	-	-	-	-	
1.5	Kg/h	776	1,551	2,327	3,103	3,879	4,654	5,430	6,206	6,981	7,757	8,533	9,309	10,084	10,860	11,636	
	P. Carga	0,5672	1,1343	1,7015	2,2686	2,8358	3,4029	3,9701	4,5372	5,1044	5,6715	6,2387	6,8058	7,3730	7,9402	8,5073	
2.0	Kg/h	1,379	2,758	4,137	5,516	6,895	8,274	9,653	11,032	12,412	13,791	15,170	16,549	17,928	19,307	20,686	
	P. Carga	0,3190	0,6380	0,9571	1,2761	1,5951	1,9141	2,2332	2,5522	2,8712	3,1902	3,5093	3,8283	4,1473	4,4205	4,6900	
2.5	Kg/h	2,155	4,310	6,464	8,619	10,774	12,929	15,083	17,238	19,393	21,548	23,703	25,857	28,012	30,167	32,322	
	P. Carga	0,2042	0,4084	0,6125	0,8167	1,0209	1,2251	1,4292	1,6334	1,8376	2,0418	2,2459	2,4501	2,6542	2,8584	3,0626	
3.0	Kg/h	3,103	6,206	9,309	12,412	15,514	18,617	21,720	24,823	27,926	31,029	34,132	37,235	40,337	43,440	46,543	
	P. Carga	0,1418	0,2836	0,4254	0,5672	0,7089	0,8507	0,9925	1,1343	1,2761	1,4179	1,5596	1,7014	1,8431	1,9848	2,1265	
4.0	Kg/h	5,516	11,032	16,549	22,065	27,581	33,097	38,614	44,130	49,646	55,162	60,679	66,195	71,711	77,227	82,744	
	P. Carga	0,0798	0,1595	0,2393	0,3190	0,3988	0,4785	0,5591	0,6389	0,7186	0,7983	0,8780	0,9577	1,0374	1,1171	1,1968	
6.0	Kg/h	12,412	24,823	37,235	49,646	62,058	74,469	86,881	99,292	111,704	124,115	136,527	148,938	161,350	173,761	186,173	
	P. Carga	0,0354	0,0709	0,1063	0,1418	0,1821	0,2174	0,2527	0,2880	0,3233	0,3586	0,3939	0,4292	0,4645	0,4998	0,5351	

Tabla 7.
Pérdidas de carga del fuelóleo 1 en Kg/cm² por 100 m de tubería (Continuación)

Velocidad (m/s)		0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0
Temperatura del Fuelóleo (75 °C)																
Dímetro (Pulgadas)																
1,0	Kg/h	345	690	1.034	1.379	1.724	2.069	2.413	2.758	3.103	3.448	3.792	4.137	4.482	4.827	5.171
	P. Carga	0,4219	0,8437	1,2656	1,6874	2,1093	2,5311	2,9530	3,3748	3,7967	4,2185	4,6404	5,0622	5,4841	5,9059	6,3278
1,5	Kg/h	776	1.551	2.327	3.103	3.879	4.654	5.430	6.206	6.981	7.757	8.533	9.309	10.084	10.860	11.636
	P. Carga	0,1875	0,3750	0,5625	0,7500	0,9375	1,1249	1,4186	1,7692	2,1483	2,5776	3,0068	3,4965	4,0088	4,5395	5,0851
2,0	Kg/h	1.379	2.758	4.137	5.516	6.895	8.274	9.653	11.032	12.412	13.791	15.170	16.549	17.928	19.307	20.686
	P. Carga	0,1055	0,2109	0,3164	0,4219	0,5498	0,7464	0,9610	1,2014	1,4637	1,7511	2,0510	2,3803	2,7344	3,1026	3,4986
2,5	Kg/h	2.155	4.310	6.464	8.619	10.774	12.929	15.083	17.238	19.393	21.548	23.703	25.857	28.012	30.167	32.322
	P. Carga	0,0675	0,1350	0,2025	0,2815	0,4062	0,5527	0,7139	0,8965	1,0893	1,3056	1,5323	1,7752	2,0455	2,3173	2,6098
3,0	Kg/h	3.103	6.206	9.309	12.412	15.514	18.617	21.720	24.823	27.926	31.029	34.132	37.235	40.337	43.440	46.543
	P. Carga	0,0469	0,0937	0,1406	0,2197	0,3175	0,4337	0,5606	0,7053	0,8586	1,0273	1,2091	1,3986	1,6099	1,8304	2,0592
4,0	Kg/h	5.516	11.032	16.549	22.065	27.581	33.097	38.614	44.130	49.646	55.162	60.679	66.195	71.711	77.227	82.744
	P. Carga	0,0264	0,0527	0,0927	0,1490	0,2171	0,2950	0,3844	0,4819	0,5900	0,7074	0,8306	0,9683	1,1127	1,2630	1,4184
6,0	Kg/h	12.412	24.823	37.235	49.646	62.058	74.469	86.881	99.292	111.704	124.115	136.527	148.938	161.350	173.761	186.173
	P. Carga	0,0117	0,0233	0,0538	0,0874	0,1272	0,1740	0,2265	0,2854	0,3499	0,4203	0,4944	0,5749	0,6589	0,7505	0,8458
Temperatura del Fuelóleo (100 °C)																
Dímetro (Pulgadas)																
1,0	Kg/h	345	690	1.034	1.379	1.724	2.069	2.413	2.758	3.103	3.448	3.792	4.137	4.482	4.827	5.171
	P. Carga	0,1841	0,3681	0,5522	0,7362	1,0576	1,4322	1,8670	2,3310	2,8594	3,4181	4,0172	4,6799	5,3504	6,0954	6,8711
1,5	Kg/h	776	1.551	2.327	3.103	3.879	4.654	5.430	6.206	6.981	7.757	8.533	9.309	10.084	10.860	11.636
	P. Carga	0,0818	0,1636	0,2622	0,4244	0,6164	0,8338	1,0891	1,3627	1,6718	1,9985	2,3617	2,7434	3,1566	3,5877	4,0344
2,0	Kg/h	1.379	2.758	4.137	5.516	6.895	8.274	9.653	11.032	12.412	13.791	15.170	16.549	17.928	19.307	20.686
	P. Carga	0,0460	0,0920	0,1778	0,2869	0,4203	0,5724	0,7448	0,9369	1,1460	1,3798	1,6272	1,8962	2,1780	2,4711	2,7894
2,5	Kg/h	2.155	4.310	6.464	8.619	10.774	12.929	15.083	17.238	19.383	21.548	23.703	25.857	28.012	30.167	32.322
	P. Carga	0,0294	0,0672	0,1321	0,2143	0,3138	0,4277	0,5574	0,7029	0,8624	1,0310	1,2204	1,4201	1,6288	1,8561	2,0929
3,0	Kg/h	3.103	6.206	9.309	12.412	15.514	18.617	21.720	24.823	27.926	31.029	34.132	37.235	40.337	43.440	46.543
	P. Carga	0,0205	0,0523	0,1034	0,1688	0,2475	0,3379	0,4393	0,5559	0,6808	0,8172	0,9662	1,1229	1,2942	1,4755	1,6690
4,0	Kg/h	5.516	11.032	16.549	22.065	27.581	33.097	38.614	44.130	49.646	55.162	60.679	66.195	71.711	77.227	82.744
	P. Carga	0,0115	0,0359	0,0709	0,1160	0,1699	0,2332	0,3037	0,3833	0,4709	0,5673	0,6695	0,7817	0,8996	1,0228	1,1583
6,0	Kg/h	12.412	24.823	37.235	49.646	62.058	74.469	86.881	99.292	111.704	124.115	136.527	148.938	161.350	173.761	186.173
	P. Carga	0,0065	0,0209	0,0418	0,0687	0,1010	0,1387	0,1819	0,2286	0,2818	0,3385	0,4012	0,4673	0,5406	0,6155	0,6960

Tabla 8.
Pérdidas de carga del fuelóleo 2 en Kg/cm² por 100 m de tubería

Velocidad (m/s)	Temperatura del Fuelóleo (25 °C)														
	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0
1.0															
P. Carga															
1.5															
P. Carga															
2.0															
P. Carga															
2.5															
P. Carga															
3.0															
P. Carga															
4.0															
P. Carga															
6.0															
P. Carga															

Velocidad (m/s)	Temperatura del Fuelóleo (50 °C)														
	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0
1.0															
P. Carga															
1.5															
P. Carga															
2.0															
P. Carga															
2.5															
P. Carga															
3.0															
P. Carga															
4.0															
P. Carga															
6.0															
P. Carga															

Tabla 8.
Pérdidas de carga del fuelóleo 2 en Kg/cm² por 100 m de tubería (Continuación)

