



# gasNatural

**Manual de producción  
de frío por compresión  
a gas natural**



## **1. Objetivo**

## **2. Introducción**

## **3. Antecedentes**

## **4. Sistemas de producción de frío con gas natural**

4.1 Compresión

4.2 Absorción

## **5. Justificación de la elección de equipos de producción de frío por absorción a gas natural frente a equipos eléctricos**

## **6. Rendimiento de los equipos de frío por compresión con gas natural**

## **7. Descripción de los componentes de los equipos de compresión a gas natural**

7.1. Motor a gas natural

7.2. Compresor

## **8. Dimensionamiento de los equipos**

## **9. Consideraciones de diseño**

9.1. Integración de los equipos de refrigeración con motores a gas natural en el diseño de la planta

9.2. Calor de recuperación

9.3. Torre de refrigeración

## **10. Consideraciones de instalación**

10.1. Colocación y ubicación

10.2. Instalación de gas natural

10.3. Instalación eléctrica

10.4. Reducción del ruido y las vibraciones

10.5. Instalación de ventilación

10.6. Evacuación de los productos de la combustión

## **11. Consideraciones de control, regulación y seguridad**

## **12. Funcionamiento de los equipos**

12.1. Puesta en servicio

12.2. Secuencias de arranque y funcionamiento

12.3. Parada del equipo.

## **13. Consideraciones de mantenimiento**

13.1. Motor

13.2. Verificación de la combustión completa

13.3. Análisis del aceite

13.4. Tratamiento de agua

13.5. Controles

## **14. Normativa**

14.1. Instalación

14.2. Equipos a gas natural

## **15. Consideraciones económicas**

## **16. Glosario**

## **Anexo: Análisis de rentabilidad comparativo entre una alternativa a gas natural y una eléctrica**

## 1 Objetivo

Este manual ha sido elaborado con el objeto de proporcionar una guía de referencia a ingenierías e instaladores en la realización de instalaciones de climatización o de plantas enfriadoras mediante equipos de compresión con motor a gas natural.

Está orientado a proveer al proyectista de referencias para la definición y selección de los equipos y componentes y así como para el diseño de las instalaciones complementarias de gas natural, de electricidad, de agua y de ventilación de forma que se optimice la eficiencia energética de las mismas.

Los apartados que desarrollan la consideraciones de operación, control, regulación y seguridad tienen la finalidad de asegurar el potencial del consumidor con estos sistemas. Describiendo, además, el proceso a seguir en una puesta en marcha de estos equipos e instalaciones.

Detalla las consideraciones económicas evaluando los ahorros según las consideraciones de diseño y de mantenimiento, al mismo tiempo que las medioambientales de optar por la opción de gas natural en vez de la opción eléctrica.

Se enumera toda la normativa aplicable en este tipo de instalaciones permitiendo un diseño y construcción de las instalaciones de refrigeración acordes con los establecido legalmente.

Este documento no pretende suplir a los manuales de instrucciones de instalación y mantenimiento que editan los fabricantes de los equipos y componentes, que deberán ser consultados para cualquier detalle de instalación, montaje o conexionado sino, el funcionar de guía práctica y complementaria.

## 2 Introducción

En los últimos ocho años se han incorporado al mercado español los equipos de frío y climatización, accionados por motor de gas natural de media y gran potencia frigorífica (desde 100 kW a 1.300 kW), una tecnología que desde hace tiempo tiene una gran aceptación en EE.UU. y Japón debido a la flexibilidad y ventajas que proporciona.

Se trata de equipos enfriadores de agua o bombas de calor con un circuito frigorífico totalmente convencional e idéntico al de los equipos eléctricos existentes en el mercado, pero con la particularidad de que el motor que acciona el compresor frigorífico es un motor endotérmico procedente de la automoción adaptado para funcionar con gas natural.

En los últimos años, el uso de tecnologías de producción de frío a gas natural se ha visto potenciado por el creciente interés general en incrementar la eficiencia energética y maximizar la utilización de los recursos naturales.

Los motores a gas natural para la producción de frío están ganando mercado en el sector servicios (donde se incluyen hoteles, edificios de oficinas y pequeños comercios), hospitales, campus universitarios y complejos industriales.