Velocidad (m/s)	Temperatura del Fuelóleo (75 °C)															
	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0	
Diámetro (Pulgadas)																
1,0	Kg/h	345	690	1.034	1.379	1.724	2.069	2.413	2.758	3.103	3.448	3.792	4.137	4.482	4.827	5.171
P. Carga		0,7703	1,5407	2,3110	3,0813	3,8516	4,6220	5,3923	6,1626	6,9329	7,7033	8,4736	9,2439	10,0142	10,7845	11,5548
1,5	Kg/h	776	1.551	2.327	3.103	3.879	4.654	5.430	6.206	6.981	7.757	8.533	9.309	10.084	10.860	11.636
P. Carga		0,3424	0,6847	1,0271	1,3695	1,7118	2,0542	2,3966	2,7389	3,0813	3,4237	3,7660	4,1084	4,4508	4,7932	5,1355
2,0	Kg/h	1.379	2.758	4.137	5.516	6.895	8.274	9.653	11.032	12.412	13.791	15.170	16.549	17.928	19.307	20.686
P. Carga		0,1926	0,3852	0,5777	0,7703	0,9629	1,1555	1,3481	1,5407	1,7328	1,9254	2,1179	2,3104	2,5029	2,6954	2,8879
2,5	Kg/h	2.155	4.310	6.464	8.619	10.774	12.929	15.083	17.238	19.393	21.548	23.703	25.857	28.012	30.167	32.322
P. Carga		0,1233	0,2465	0,3698	0,4930	0,6163	0,7395	0,8628	0,9861	1,1094	1,2327	1,3560	1,4793	1,6026	1,7259	1,8492
3,0	Kg/h	3.103	6.206	9.309	12.412	15.514	18.617	21.720	24.823	27.926	31.029	34.132	37.235	40.337	43.440	46.543
P. Carga		0,0856	0,1712	0,2568	0,3424	0,4280	0,5136	0,5992	0,6848	0,7704	0,8560	0,9416	1,0272	1,1128	1,1984	1,2840
4,0	Kg/h	5.516	11.032	16.549	22.065	27.581	33.097	38.614	44.130	49.646	55.162	60.679	66.195	71.711	77.227	82.744
P. Carga		0,0481	0,0963	0,1444	0,2166	0,2912	0,3658	0,4404	0,5150	0,5896	0,6642	0,7388	0,8134	0,8880	0,9626	1,0372
6,0	Kg/h	12.412	24.823	37.235	49.646	62.058	74.469	86.881	99.292	111.704	124.115	136.527	148.938	161.350	173.761	186.173
P. Carga		0,0214	0,0428	0,0642	0,0916	0,1190	0,1464	0,1738	0,2012	0,2286	0,2560	0,2834	0,3108	0,3382	0,3656	0,3930
Temperatura del Fuelóleo (100 °C)																
1,0	Kg/h	345	690	1.034	1.379	1.724	2.069	2.413	2.758	3.103	3.448	3.792	4.137	4.482	4.827	5.171
P. Carga		0,3028	0,6055	0,9083	1,2111	1,5139	1,8166	2,1194	2,4221	2,7249	3,0276	3,3304	3,6331	3,9359	4,2386	4,5414
1,5	Kg/h	776	1.551	2.327	3.103	3.879	4.654	5.430	6.206	6.981	7.757	8.533	9.309	10.084	10.860	11.636
P. Carga		0,1346	0,2691	0,4037	0,5383	0,6729	0,8075	0,9421	1,0767	1,2113	1,3459	1,4805	1,6151	1,7497	1,8843	2,0189
2,0	Kg/h	1.379	2.758	4.137	5.516	6.895	8.274	9.653	11.032	12.412	13.791	15.170	16.549	17.928	19.307	20.686
P. Carga		0,0757	0,1514	0,2271	0,3384	0,4903	0,6657	0,8649	1,0848	1,3276	1,5830	1,8645	2,1584	2,4858	2,8280	3,1834
2,5	Kg/h	2.155	4.310	6.464	8.619	10.774	12.929	15.083	17.238	19.393	21.548	23.703	25.857	28.012	30.167	32.322
P. Carga		0,0484	0,0969	0,1453	0,2180	0,2944	0,3744	0,4578	0,5446	0,6348	0,7284	0,8254	0,9258	1,0296	1,1368	1,2474
3,0	Kg/h	3.103	6.206	9.309	12.412	15.514	18.617	21.720	24.823	27.926	31.029	34.132	37.235	40.337	43.440	46.543
P. Carga		0,0336	0,0673	0,1010	0,1472	0,1972	0,2508	0,3079	0,3685	0,4326	0,4999	0,5704	0,6441	0,7210	0,8013	0,8850
4,0	Kg/h	5.516	11.032	16.549	22.065	27.581	33.097	38.614	44.130	49.646	55.162	60.679	66.195	71.711	77.227	82.744
P. Carga		0,0189	0,0378	0,0567	0,0826	0,1145	0,1524	0,1963	0,2463	0,3034	0,3676	0,4389	0,5172	0,6025	0,6948	0,7941
6,0	Kg/h	12.412	24.823	37.235	49.646	62.058	74.469	86.881	99.292	111.704	124.115	136.527	148.938	161.350	173.761	186.173
P. Carga		0,0084	0,0168	0,0252	0,0378	0,0516	0,0668	0,0836	0,1020	0,1220	0,1436	0,1668	0,1916	0,2180	0,2460	0,2756

Tabla 9 Pérdidas de carga en m por cada 100 m de longitud de tubo y para tubos con rugosidad absoluta de 0,1 mm y agua fría a 12 °C

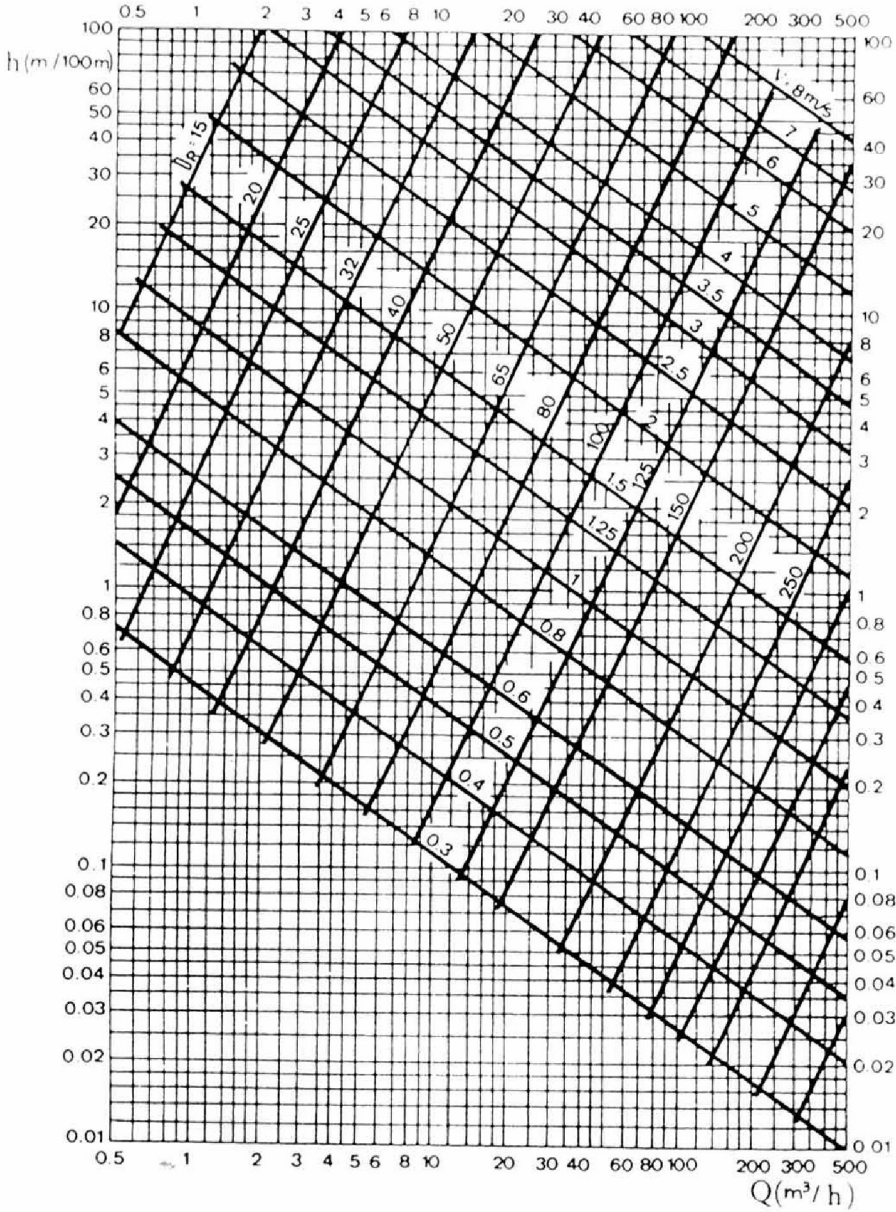


Tabla 9 Pérdidas de carga en m por cada 100 m de longitud de tubo
y para tubos con rugosidad absoluta de 0,1 mm y agua fría a
12 °C (Continuación)

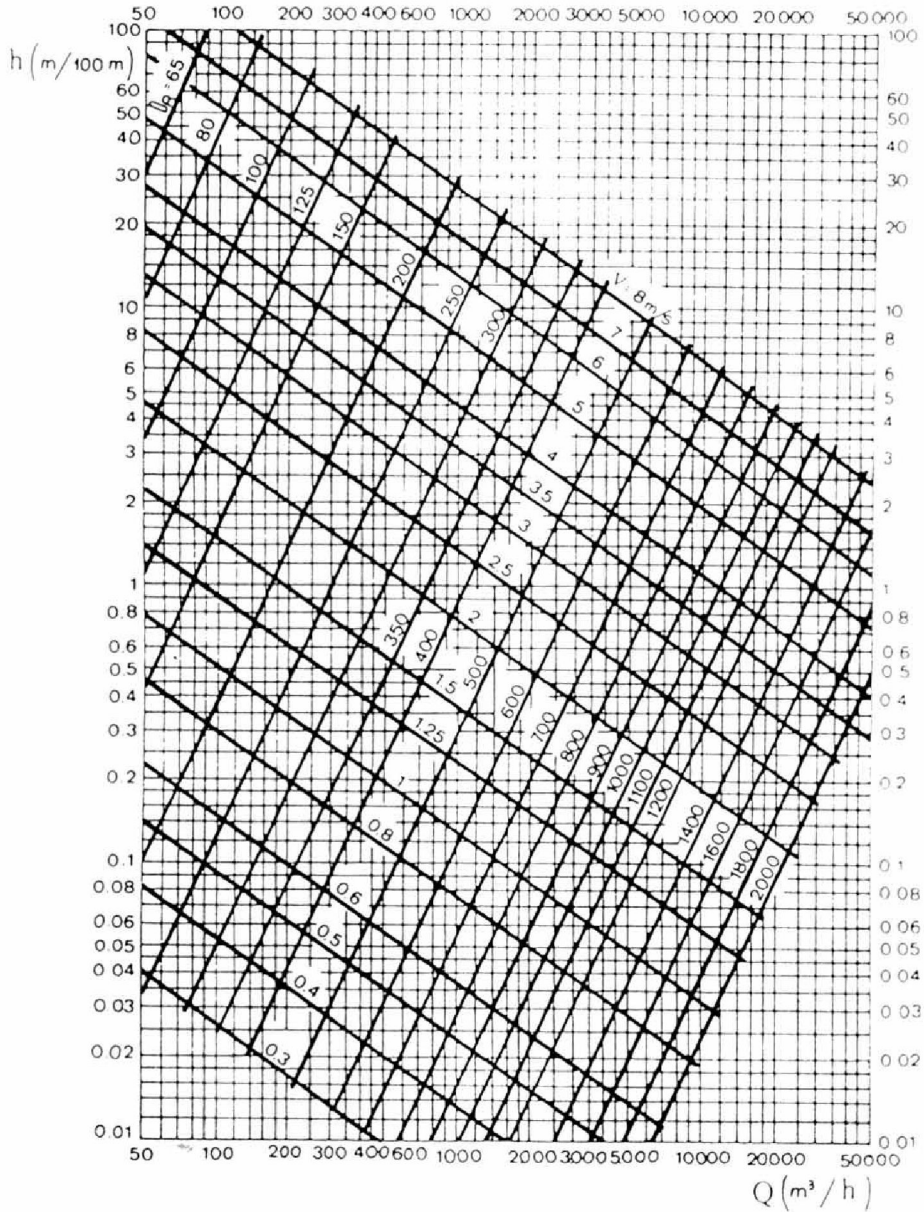


Tabla 10 Coeficientes multiplicadores de las pérdidas de carga para tubos con rugosidades absolutas diferentes a 0,1 mm