### 3 Antecedentes

Desde el punto de vista de concepto, el frío se produce casi siempre por la evaporación de un líquido cuyos vapores deben condensarse a temperatura ambiente bajo una presión compatible con el tipo de material utilizado.

Los pioneros de la industria frigorífica se basaron en la compresión para obtener la producción de frío. Se empezó con éter etílico como fluido refrigerante, pero dado el peligro que representaba su uso se cambió de técnica, y se empezó a utilizar la absorción. No obstante después, Tellier volvió a dar vida a las máquinas de compresión mecánica empleando un fluido mucho menos peligroso que el éter etílico. Con el tiempo el fluido refrigerante ha ido evolucionando hasta llegar a los que se utilizan actualmente.

Tradicionalmente acoplado al compresor ha habido un motor eléctrico, no obstante ahora, desde que se ha conseguido operar con altos rendimientos y con unos costes de operación más bajos que los homólogos eléctricos, con resultados probados y contrastados en EE.UU. y Japón, se opta cada vez más hacia la climatización y refrigeración a gas natural. Este tipo de tecnología se está introduciendo en el mercado español y está ganando mercado en el sector servicios, hospitales, campus universitarios y complejos industriales donde existen numerosos ejemplos ya en funcionamiento.

### 4 Sistemas de producción de frío con gas natural

Bajo la definición de enfriar, se entiende la evacuación de calor. Según la 2ª ley general de la termodinámica, el calor nunca pasa de un cuerpo de temperatura más baja a otro de temperatura más elevada. Por esa razón, a un cuerpo con una temperatura por debajo de la del ambiente que le rodea, sólo puede extraérsele calor intercalando un proceso cíclico de frío.

El enfriamiento se interpreta como proceso de transporte en el que se bombea calor de un nivel de temperatura más bajo a otro más alto. Este proceso precisa, evidentemente, una aportación de energía.

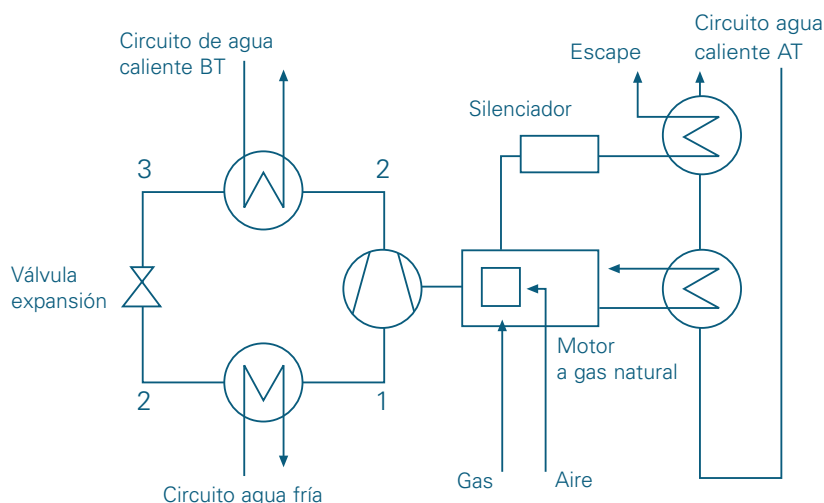
La producción de frío puede realizarse mediante dos técnicas: compresión o absorción.

#### 4.1. Compresión

La producción de frío se consigue aprovechando el hecho de que los fluidos, en este caso refrigerantes, absorben calor cuando hierven y lo devuelven cuando condensan. En refrigeración interesa quitar calor del recinto frío; y para conseguirlo,

el refrigerante debe hervir a una temperatura menor que la temperatura interior de dicho recinto frío (acondicionado).

La generación de frío por compresión de un fluido frigorífico en estado de vapor sigue un ciclo termodinámico definido por la secuencia representada en la figura 4.1:



**Figura 4.1** Circuito de compresión.

1-2: Comenzando a la entrada del compresor, el refrigerante se halla a baja presión y baja temperatura. El compresor eleva la presión del refrigerante mediante compresión adiabática y en consecuencia la temperatura de saturación del mismo hasta la presión de condensación.