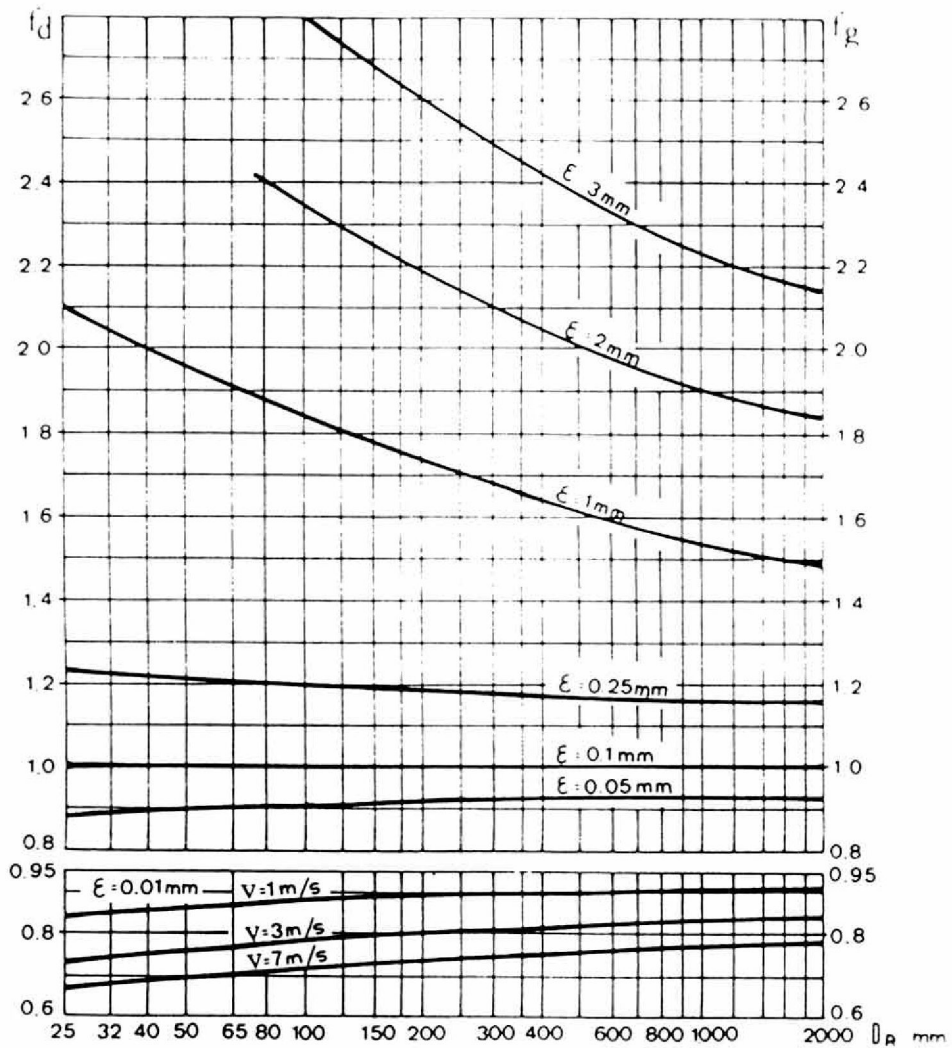
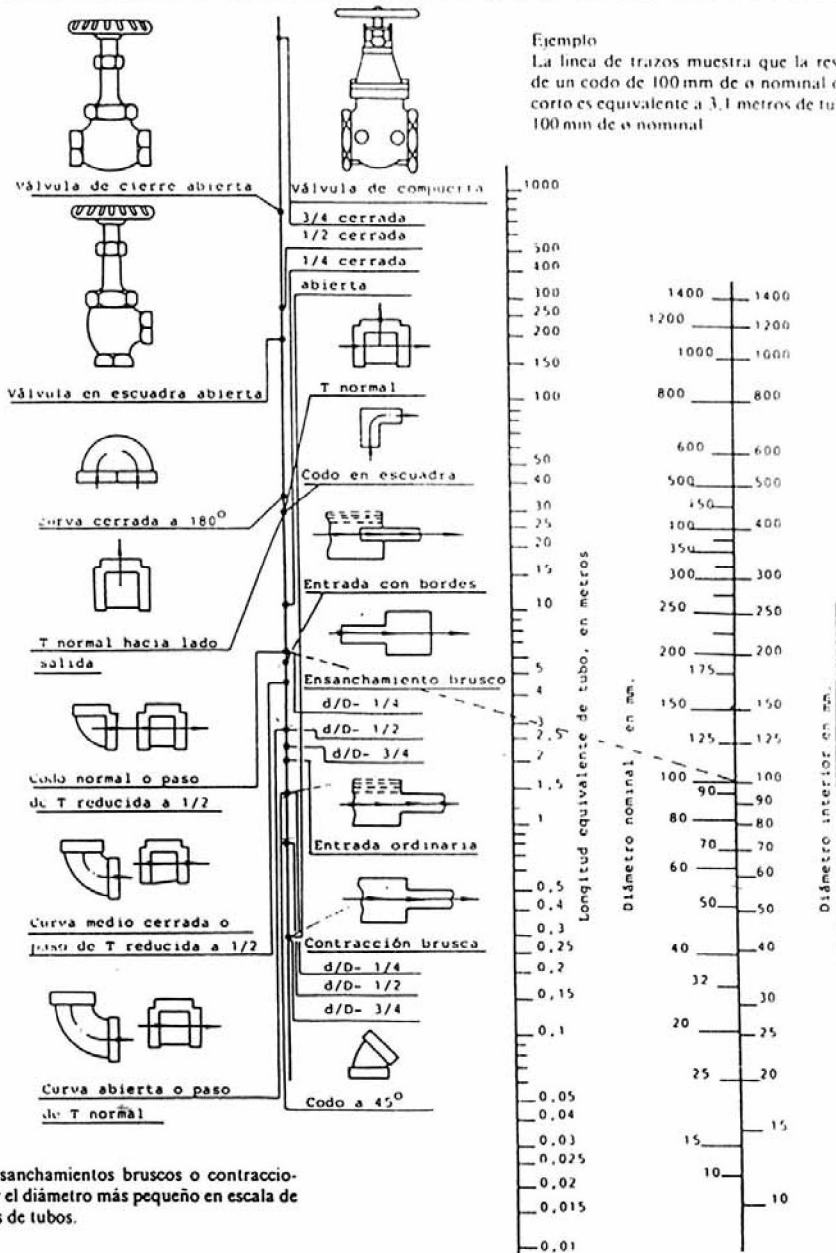


Tabla 11 Pérdidas de carga en accesorios expresadas en longitud equivalente de tubería

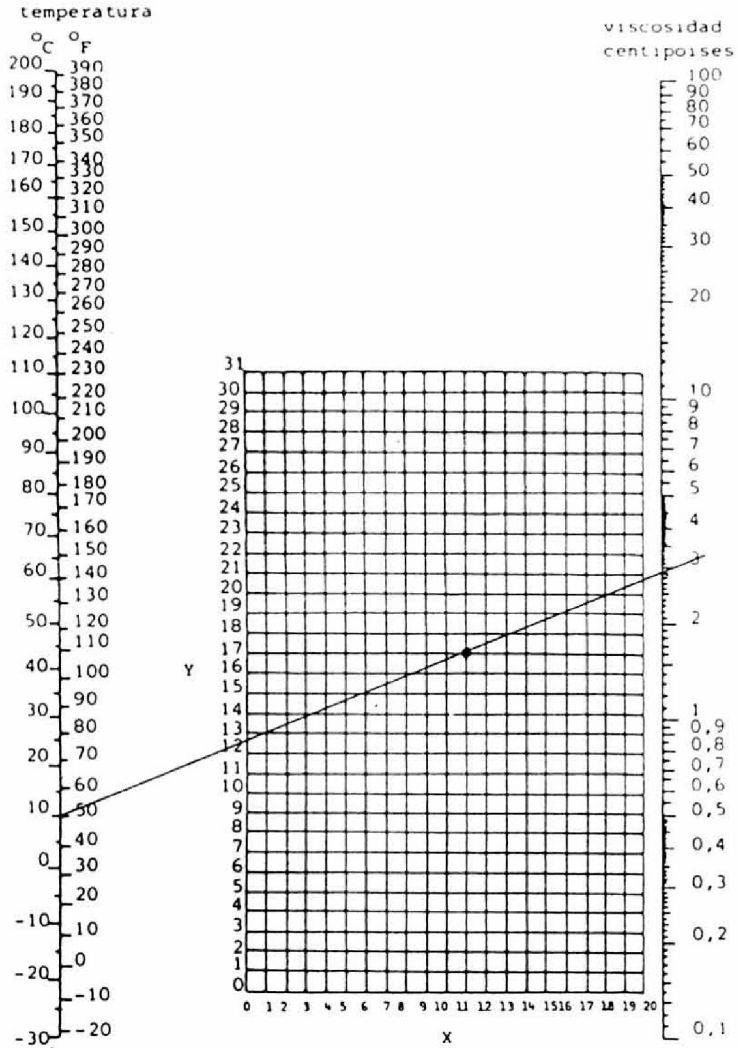


Nota:
 Para ensanchamientos bruscos o contracciones usar el diámetro más pequeño en escala de medidas de tubos.