2-3: El refrigerante entra en el condensador donde pasa de vapor a líquido puesto que la temperatura de saturación es mayor que la del ambiente. El calor resultante de la reacción es transferido directamente a una fuente de aire o indirectamente a una fuente de agua que, a su vez, lo transferirá al aire a través de una torre refrigerante.

3-4: El refrigerante se expande a una presión menor reduciendo su temperatura de saturación y evaporando a una temperatura menor que el agua enfriada que entra al evaporador.

4-1: Evaporación del refrigerante que se encuentra a la temperatura correspondiente a la presión que tenía a la salida de la válvula de expansión. Al evaporar, el refrigerante toma el calor que necesita para la reacción del recinto que se quiere mantener más frío, obteniéndose así el efecto frigorífico y volviendo a empezar el ciclo a la entrada del compresor.

## 4.2. Absorción

En este caso la producción de frío también se obtiene mediante la evaporación de un fluido. No obstante, mientras que en el proceso de frío por compresión se realiza una compresión mecánica del vapor del refrigerante aspirado del evaporador, en el de absorción se produce una compresión térmica, en el que primero se absorbe y disuelve mediante un líquido apropiado como medio de absorción.

Este sistema se basa en la afinidad fisicoquímica entre parejas de compuestos como el agua y el amoníaco, o el bromuro de litio y el agua (ver Manual de producción de frío por absorción a gas natural).

## 5 Justificación de la elección de equipos de producción de frío por compresión a gas natural frente a equipos eléctricos

Los equipos de producción de frío a gas natural ofrecen soluciones flexibles en el sector doméstico, en el de servicios y en el industrial.

Las ventajas competitivas que aportan frente a los eléctricos están referidas al rendimiento, a los costes de explotación, a la seguridad de suministro y a la protección del medio ambiente. A continuación se comentan con mayor detalle:

### **Economía de funcionamiento**

El uso del gas como combustible en vez de la electricidad reduce los costes de explotación debido a la relación de precios existente entre ambos.

Se obtienen altos rendimientos de la energía primaria además del ahorro adicional por el aprovechamiento del calor extraído del agua de refrigeración del motor y de los gases de escape incrementando, así, el rendimiento de la energía contenida en el combustible. Este calor extraído (agua a 90°C) puede ser utilizado para la producción de Agua Caliente Sanitaria (ACS) o agua caliente de proceso, para deshumificadores secantes o evitar que se forme escarcha en la batería exterior sin ningún coste extra y sin necesidad de invertir el ciclo de la máquina con su consecuente decremento de rendimiento.

Se trata de un calor que no se obtiene con la bomba de calor eléctrica y disponible aún con temperaturas exteriores bajas en ciclo invernal.

Otra fuente de ahorro es la reducción de la punta eléctrica a contratar puesto que se trata de un decremento en el término fijo de la factura eléctrica, la eliminación de la Estación Transformadora y el evitarse una instalación eléctrica complicada.

El motor a gas utiliza directamente energía primaria y su REP (Rendimiento Energético Primario) es siempre mayor al correspondiente a una bomba de calor eléctrica.

### **Producción simultánea de frío y calor**

La integración de calefacción y refrigeración en un mismo equipo pretende la reducción del coste de inversión y los costes de operación ya que se consigue que funcione más horas al año que provocan que la inversión sea recuperada antes.

### **Eficiencia casi constante a carga parcial**

Mientras los motores eléctricos funcionan a velocidad constante, los motores a gas natural tienen capacidad para variar la velocidad de trabajo obteniendo una gran eficiencia a cargas parciales puesto que el consumo específico mínimo del motor se encuentra entre el 40 y el 70% de la carga nominal. Además también permiten una instalación modular.

### **Seguridad en el suministro**

El gas natural ofrece plena seguridad en su suministro y su utilización, como está siendo demostrado en miles de instalaciones de climatización con gas natural que funcionan desde hace años en todo el mundo.

### Fiabilidad en el funcionamiento

Son equipos que, tanto en EE.UU., Japón como en Italia están plenamente consolidados.