Tabla 12 Valores de viscosidades absolutas (en centipoises)

N°	LIQUIDO	X	Y	N°	LIQUIDO	X	Y
1	Aceite de linaza crudo	7,5	27,2	56	Sulfúrico	15,2	12,4
2	Acetato, amilico	11,8	12,5	57	Cresol, meta	2,5	20,8
3	Butílico	12,3	11,0	58	Dibromoctano	12,7	15,8
4	Etilico	13,7	9,1	59	Dicloroctano	13,2	12,2
5	Metílico	14,2	8,2	60	Diclorometano	14,6	8,9
6	Binílico	14,0	8,8	61	Difenilo	12,0	18,3
7	Acetona, 100 %	14,5	7,2	62	Eter etílico	14,5	5,3
8	Acetona, 35 %	7,9	15,0	63	Etilbenceno	13,2	11,5
9	Acido, acético, 100 %	12,1	14,2	64	Etilenglicol	6,0	23,6
10	Acético, 70 %	9,5	17,0	65	Fenol	6,9	20,8
11	Butínico	12,1	15,3	66	Formiato de etilo	14,2	8,4
12	Clorhídrico, 31,5 %	13,0	16,6	67	Freon-11	14,4	9,0
13	Clorosulfónico	11,2	18,1	68	Freon-12	16,8	5,6
14	Fórmico	10,7	15,8	69	Freon-21	15,7	7,5
15	Isobutírico	12,2	14,4	70	Freon-22	17,2	4,7
16	Nitríco, 95 %	12,8	13,8	71	Freon-113	12,5	11,4
17	Nitríco, 60 %	10,8	17,0	72	Glicerina, 100 %	2,0	30,0
18	Propiónico	12,8	13,8	73	Glicerina, 50 %	6,9	19,6
19	Sulfúrico, 110 %	7,2	27,4	74	Heptano	14,1	8,4
20	Sulfúrico, 98 %	7,0	24,8	75	Hexano	14,7	7,0
21	Sulfúrico, 60 %	10,2	21,3	76	Hidróxido sódico, 50 %	3,2	25,8
22	Agua	10,2	13,0	77	Ioduro de, etilo	14,7	10,3
23	Alcohol, alílico	10,2	14,3	78	Propilo	14,1	11,6
24	Amilico	7,5	18,4	79	Keroseno	10,2	16,9
25	Butílico	8,6	17,2	80	Mercurio	18,4	16,4
26	Etilico, 100 %	10,5	13,8	81	Metanol, 100 %	12,4	10,5
27	Etilico, 95 %	9,8	14,3	82	Metanol, 90 %	12,3	11,8
28	Etilico, 40 %	6,5	16,6	83	Metanol, 40 %	7,8	15,5
29	Isobutílico	7,1	18,0	84	Metileilcetona	13,9	8,6
30	Isopropílico	8,2	16,0	85	Naftaleno	7,9	18,1
31	Octílico	6,6	21,1	86	Nitrobenzeno	10,6	16,2
32	Propílico	9,1	16,5	87	Nitrotolueno	11,0	17,0
33	Aldehído acético	15,2	4,8	88	Octano	13,7	10,0
34	Amoniaco, 100 %	12,6	2,0	89	Oxalato, dietílico	11,0	16,4
35	Amoniaco, 26 %	10,1	13,9	90	Dimetílico	12,3	15,8
36	Anhidrido, acético	12,7	12,8	91	Dipropílico	10,3	17,7
37	Carbónico	11,6	0,3	92	Pentacloroetano	10,9	17,3
38	Sulfuroso	15,2	7,1	93	Pentano	14,9	5,2
39	Anilina	8,1	18,7	94	Salmuera, Cl ₂ Ca, 25 %	6,6	15,9
40	Anisol	12,3	13,5	95	Salmuera, ClNa, 25 %	10,2	16,6
41	Benceno	12,5	10,9	96	Sodio	16,4	13,9
42	Bromo	14,2	13,2	97	Sulfuro de carbono	16,1	7,5
43	Bromo tolueno	20,0	15,9	98	Tetracloroetano	11,9	15,7
44	Bromuro de, etilo	14,5	8,1	99	Tetracloroetileno	14,2	12,7
45	Propilo	14,5	9,6	100	Tetracloruro de, carbono	12,7	13,1
46	Ciclohexanol	2,9	24,3	101	Titanio	14,4	12,3
47	Clorobenceno	12,3	12,4	102	Tolueno	13,7	10,4
48	Cloroformo	14,4	10,2	103	Tribromuro de fósforo	13,8	16,7
49	Clorotolueno, orto	13,0	13,3	104	Ticloroetileno	14,8	10,5
50	Clorotolueno, meta	13,3	12,5	105	Ticloruro de, arsénico	13,9	14,5
51	Clorotolueno, para	13,3	12,5	106	Fósforo	16,2	10,9
52	Cloruro de, etilo	14,8	6,0	107	Turpentina	11,5	14,9
53	Metilo	15,0	3,8	108	Xileno, orto	13,5	12,1
54	Propilo	14,4	7,5	109	Xileno, meta	13,9	10,6
55	Estannico	13,5	12,8	110	Xileno, para	13,9	10,9

Tabla 12 Valores de viscosidades absolutas (en centipoises) (Continuación)



Ejemplo: Determinar la viscosidad absoluta del nitrotolueno a 10°C.

Valor obtenido: 2,9 centipoises

Tabla 13 Viscosidad absoluta y cinemática de agua (Poises y Stokes)

°C	POISES	STOKES	°C	POISES	STOKES
0	0,01793	0,01793	50	0,00547	0,00554
2	0,01674	0,01674	60	0,00468	0,00476
4	0,01568	0,01568	70	0,00404	0,00413
6	0,01474	0,01474	80	0,00353	0,00363
8	0,01386	0,01386	90	0,00313	0,00324
10	0,01307	0,01307	100	0,00282	0,00294
12	0,01235	0,01236	110	0,00256	0,00269
14	0,01169	0,01170	120	0,00234	0,00248
16	0,01108	0,01109	130	0,00216	0,00231
18	0,01053	0,01055	140	0,00201	0,00217
20	0,01002	0,01004	150	0,00187	0,00204
22	0,00955	0,00957	160	0,00175	0,00193
24	0,00911	0,00914	170	0,00164	0,00183
26	0,00870	0,00873	180	0,00154	0,00174
28	0,00833	0,00836	190	0,00146	0,00167
30	0,00798	0,00802	200	0,00139	0,00161
32	0,00765	0,00769	210	0,00132	0,00155
34	0,00734	0,00738	220	0,00126	0,00150
36	0,00706	0,00711	230	0,00120	0,00145
38	0,00679	0,00684	240	0,00115	0,00141
40	0,00653	0,00658	250	0,00110	0,00138

Tabla 14 Equivalencias entre unidades de viscosidad cinemática

	stoke (cm ² /s)	m ² /h	ft ² /s	ft ² /h	m ² /s
1 stoke	1	0,36	0,00107639	3,87501	0,0001
1 m ² /h	2,77778	1	0,00298998	10,7639	0,000277778
1 ft ² /s	929,030	334,451	1	3.600	0,092903
1 ft ² /h	0,258064	0,092903	0,000277778	1	0,0000258
1 m ² /s	10.000	3.600	10,7639	38.750,1	1

Visc. cinemática = visc. abs/densidad (en unidades verdaderas).

Visc. cinemática = visc. abs × acel. gravedad/peso especif. (en unidades verdaderas).

Tabla 15 Tensión de vapor, calor en el líquido y volumen específico del agua líquida

t °C	T K	p _D bar	ρ kg/dm ³	t °C	T K	p _D bar	ρ kg/dm ³	t °C	T K	p _D bar	ρ kg/dm ³
0	273,15	0,00611	0,9998					138	411,15	3,414	0,9276
1	274,15	0,00657	0,9999	61	334,15	0,2086	0,9826	140	413,15	3,614	0,9258
2	275,15	0,00706	0,9999	62	335,15	0,2184	0,9821	145	418,15	4,155	0,9214
3	276,15	0,00758	0,9999	63	336,15	0,2286	0,9816	150	423,15	4,760	0,9168
4	277,15	0,00813	1,0000	64	337,15	0,2391	0,9811	155	428,15	5,433	0,9121
5	278,15	0,00872	1,0000	65	338,15	0,2501	0,9805	160	433,15	6,181	0,9073
6	279,15	0,00935	1,0000	66	339,15	0,2615	0,9799	165	438,15	7,008	0,9024
7	280,15	0,01001	0,9999	67	340,15	0,2733	0,9793	170	443,15	7,920	0,8973
8	281,15	0,01072	0,9999	68	341,15	0,2856	0,9788	175	448,15	8,924	0,8921
9	282,15	0,01147	0,9998	69	342,15	0,2984	0,9782	180	453,15	10,027	0,8869
10	283,15	0,01227	0,9997	70	343,15	0,3116	0,9777	185	458,15	11,233	0,8815
11	284,15	0,01312	0,9997	71	344,15	0,3253	0,9770	190	463,15	12,551	0,8760
12	285,15	0,01401	0,9996	72	345,15	0,3396	0,9765	195	468,15	13,987	0,8704
13	286,15	0,01497	0,9994	73	346,15	0,3543	0,9760	200	473,15	15,55	0,8647
14	287,15	0,01597	0,9993	74	347,15	0,3696	0,9753	205	478,15	17,243	0,8588
15	288,15	0,01704	0,9992	75	348,15	0,3855	0,9748	210	483,15	19,077	0,8528
16	289,15	0,01817	0,9990	76	349,15	0,4019	0,9741	215	488,15	21,060	0,8467
17	290,15	0,01936	0,9988	77	350,15	0,4189	0,9735	220	493,15	23,198	0,8403
18	291,15	0,02062	0,9987	78	351,15	0,4365	0,9729	225	498,15	25,501	0,8339
19	292,15	0,02196	0,9985	79	352,15	0,4547	0,9723	230	503,15	27,976	0,8273
20	293,15	0,02337	0,9983	80	353,15	0,4736	0,9716	235	508,15	30,632	0,8206
21	294,15	0,02485	0,9981	81	354,15	0,4931	0,9710	240	513,15	33,478	0,8136
22	295,15	0,02642	0,9978	82	355,15	0,5133	0,9704	245	518,15	36,523	0,8065
23	296,15	0,02808	0,9976	83	356,15	0,5342	0,9697	250	523,15	39,776	0,7992
24	297,15	0,02982	0,9974	84	357,15	0,5557	0,9691	255	528,15	43,246	0,7916
25	298,15	0,03166	0,9971	85	358,15	0,5780	0,9684	260	533,15	46,943	0,7839
26	299,15	0,03360	0,9968	86	359,15	0,6011	0,9678	265	538,15	50,877	0,7759
27	300,15	0,03564	0,9966	87	360,15	0,6249	0,9671	270	543,15	55,058	0,7678
28	301,15	0,03778	0,9963	88	361,15	0,6495	0,9665	275	548,15	59,496	0,7593
29	302,15	0,04004	0,9960	89	362,15	0,6749	0,9658	280	553,15	64,202	0,7506
30	303,15	0,04241	0,9957	90	363,15	0,7011	0,9652	285	558,15	69,186	0,7415
31	304,15	0,04491	0,9954	91	364,15	0,7281	0,9644	290	563,15	74,461	0,7321
32	305,15	0,04753	0,9951	92	365,15	0,7561	0,9638	295	568,15	80,037	0,7223
33	306,15	0,05029	0,9947	93	366,15	0,7849	0,9630	300	573,15	85,927	0,7122
34	307,15	0,05318	0,9944	94	367,15	0,8146	0,9624	305	578,15	92,144	0,7017
35	308,15	0,05622	0,9940	95	368,15	0,8453	0,9616	310	583,15	98,700	0,6906
36	309,15	0,05940	0,9937	96	369,15	0,8769	0,9610	315	588,15	105,61	0,6791
37	310,15	0,06274	0,9933	97	370,15	0,9094	0,9602	320	593,15	112,89	0,6669
38	311,15	0,06624	0,9930	98	371,15	0,9430	0,9596	325	598,15	120,56	0,6541
39	312,15	0,06991	0,9927	99	372,15	0,9776	0,9588	330	603,15	128,63	0,6404
40	313,15	0,07375	0,9923	100	373,15	1,0133	0,9581	340	613,15	146,05	0,6102
41	314,15	0,07777	0,9919	102	375,15	1,0878	0,9567	350	623,15	165,35	0,5743
42	315,15	0,08198	0,9915	104	377,15	1,1668	0,9552	360	633,15	186,75	0,5275
43	316,15	0,08639	0,9911	106	379,15	1,2504	0,9537	370	643,15	210,54	0,4518
44	317,15	0,09100	0,9907	108	381,15	1,3390	0,9522	374,15	647,30	221,2	0,3154
45	318,15	0,09582	0,9902	110	383,15	1,4327	0,9507				
46	319,15	0,10086	0,9898	112	385,15	1,5316	0,9491				
47	320,15	0,10612	0,9894	114	387,15	1,6362	0,9476				
48	321,15	0,11162	0,9889	116	389,15	1,7465	0,9460				
49	322,15	0,11736	0,9884	118	391,15	1,8628	0,9445				
50	323,15	0,12335	0,9880	120	393,15	1,9854	0,9429				
51	324,15	0,12961	0,9876								
52	325,15	0,13613	0,9871	122	395,15	2,1145	0,9412				
53	326,15	0,14293	0,9866	124	397,15	2,2504	0,9396				
54	327,15	0,15002	0,9862	126	399,15	2,3933	0,9379				
55	328,15	0,15741	0,9857	128	401,15	2,5435	0,9362				
56	329,15	0,16511	0,9852	130	403,15	2,7013	0,9346				
57	330,15	0,17313	0,9846								
58	331,15	0,18147	0,9842	132	405,15	2,8670	0,9328				
59	332,15	0,19016	0,9837	134	407,15	3,041	0,9311				
60	333,15	0,19920	0,9832	136	409,15	3,223	0,9294				