Además se emplean compresores abiertos que tienen mayor vida útil y mayor rendimiento que los herméticos o semi-herméticos convencionales. Por otra parte, el mantenimiento del circuito es totalmente convencional.

### Protección del medio ambiente

El gas natural es la energía más limpia que existe. Produce menor impacto ambiental puesto que reduce sensiblemente la emisión de dióxido de carbono, que en muchas comunidades científicas es considerado como el principal agente del llamado 'efecto invernadero'. Además se consigue un mejor aprovechamiento de la materia prima y se diversifica el consumo energético del país.

### Inversión inicial

Si bien el coste de mercado de los equipos de compresión a gas natural es, hoy por hoy, superior al de los equipos convencionales, la sobreinversión inicial puede verse atenuada por la reducción del número de máquinas instaladas, debido a la concentración de los servicios en un único equipo y a la economía de funcionamiento.

## 6 Rendimiento de los equipos de frío por compresión con gas natural

El coeficiente de funcionamiento (COP) es la manera de expresar la eficiencia de un sistema productor de frío. Cuanto más grande sea el COP menor será la energía necesaria y éste varía en función de las condiciones de operación del equipo.

En los equipos de compresión con motor a gas natural puede recuperarse el calor del agua de refrigeración de las camisas y de los gases de escape aumentando el total de la energía a utilizar. Por lo que el COP de un motor de refrigeración a gas natural viene reflejado con la siguiente ecuación:

$$COP = \frac{\text{Frío obtenido} + \text{Calor recuperación}}{\text{Combustible utilizado}}$$

Como el COP no tiene unidades, todos los elementos de la ecuación ha de tener las mismas. El denominador de la ecuación ha de estar basado en el poder calorífico superior del gas natural.

| Recuperación de calor opcional                                  | COP a plena carga |
|---|-------------------|
| Sin recuperación de calor.                                      | 1,0 - 2,0         |
| Recuperación del calor de las camisas.                          | 1,5 - 2,25        |
| Recuperación del calor de las camisas y de los gases de salida. | 1,7 - 2,4         |

**Tabla 6.1: COP de una máquina de frío por compresión a gas natural.**

En el análisis que efectúan las administraciones públicas se considerará el rendimiento del equipo en el contexto del ciclo energético desde la extracción del carburante o combustible hasta la utilización final del servicio por el usuario. Es decir, se tendrá en cuenta la eficiencia global del ciclo energético (EFCE).

Como ejemplo ilustrativo se da el caso de la electricidad generada en una central térmica convencional que utilice combustible líquido cuyo rendimiento es del 43%.

Suponiendo unas pérdidas por transporte y distribución del 10,2% (BOE nº 170, de 17 de julio de 1982). La eficiencia global EFCE será del 39%.

Para el gas natural:

Se considera que en la extracción y transporte del gas natural únicamente se pierde un 5%. Por lo que el EFCE es de 95%.

Entonces, al corregir los COP con estos factores se obtiene lo siguiente:

|  | COP       | EFCE | COP corregido |
|--|-----------|------|---------------|
| <b>Motor eléctrico</b>                                   | 2,0 - 4,0 | 0,39 | 0,78 - 1,56   |
| <b>Motor a gas natural<br/>Sin recuperación de calor</b> | 1,0 - 2,0 | 0,95 | 0,95 - 1,9    |

Además, se debe tener en cuenta que el rendimiento a carga parcial (entre el 40 y el 70%) aumenta puesto que se minimiza el consumo específico del motor a gas. Esto, unido al evitar los procesos de desescarche producen un aumento del Rendimiento de Explotación Anual (REA), en algunos casos, superior al COP.

## 7 Descripción de los componentes de los equipos de compresión a gas natural

El diseño y fabricación de un equipo de frío por compresión es independiente de cuál sea la fuente de movimiento. La única diferencia radica en si se utiliza un motor a gas natural o uno eléctrico, por lo que este manual únicamente describirá el motor a gas natural y el compresor.

### 7.1. Motor a gas natural

Son motores derivados de la automoción o marinos que han demostrado buena fiabilidad y duración.