Tabla 16 Tensión de vapor en varios líquidos

Temperatura	Tensión de vapor p_v en bar																	
	Etano C_2H_6	Acetona $(CH_3)_2CO$	Amoníaco NH_3	Alcohol etílico C_2H_5OH	Butano-n C_4H_{10}	Butano-i C_4H_{10}	Bencol C_6H_6	Anilina $C_6H_5NH_2$	Eter $C_2H_5OC_2H_5$	Acido fórmico CH_2O_2	Acido acético $C_2H_4O_2$	Propano-n C_3H_8	Alcohol metílico CH_3O	Dicloro de azufre SO_2	Acido sulfúrico H_2SO_4	Sulfuro de carbono CS_2	Tolueno C_7H_8	Tetracloruro de carbono CCl_4
50	223	5,517	0,00319	0,409		0,103					0,0127		0,707		0,1157			
40	229	5,574		0,545									0,890		0,1598			
40	233	7,776		0,718		0,179				0,0255			1,115		0,2157			
30	238	8,129		0,932									1,379		0,2883			
20	243	10,65	0,0149	1,195		0,294	0,483			0,050			1,672		0,3805	0,0335		
20	248	12,34		1,516									2,017		0,4942			
10	250	14,23	0,0293	1,902		0,469	0,748			0,0883			2,423		0,6355	0,0609		0,0129
10	258	16,31		2,363									2,889		0,8071			0,0180
10	263	18,59	0,0516	2,909		0,691	1,103			0,150			3,405		1,014	0,1047		0,0246
0	258	21,10		3,549									4,015		1,2611			0,0330
0	273	23,76	0,0856	4,294	0,0159	1,039	1,613	0,0354		0,247	0,0044	4,684	0,0381	1,554	0,1697			0,0439
0	278	26,86	0,115	5,157						0,311			5,453		1,899			0,0576
10	283	30,16	0,1542	6,149	0,0306	1,50	2,201	0,0606		0,389	0,0245	0,0085	6,339	0,0699	2,302	0,2648	0,017	0,0746
10	286	33,76	0,195	7,283						0,481			7,298		2,768			0,0956
20	293	37,75	0,246	8,572	0,0568	2,069	3,119	0,0996		0,589	0,0419	0,0156	8,334	0,1227	3,305	0,3996	0,0298	0,1213
20	298	42,15	0,306	10,03						0,716			9,489		3,9197			0,1527
30	303	47,07	0,377	11,67	0,1008	2,824	4,232	0,1578		0,864	0,0688	0,0275	10,807	0,2068	4,619	0,5848	0,0489	0,1907
30	308		0,462	13,498									12,219		5,411			0,2349
40	313		0,562	15,54	0,1722	3,765	5,609	0,2412		1,228	0,1097	0,0464	13,739	0,336	6,303	0,8306	0,0784	0,2876
40	318		0,681	17,81									15,455		7,303			0,3499
50	323		0,817	20,33	0,2836	4,98	7,257	0,3589	0,00319	1,702	0,1696	0,0754	17,269	0,5283	8,417	1,1466	0,121	0,4228
50	328																	0,5057
50	333		1,118		0,4519	6,37	9,267	0,5188	0,0075	2,306	0,2549	0,1186	20,89	0,8095		1,549	0,1863	0,6010
50	338																	0,7078
70	343		1,55		0,6979	8,14	11,719	0,7301	0,0139	3,061	0,3733	0,1812	25,79	1,1954		0,2689	0,8296	
70	348																	
80	353		2,08		1,047	10,198		1,0052	0,0239	3,991	0,533	0,269	31,38	1,7298		2,6998	0,3818	1,1169
80	358												34,127					
90	363		2,76		1,531	12,55		1,355	0,0389	5,121	0,7439	0,3915	36,579	2,445			0,5369	1,4828
90	368												39,91					
100	373		3,599		2,184	15,396		1,795	0,0609	6,478	1,0159	0,556		3,384		4,333	0,7354	1,9505
100	378																	
110	383		4,65		3,045	18,34		2,331	0,0922	8,092		0,774		4,595			0,9924	2,5164
110	388																	
120	393		5,89		4,159	21,77		2,984	0,1327	9,992		1,059		6,131		6,999	1,267	3,1911
120	398																	
130	403		7,38		5,572	25,89		3,766	0,1926	12,209		1,423		8,050			1,7407	3,956
130	408																	
140	413		9,149		29,52			4,694	0,2719	14,768		1,885				10,399	2,2457	4,945
140	418																	
150	423		11,28		34,52		5,776	0,3839		17,711		2,499					2,824	6,073

6

**NUEVAS
ELECTROTECNOLOGÍAS**

INDICE

**NUEVAS
ELECTROTECNOLOGÍAS**

1.- TECNOLOGÍA LÁSER	127
1.1.- Aplicaciones de la tecnología láser	127
1.1.1.- Corte	127
1.1.2.- Perforado.....	128
1.1.3.- Soldadura	129
1.1.4.- Temple.....	130
1.1.5.- Recubrimiento y aleación superficial.....	131
1.1.6.- Marcado	131
1.1.7.- Otras aplicaciones	131
2.- TECNOLOGÍAS DE PLASMA.....	132
2.1.- Aplicaciones de las tecnologías de plasma	132
2.1.1.- Corte.....	132
2.1.2.- Soldadura	133
2.1.3.- Otras aplicaciones	134

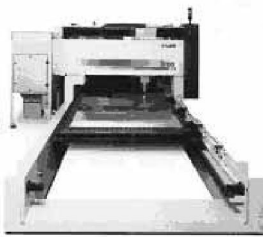
1. LA TECNOLOGÍA LÁSER

LASER es un acrónimo de "Light Amplification by the Stimulated Emission of Radiation". Cuando la energía de un haz láser se focaliza sobre una pieza de trabajo, una parte de la misma es absorbida en forma de calor. Este calor se emplea para realizar diferentes acciones sobre la pieza como fundir o transformar el material. El haz se aplica en una parte muy pequeña de la pieza durante un corto periodo de tiempo y por eso el calor no se transfiere a otras partes del material y no se originan problemas como distorsiones ni tensiones térmicas. El láser ofrece eficiencias de proceso muy elevadas.

1.1 Aplicaciones de la tecnología láser

El láser se aplica en diferentes ámbitos de la industria como:

1.1.1 Corte



Es un proceso térmico donde se focaliza un haz láser en una parte de la pieza a cortar. El láser calienta el material fundiéndolo y evaporándolo. La eliminación del material fundido se hace a través de un flujo de gas coaxial. El movimiento relativo entre la pieza y el láser genera un surco en el material.

Sistema de corte por láser

Este proceso presenta ciertas **ventajas**:

- El proceso tiene lugar sin contacto mecánico con la pieza.
- Se trata de un proceso que admite una fácil automatización.
- El surco de corte producido es muy reducido (0,1-0,5 mm).
- La zona afectada por el calor en el borde de corte es muy reducida.
- Las velocidades de corte obtenibles son altas comparadas con otras tecnologías.

- Es posible el corte de perfiles muy agudos.
- Se pueden cortar gran diversidad de materiales.

Al mismo tiempo el empleo de la técnica láser en el corte materiales tiene algunos **inconvenientes**:

- El coste de los sistemas láser es elevado.
- Se trata de un proceso con buenos resultados dentro de unos determinados límites de espesor del material. Para grandes espesores, la calidad de corte desciende notablemente.

En el proceso de corte son muy importantes aspectos como:

- Tipo de material a cortar.
- Características del haz incidente.
- Variables del proceso.

La calidad y productividad asociadas al corte por láser van a depender de los factores descritos anteriormente. El corte por láser es un procedimiento adecuado para cortar gran diversidad de materiales y geometrías. Entre los materiales que pueden cortarse por láser se encuentran los plásticos, la madera, la goma, tejidos y cuero, los aceros al carbono y los inoxidable, las aleaciones de aluminio y titanio.

1.1.2 Perforado



Sistema de perforado por láser

Como su propio nombre indica esta técnica es empleada para realizar perforaciones mediante un haz láser que incide sobre la pieza de trabajo.

Las **ventajas** del perforado con láser son básicamente similares a las expuestas al principio del apartado de corte. De modo general se puede hablar de una técnica con alto grado de repetibilidad de resultados, capaz de trabajar sobre materiales de difícil mecanizado y con productividades elevadas. Entre las **desventajas** se pueden mencionar fundamentalmente dos:

- El perfil del agujero no se ajusta perfectamente a un cilindro.
- Presencia de material refundido en la superficie de entrada del haz y rebabas en la superficie de salida.

El abanico de aplicaciones es muy amplio: perforado de boquillas de cigarrillos, tetinas de biberones y elementos difusores de aerosoles, agujeros en paletas de turbina, materiales cerámicos...

1.13 Soldadura



Soldadura por láser

En la soldadura se unen dos o más partes de un material por medio del calor, la presión o el efecto combinado de ambos. Existen dos modalidades de soldadura láser:

- Soldadura en modo continuo.
- Soldadura en modo pausado.

La luz láser dirigida sobre la pieza de metal es parcialmente absorbida. La luz absorbida calienta la superficie en el punto de incidencia y el calor penetra en el material por conducción térmica. Si se transfiere suficiente potencia al material, éste puede ser fundido en el punto de interacción y de esta forma producirse una soldadura.

Entre las **ventajas** que presenta la soldadura láser pueden destacarse:

- Distorsión reducida de las piezas soldadas gracias al reducido aporte térmico.
- Zona alterada por el calor pequeña, debido al rápido enfriamiento del baño fundido.
- Buena apariencia externa del cordón de soldadura.
- Proceso de fácil automatización.
- Es posible soldar materiales distintos y algunos materiales de difícil soldabilidad.
- Accesibilidad a áreas no permitidas por otras técnicas.
- Velocidad de soldadura mayor, generalmente, que en otras técnicas.

Sin embargo, esta técnica también tiene algunos **inconvenientes**:

- En materiales con tendencia a templar, los rápidos calentamientos y enfriamientos que se generan en el proceso de soldadura se traducen en una acentuada tendencia al agrietamiento tanto de la unión soldada como de la zona afectada por el calor.

- Las aplicaciones de soldadura involucran generalmente instalaciones de mayor potencia que las de corte y perforado. El coste es alto comparado con algunas tecnologías alternativas.

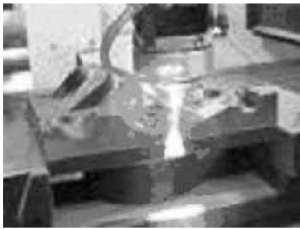
En el proceso de soldadura tienen gran relevancia aspectos como:

- Tipo de material a cortar.
- Características del haz incidente.
- Variables del proceso.

En resumen, la soldadura láser es un procedimiento de unión muy versátil, aplicable a diversos tipos de materiales.

1.1.4 Temple

Un haz láser desfocalizado es barrido sobre la superficie de un material templeable para elevar localmente la temperatura por encima de la temperatura de transformación. El temple superficial de aceros es un proceso utilizado para mejorar las propiedades mecánicas y frente a desgaste de piezas sometidas a procesos erosivos o que sufren grandes esfuerzos. El temple superficial difiere del convencional, en que solamente una delgada zona superficial es calentada por encima de la temperatura de austenización antes de ser enfriada, dejando inalterada la zona interior de la pieza.



Temple por láser

Entre las **ventajas** del proceso destacan:

- La cantidad de calor suministrada a la pieza es baja, lo que minimiza las posibles distorsiones de la misma.
- La profundidad del temple es controlable dentro de ciertos límites. Las propiedades del material permanecen inalteradas.
- Es un proceso que permite el temple selectivo de áreas reducidas sin afectar las propiedades de material adyacente.

También se pueden mencionar las siguientes **desventajas**:

- No es un proceso apto para el temple superficial de grandes áreas.
- Elevado coste de los sistemas láser para realizar tratamientos.

Entre los **factores que influyen** sobre este proceso destacan:

- Tamaño del haz láser sobre la pieza.

- Densidad de potencia.
- Velocidades de avance del haz.
- Propiedades térmicas y templabilidad del material.

1.1.5 Recubrimiento y aleación superficial



Tanto el recubrimiento como la aleación con láser son dos técnicas aplicadas a la modificación superficial de metales para mejorar sus propiedades mecánicas o la resistencia frente al desgaste o la corrosión.

Sistema de recubrimiento por láser

A diferencia de la aplicación de temple, el recubrimiento y la aleación superficial suponen una fusión de la superficie de la pieza y un cambio químico en la misma.

1.1.6 Marcado

La aplicación de marcado se utiliza para producir cambios permanentes en la superficie de diferentes tipos de pieza, al objeto de poder realizar posteriormente una identificación de las mismas.

Las principales **ventajas** del marcado láser son:

- Alto grado de automatización y de velocidad de trabajo.
- Es un procedimiento donde no hay contactos de tipo mecánico.
- Las marcas son indelebles
- Los caracteres, dibujos, etc., pueden ser cambiados o modificados de forma directa, permitiendo una gran flexibilidad.

La principal **desventaja** radica en el elevado coste de los sistemas láser. La justificación económica de un sistema de este tipo ha de buscarse en el mejor control del inventario y de la calidad.

1.1.7 Otras aplicaciones

De las muchas otras aplicaciones que tiene la tecnología láser se podrían destacar:

- Telecomunicaciones
- Holografía
- Ciencia

- Medicina
- Metrología

2. TECNOLOGÍAS DE PLASMA

En el año 1870, al calentar un gas a alta temperatura, se sugirió la existencia de un cuarto estado de la materia: un gas formado por los electrones e iones resultantes de la división de átomos y moléculas individuales de dicho gas a alta temperatura. No obstante pasaron varias décadas hasta que se denominó a este estado con el nombre de plasma o "gas ionizado" compuesto de un número equivalente de iones y electrones libres que, conteniendo o no una cierta cantidad de gas neutro y siendo globalmente eléctricamente neutro, responde de forma colectiva a campos magnéticos y eléctricos.

Las tecnologías de plasma no sólo se utilizan en las denominadas "industrias de alta tecnología", sino también en industrias que utilizan tecnologías más convencionales o tradicionales.

2.1 Aplicaciones de las tecnologías de plasma

Estas tecnologías tienen muchas aplicaciones en diversos procesos industriales entre los que destacan:

2.1.1 Corte



Se trata de un haz de plasma que se utiliza para fundir una zona localizada del material. Este metal fundido se elimina a través de un flujo de gases a alta velocidad. El haz de plasma debe de penetrar completamente en la pieza por lo que se emplean elevadas intensidades de corriente que van desde 30 A en los equipos de baja potencia hasta 1.000 A en equipos de alta potencia.

Máquina de corte por plasma

En general, los equipos de corte por plasma presentan una serie de **ventajas** como:

- Alta velocidad de corte.
- Gran facilidad de manejo.
- Es un proceso perfectamente contrastado.
- La inversión es media-baja.

Los principales inconvenientes de esta técnica son:

- En algunos casos la calidad del acabado no puede competir con otros procesos.
- Es molesto. Por encima de 200 A, en aire, se producen más de 100 dB.
- Además, en aire, se tienen producciones de humos, polvo (lo que exige aspiraciones) y alta radiación luminosa. Este problema y los anteriores pueden eliminarse si se trabaja en inmersión.

Este proceso de corte por plasma en inmersión de agua es una modificación del proceso tradicional y tiene la ventaja de evitar los aspectos polucionantes o molestos del corte por plasma. Además, produce muy poca distorsión y da un corte de buena calidad

Otro inconveniente importante es que al tratarse de un proceso térmico, existirá una zona del material próxima a la zona de corte afectada por el calor, además de la posibilidad de oxidaciones superficiales.

La tecnología de corte por plasma demuestra su **validez tanto técnica como económica en diferentes sectores**, tales como:

- La industria naval es una gran utilizadora del corte por plasma en equipos con inyección y bajo agua.
- La industria del automóvil, bien en construcción, bien en reparación, para el corte de chapas de carrocería.
- En industrias que trabajan con chapa fina de acero de construcción, hasta 10 mm, el plasma ha sustituido en gran medida o ha complementado al corte en cizalla (corte recto). Incluso, en pequeñas series de piezas ha sido capaz de sustituir al corte en prensa por troqueles.
- En calderería, y dada la posibilidad actual de integrar el corte por plasma en un sistema de CAD/CAM.
- En corte de aceros inoxidables, el plasma ha supuesto una gran ventaja para muchos talleres.

2.12 Soldadura



Equipos de soldadura de plasma

Este proceso de unión es una modificación del conocido proceso TIG (tungsten inert gas) y cuyo nombre técnico en terminología anglosajona es el de GTAW (gas tungsten arc welding).

Se trata de un equipamiento TIG con modificaciones en la boquilla, de forma que el gas plasmágeno pase a través de un pequeño orificio y así tener una columna de plasma constreñida. Esta constricción de la columna de plasma hace que los gradientes de temperatura sean muy superiores a los conseguidos en un proceso TIG tradicional, y además aplicados en una menor superficie de las zonas a unir.

Por otro lado, una antorcha de soldadura plasma presenta, además, un gas de protección o cobertura de la zona a soldar.

La soldadura por plasma presenta una serie de **ventajas**:

- Posibilidad de soldar, de una sola pasada, espesores relativamente altos (9 mm en acero y 16 mm en titanio).
- Coste de preparación de juntas reducido.
- Provoca poca distorsión en las piezas.
- Velocidad de soldadura es notable, pudiéndose llegar hasta los 700/800 mm/min.

Al mismo tiempo, esta técnica tiene ciertas **desventajas**:

- La preparación y conducción del proceso, para conseguir una calidad final adecuada, es laboriosa.
- Necesidad de contar con operadores muy preparados.
- La antorcha necesita un buen mantenimiento.
- La posición del soldeo es, en general, horizontal plana.

Este proceso puede utilizarse para soldar varios tipos de materiales,: aluminio, titanio, aceros al carbono, aceros inoxidable, aleaciones de níquel...en **aplicaciones** como:

- Soldadura de piezas y chapa de pequeño espesor en grandes producciones.
- Fabricación de bomba, válvulas, tubos, tanques...

2.13 Otras aplicaciones

De las muchas otras aplicaciones que tiene la tecnología asistida por plasma se podrían destacar:

- Fabricación de materiales asistida por plasma.
- Ataque superficial por plasma, preparaciones superficiales.
- Implantación iónica.
- Plasmas fríos en tecnologías de capas.



LA AUDITORÍA ENERGÉTICA

INDICE

LA AUDITORÍA ENERGÉTICA

1.- PASOS A SEGUIR PARA LA REALIZACIÓN DE UNA AUDITORÍA ENERGÉTICA	137
1.1.- Planificación de la Auditoría	137
1.2.- Remisión de un cuestionario al solicitante	137
1.3.- Revisión de los datos cumplimentados por el cliente y recopilación de información complementaria	137
1.4.- Trabajo de campo y mediciones	138
1.5.- Evaluación de los datos obtenidos	138
1.6.- Elaboración del informe y remisión del mismo al cliente	138
ANEXO I: PARÁMETROS A MEDIR EN LOS EQUIPOS MÁS REPRESENTATIVOS . . .	139
1.- CALDERAS	139
2. - REDES DE FLUIDOS A TEMPERATURAS DIFERENTES DE LA ATMÓSFERA	140
3.- HORNOS	140
4.- SECADEROS	141
5.- MOTORES	141
6.- TRANSFORMADORES	142
7.- ALUMBRADO	142
8.- COMPRESORES	142
ANEXO II: CUESTIONARIO BÁSICO	143

1. PASOS A SEGUIR PARA LA REALIZACIÓN DE UNA AUDITORÍA ENERGÉTICA

Para la realización de de una Auditoría Energética es necesario seguir una serie de pasos:

1.1 Planificación de la Auditoría

Para realizar una correcta planificación se han de revisar todos los antecedentes y juntar toda la información disponible acerca de la instalación que va a ser objeto de la Auditoría Energética. El resultado de la revisión y evaluación de la información dará pie a un plan de trabajo. En este plan de trabajo se incluirán el alcance del estudio Energético de la planta, la identificación de las tareas a realizar y el tiempo y presupuesto destinado a cada tarea.

1.2 Remisión de un cuestionario al solicitante

Si no se ha realizado ningún Estudio Energético previo será necesario enviar un cuestionario al cliente para la obtención, entre otros, de los siguientes datos:

- Consumos de los últimos doce meses, tanto de combustibles como de energía eléctrica.
- Producción de la planta en ese mismo periodo de tiempo.
- Propiedades y consumos de materias primas.
- Régimen de funcionamiento de la planta.
- Identificación de los principales equipos consumidores de la planta.
- Características de dichos equipos.

1.3 Revisión de los datos cumplimentados por el cliente y recopilación de información complementaria

Este paso es necesario para preparar las visitas a la planta y para realizar los trabajos de campo así como las posibles mediciones.

1.4 Trabajo de campo y mediciones

El objetivo de este campo es el de recoger información de los equipos y sistemas que vayan a ser objeto de investigación en el Estudio Energético.

1.5 Evaluación de los datos obtenidos

Todas las actividades descritas en los pasos anteriores deberían conducir a la identificación de oportunidades y medidas para el ahorro de energía.

Las oportunidades de ahorro de energía se identifican en base a la experiencia de los auditores, antecedentes, referencias bibliográficas, etc. y siempre a través del análisis detallado de los sistemas de la instalación en particular.

Para cada oportunidad detectada se deben identificar las medidas necesarias para aprovecharla y su rentabilidad en base al costo de realización y ahorros esperados.

1.6 Elaboración del informe y remisión del mismo al cliente

El informe es el producto final del Estudio Energético que deberá presentar todos los datos energéticos básicos de la planta en una forma consistente, para que se puedan comparar los parámetros energéticos de diferentes plantas.

El informe debe contener tres **secciones**:

- Síntesis y conclusiones, dirigido al ejecutivo y otras personas con poder de decisión.
- Presentación técnica, dirigida a los ingenieros y técnicos de la empresa.
- Apéndices o anexos, que recopilen toda la información de apoyo utilizada en los cálculos técnicos y financieros.

Un informe típico presentará los **capítulos** siguientes:

- 1) Resumen ejecutivo.
- 2) Hipótesis y bases de cálculo.
- 3) Descripción de la planta.
- 4) Consumos energéticos.
- 5) Situación actual.
- 6) Mejoras propuestas.
- 7) Anexos.

ANEXO I:

PARAMETROS A MEDIR EN LOS EQUIPOS MÁS REPRESENTATIVOS

1. CALDERAS

1.1 Control de combustión

- Análisis de humos, justo a la salida del bloque de la caldera (cámara de combustión): CO₂, O₂, CO, opacidad.
- Tiro, en el mismo punto.
- Temperatura de los humos, en el punto indicado anteriormente.
- Temperatura ambiente.

1.2 Eficiencia del recuperador

- Análisis de O₂, justo a la salida del recuperador de calor residual de los humos (economizador, precalentador de aire).

Esta medición, cuya misión es servir de base para la determinación de las entradas de aire parásito, debe realizarse simultáneamente con el análisis de humos del apartado 1.1, utilizando para ello dos aparatos previamente contrastados.

- Temperatura de los humos a la salida del recuperador (a ser posible, simultáneamente con la indicada en el apartado 1.1).
- Tiro, en el mismo punto.
- Temperatura del agua o del aire a la entrada y salida del recuperador.

1.3 Pérdidas de calor a través de las paredes

- Temperatura de la superficie exterior en diferentes puntos.

1.4 Salinidad del agua

- Conductividad térmica del agua de la caldera.
- Conductividad térmica del agua de alimentación.

2. REDES DE FLUIDOS A TEMPERATURAS DIFERENTES DE LA ATMOSFERA

2.1 Observación del estado del calorifugado y de la estanqueidad de la red

- Longitudes y diámetros de tramos de tuberías no aisladas, incluyendo válvulas, bridas, etc. a las que se le asignará una longitud equivalente.
- Detección cuantitativa y cualitativa de fugas.

2.2 Determinación de pérdidas de calor

- Temperatura de la superficie exterior de un tramo de tubería calorifugada.
- Temperatura de la superficie exterior de un tramo de tubería no calorifugada, próximo al anterior.

3. HORNOS

3.1 Control de combustión

- Análisis de humos, justo a la salida del propio horno: CO₂, O₂, CO, opacidad.
- Temperatura de los humos, en el mismo punto.
- Temperatura ambiente.

3.2 Eficiencia del recuperador

- Análisis de O₂, justo a la salida del recuperador, teniendo en cuenta las consideraciones del apartado 1.2 sobre calderas.
- Temperatura de los humos a la salida del recuperador.
- Temperatura del aire a la entrada y a la salida del recuperador.

3.3 Pérdidas de calor a través de las paredes

- Como fase previa habrá que dividir el horno, incluyendo el recuperador, en diferentes zonas.

En cada zona se determinará la temperatura en un punto mediante el termopar de contacto y el termógrafo. Se variará el valor de la emisividad hasta que

ambas temperaturas coincidan. De esta forma, queda calibrado el termógrafo para esta zona.

3.4 Pérdidas de calor a través de las paredes

Por radiación

- Temperatura interior
- Dimensiones de la abertura (longitud, altura, espesor)

Por convección

- Depresión o sobrepresión

3.5 Pérdidas de calor por refrigeración

- Caudal
- Temperatura

NOTAS:

Deberá efectuarse un balance térmico, referido a la unidad de producción.

Si las materias primas introducidas en el horno producen gases que se incorporan a los humos, habrá que conocer su composición.

4. SECADEROS

En los secaderos, además de las medidas que son comunes a los hornos, habrá que determinar la humedad relativa y el caudal del efluente gaseoso.

5. MOTORES

En los motores más importantes (> 25 CV)

- Intensidad
- Factor de potencia
- Potencia

6. TRANSFORMADORES

- Antigüedad
- Conexión-Desconexión

7. ALUMBRADO

Deberá realizarse una observación general para detectar posibles medidas de ahorro.

8. COMPRESORES

- Toma de aire exterior.
- Tiempo que trabajan en vacío.
- Fugas en la red.
- Comprobación de la presión de tarado de compresores.

ANEXO II: CUESTIONARIO BASICO

CUESTIONARIO PARA EL SECTOR INDUSTRIAL

CUESTIONARIO BÁSICO - SECTORES INDUSTRIALES

1. DATOS GENERALES

A. IDENTIFICACIÓN

A.1. Empresa: _____ A.2. CIF: _____
 A.3. Sector: _____ A.4. CNAE: _____
 A.5. Nº de operarios: _____ A.6. Superficie cubierta: _____
 A.7. Dirección: _____
 A.8. C.P.: _____ A.9. Localidad: _____ A.10. Provincia: _____
 A.11. Personas a contactar: _____
 A.12. Teléfono: _____ / _____ / _____
 A.13. Nº Fax: _____ / _____
 A.14. E-mail: _____

B. PRODUCCIÓN (Año _____)

B.1. Periodos de trabajo: _____ ; Horas/día: _____ ; Días/semana: _____ ; Horas/año: _____
 B.2. Producción total (x): _____
 B.3. Valor de la producción (Ventas en €): _____
 B.4. Productos principales: _____

Ref.	Unidad	Cantidad anual	Unidad (x)	Periodo trabajo (h/año)
1				
2				
3				
4				

C. CONSUMOS ENERGÉTICOS (Año _____)

Tipo	Unidad	Consumo anual	Importe anual (€)
1. Fuelóleo Nº ____	t		
2. Gasóleo C	t		
3. Propano	t		
4. Carbón	t		
5. Gas Natural	Nm ³		
6. Electricidad	MWh		
7.			
8.			

Nota.- Adjuntar fotocopia de la facturación energética (eléctrica y combustibles) de los últimos doce meses.

2. CONSUMO DE ENERGÍA POR USOS

CONSUMO ANUAL (unidad/año)	D. TIPO DE COMBUSTIBLE				
A. UTILIZ. EN CALDERA					
a) Fabricación					
b) Calefacción					
c) A.C.S.					
d) Prod. eléctrica					
e) Otros usos					
B. UTILIZ. DIRECTA					
a) Fabricación					
Hornos					
Otros					
b) Acond. Ambiente					
c) Prod. Eléctrica					
d) Transporte					
e) Otros usos					

E. ELECTRICIDAD

USOS TÉRMICOS			USOS NO TÉRMICOS		
	%	MWh/año		%	MWh/año
a) Hornos de fusión			a) Fuerza motriz		
b) Hornos mantenimiento			b) Iluminación		
c) Hornos calentamiento			c) Otros usos		
d) Hornos trat. térmico					
e) Otros usos					
TOTAL			TOTAL		

TOTAL ELECTRICIDAD: MWh/año

3. EQUIPOS

F. TRANSFORMADORES

Núm: _____		Potencia Total: _____ kVA		
Ref.	Nº Unidades	Potencia (kVA)	Tensiones (V)	
			Entrada	Salida
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				

G. COMPRESORES

Ref.	Nº Unidades	Potencia (kVA)	Caudal	Presión	r.p.m	Tipo secador
1						
2						
3						
4						

H. GRUPOS DE FRÍO

Ref.	Fluido	Pot. Frig.	Pot. Eléct.	Caudal	Presiones	Horas funcionamiento
1						
2						

I. GENERADORES DE CALOR

Ref.	Nº Unidades	Año	Tipo (1)	Fluido (2)	CARACTERÍSTICAS				CONDENSADOS		ENERGÍA		
					Diseño		Tª (°C)	Funcionamiento		Recuperación (%)	Tª (°C)	Tipo (3)	Consumo horario (4)
					Caudal (t/h)	Presión (kg/cm²)		Caudal (t/h)	Presión (kg/cm²)				
1													
2													
3													
4													
5													
6													

QUEMADORES				
Nº Unidades	Marca	Modelo	Potencia (10³ kcal/h)	Regulación (5)

- (1) Acionbular: W; Pionbular: P; De recuperación: R
- (2) Vapor: V; Agua Sobresaturada: ASC; Agua Caliente: AC; Termofluido: T; Aire: Ai
- (3) Fuel-oil: F; Gasóleo: G; Carbón: C; Gas Natural: GN; Combustibles residuales: CR
- (4) Indicar la unidad: kg, L, Nm³
- (5) Todo/Nada: TN; 2 marchas: 2M; 3 marchas: 3M; Modulante: MD

Ref.	Nº Unidades	Proceso (1)	Tipo	Potencia (2)	Capacidad Nominal (3)	Producción Media (4)	Tª MATERIAL		ENERGÍA		QUEMADORES					
							Entrada	Salida	Tipo (4)	Cons. Horario (5)	Nº Unidades	Marca	Modelo	Potencia (10³ kcal/h)	Regulación (6)	
1																
2																
3																
4																
5																
6																
7																
8																
9																
10																
11																
12																
13																
14																
15																
16																
17																
18																
19																
20																

(1) Calentamiento; C: Tratamiento térmico; IT: Tratamiento superficial; JS: Secado; S
 (2) Combustible en 10³ kcal/h. Eléctrico en kW
 (3) Proceso continuo en kg/h. Proceso discontinuo en kg ciclo/n ciclo
 (4) Electricidad: E; Fuel-oil: F; Gasóleo: G; Carbon: C; Gas Natural: GN; Combustibles residuales: CR
 (5) Índice en la unidad: kg, L, kWh
 (6) Todo/nada: T/N; 2 marchas: 2M; 3 marchas: 3M; Modulante: MD

4. AHORRO DE ENERGÍA

K. MEDIDAS DE AHORRO DE ENERGÍA

Fecha	Denominación	Situación (1)	Energía	Ahorro (tep)	Inversión

L. MEDIDAS DE SUSTITUCIÓN DE ENERGÍA

Fecha	Denominación	Situación (1)	Energía	Ahorro (tep)	Inversión

5. PROCESO PRODUCTIVO (5)

Operación	Equipos Utilizados	Características (3)

- (1) Adoptada: A; Decidida: D; En estudio: E
 (2) Adjuntar esquema simplificado del proceso productivo
 (3) Indicar características de la operación: Tº, Presión, tiempo, etc

M. ILUMINACIÓN

Tipo de lámpara	Potencia (kW)	Número	Horas Funcionamiento

N. CALIDAD / MEDIO AMBIENTE

¿Tienen implantado algún sistema para el Aseguramiento de la Calidad o de Gestión Medio ambiental? _____

En caso afirmativo, indicar cual es y su situación (1):

(1) Adoptada: A; Decidida: D; En estudio: E

6. INDICAR OTROS DATOS DE INTERÉS

CUESTIONARIO PARA PLANTAS DE COGENERACIÓN

CUESTIONARIO BÁSICO – INSTALACIÓN DE COGENERACIÓN

1. DATOS TÉCNICOS

A. MOTORES

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD
1. Potencia eléctrica	kW	
2. Consumo de gas natural	kW	
3. Rendimiento Eléctrico	%	
4. Consumo de aceite	kg/h	
5. Gases de escape		
5.1. Caudal	kg/h	
5.2. Temperatura	°C	
6. Circuito de Refrigeración de Alta (CRA)		
6.1. Caudal	kg/h	
6.2. Temperatura (E/S)	°C	/
7. Circuito de Refrigeración de Baja (CRB))		
7.1. Caudal	kg/h	
7.2. Temperatura (E/S)	°C	/

B. CALDERA DE RECUPERACIÓN

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD
1. Presión de vapor	bar(abs)	
2. Caudal	t/h	
3. Temperatura vapor	°C	
4. Temperatura agua aporte	°C	

C. RECUPERACIÓN DE CALOR DEL CRA

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD
1. Aprovechamiento en forma de agua caliente	kW	
1.1. Caudal de agua caliente	m ³ /h	
1.2. Salto de temperatura (E/S)	°C	/
2. Aprovechamiento a Máquina de Absorción	kW	
2.1. Caudal a Máquina de Absorción	m ³ /h	
2.2. Salto de temperatura (E/S)	°C	/

D. RECUPERACIÓN DE CALOR DEL CRB

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD
1. Calor recuperado	kW	
1.1. Caudal de agua	m ³ /h	
1.2. Salto de temperatura (E/S)	°C	/

E. MÁQUINA DE ABSORCIÓN

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD
1. Generador		
1.1. Caudal de agua caliente	m ³ /h	
1.2. Salto de temperatura (E/S)	°C	/
1.3. Potencia	kW	
2. Evaporador		
2.1. Caudal de agua fría	m ³ /h	
2.2. Salto de temperatura (E/S)	°C	/
2.3. Potencia	kW	
3. C.O.P.	°/l	
4. Torre de refrigeración		
4.1. Caudal de agua	m ³ /h	
4.2. Salto de temperatura (E/S)	°C	/
4.3. Potencia a disipar	kW	

2. BALANCE ENERGÉTICO (AÑO _____)

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD
1. Consumo de gas natural	MWh (PCS)	
2. Energía eléctrica generada	MWh	
3. Energía eléctrica comprada	MWh	
4. Consumo de auxiliares de la planta de cogeneración	MWh	
5. Energía eléctrica consumida en la fábrica	MWh	
6. Energía eléctrica exportada	MWh	
7. Producción de vapor	MWh	
8. Producción de agua caliente	MWh	
9. Producción de agua fría	MWh	

3. BALANCE ECONÓMICO (AÑO ____)

F. INGRESOS

CONCEPTO	€/AÑO
1. Producción de vapor	
2. Producción de agua caliente	
3. Producción de agua fría	
4. Consumo de energía eléctrica de fábrica	
5. Venta de excedente de energía eléctrica	

G. GASTOS

CONCEPTO	€/AÑO
1. Consumo de gas natural en motores	
2. Gastos de mantenimiento 2.1. Motor 2.2. Caldera de recuperación 2.3. Máquina de absorción 2.4. Otros costos de mantenimiento	
3. Energía eléctrica de respaldo	
4. Seguro	
5. Agua	
6. Gastos de gestión y operación de la planta	

4. DESCRIPCIÓN TÉCNICA DE LA INSTALACIÓN



**GESTIÓN ENERGÉTICA Y
MONITORIZACIÓN DE
PROCESOS**

INDICE

GESTIÓN ENERGÉTICA Y MONITORIZACIÓN DE PROCESOS

1.- GESTIÓN ENERGÉTICA Y MONITORIZACIÓN	161
1.1.- Aspectos que comprenden la gestión energética	161
1.1.1.- Análisis de consumos de energía	161
1.1.2.- Análisis de las instalaciones existentes	161
1.1.3.- Diagnóstico	162
1.1.4.- Acciones para incrementar la eficiencia energética	162
2.- MONITORIZACIÓN DE PROCESOS	162

1. GESTIÓN ENERGÉTICA

La gestión energética es el análisis, planificación y toma de decisiones con el fin de obtener el mayor rendimiento posible de la energía que se necesita. Es decir, lograr un uso más racional de la energía, permitiendo reducir el consumo de la misma sin disminuir el nivel de prestaciones.

La gestión energética es una tarea a largo plazo, que debe configurar, implantar y controlar la forma en que se usan o planifican los recursos energéticos.

Un programa de gestión energética debe incluir los siguientes programas de acción:

- 1º Programas de mentalización
- 2º Programas de formación
- 3º Programas de actuación a corto, medio y largo plazo

1.1 Aspectos que comprenden la gestión energética

La gestión energética comprende los siguientes aspectos:

1.1.1 Análisis de consumos de energía

Este análisis permite conocer la situación real en que se encuentra el usuario. Un análisis de este tipo requiere el estudio de la evolución en el tiempo del consumo, tanto de combustibles como de energía eléctrica. También se debe analizar la distribución total del consumo así como los consumos específicos.

1.1.2 Análisis de las instalaciones existentes

El objeto de este análisis será determinar las características, operatividad, etc. de las instalaciones en funcionamiento. El análisis se centrará en los siguientes equipos:

- Motores y accionamientos eléctricos.
- Equipos eléctricos del proceso (hornos eléctricos, etc.).

- Alumbrado.
- Mediciones eléctricas de control.
- Tarifación y facturación eléctrica.
- Combustión.
- Calderas y redes de vapor y de agua caliente.
- Equipos térmicos del proceso (hornos, calentadores, etc.).
- Calefacción / climatización.
- Control por ordenador.

1.1.3 Diagnóstico

A partir de la información anterior disponible se podrá establecer el grado de aprovechamiento energético, así como las acciones necesarias para incrementar la eficiencia energética.

1.1.4 Acciones para incrementar la eficiencia energética

Una vez establecido el diagnóstico es preciso definir los siguientes aspectos:

- Tipos de acciones a realizar incluyendo una evaluación de las inversiones necesarias para cada una de ellas.
- Fijar un plan general de actuaciones.
- Clasificar y justificar las inversiones.

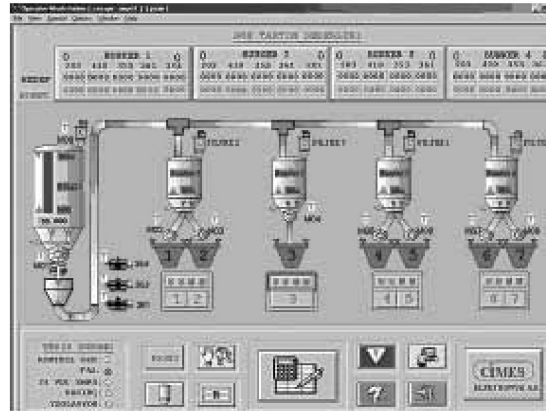
2. MONITORIZACIÓN DE PROCESOS

En la actualidad, los diferentes departamentos de una empresa necesitan compartir información, y si es posible en tiempo real, y es aquí donde la monitorización de procesos adquiere un papel preponderante. Cuanto antes se disponga de la información, más rápida será la capacidad de respuesta.

Uno de los sistemas más extendidos en la monitorización de procesos es el denominado SCADA.

Se trata de una aplicación software especialmente diseñada para funcionar sobre ordenadores en el control de producción, proporcionando comunicación con los dispositivos de campo y controlando el proceso de forma automática desde la pantalla del ordenador. Además, provee de toda la información que se genera en el proceso productivo a diversos usuarios. En este tipo de sistemas

usualmente existe un ordenador, que efectúa tareas de supervisión y gestión de alarmas, así como tratamiento de datos y control de procesos.



Sistema Scada

Un paquete SCADA debe estar en disposición de ofrecer las siguientes prestaciones:

- Posibilidad de crear paneles de alarma, con registro de incidencias.
- Generación de históricos de señal de planta.
- Posibilidad de programación numérica.
- Ejecución de programas, que modifican la ley de control, o incluso anular o modificar las tareas asociadas al autómata, bajo ciertas condiciones.