Los motores de combustión interna utilizados son de ignición por chispa eléctrica (bujías) y proceden de motores de cuatro tiempos gasolina adaptados para la utilización del gas natural como carburante.

En general, los motores de pequeña y media potencia son de aspiración natural y los de mayor potencia son turboalimentados, es decir, utilizan un compresor de aire movido por una pequeña turbina alimentada por los gases de escape.

Los motores turboalimentados dan más potencia en el eje para el mismo consumo. Sin embargo, para lograr esta mayor eficacia, el aire caliente debe enfriarse a la salida del turbocompresor, siendo necesario un sistema de refrigeración independiente, que suministre agua a una temperatura inferior a la que normalmente se da en los sistemas de refrigeración del motor.



El control de las cargas parciales se consigue modulando la velocidad del motor entre el 30 o 50% y el 100%. Desde el punto de vista de la eficiencia energética, la posibilidad de controlar la potencia útil variando la velocidad de giro del motor, es una ventaja cuando se funciona a carga parcial, ya que el rendimiento del motor aumenta cuando la velocidad se reduce, hasta un valor dado, por debajo del cual, el rendimiento comienza a decrecer de nuevo.

## 7.2. Compresor

La función del compresor, tal y como se ha explicado en el aparato 4.1, es la de aspirar los vapores producidos por la evaporación del fluido frigorígeno en el evaporador a una presión baja, correspondiente a las condiciones de funcionamiento, y descargar a alta presión estos vapores comprimidos en el condensador, a fin de permitir su condensación por enfriamiento.

En la refrigeración a gas natural, los compresores que se utilizan son compresores herméticos accesibles o abiertos puesto que la fuente de movimiento es externa al compresor. El diseño de estos tipos de compresores permite que las partes móviles y las válvulas puedan sustituirse fácilmente.

Los compresores a gas ofrecen importantes ventajas sobre los compresores herméticos o herméticos accesibles eléctricos puesto que tienen mayor vida útil y mayor rendimiento.

Genéricamente, basándose en su principio de funcionamiento se distinguen:

### Compresores alternativos (Figura 7.1)

Se utilizan en equipos de potencia de frío hasta los 600 kW. Se trata de máquinas de desplazamiento positivo, es decir, que incrementan la presión del gas refrigerante reduciendo el volumen específico e incrementando la temperatura.

Los compresores de este tipo comercialmente disponible son de simple etapa o de dos etapas. Los primeros suelen utilizarse en aplicaciones de aire acondicionado, mientras que los segundos en aplicaciones de refrigeración a baja temperatura.

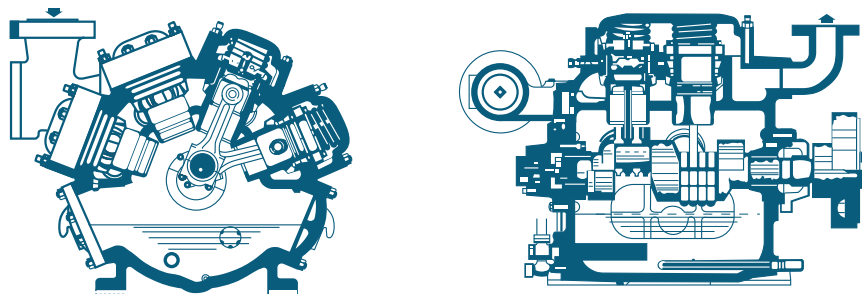


Figura 7.1 Motor alternativo a cuatro tiempos

Las características de selección son la cilindrada, el volumen desplazado, el caudal masa del fluido, el coeficiente de rendimiento (la relación existente entre la producción de frío y el trabajo necesitado para obtener este resultado), el rendimiento, la relación de compresión volumétrica (la relación entre las presiones absolutas de descarga y de aspiración) y el rendimiento mecánico.

El acoplamiento motor-compresor es, en general, directo, aunque puede realizarse un engranaje reductor de velocidad.

El control de la capacidad tiene lugar por combinación del sistema de variación de la velocidad del motor y el sistema de regulación de capacidad del compresor alternativo, basado en dejar en vacío uno o varios pistones mediante un sistema de electroválvulas. También se utiliza el sistema de control de potencia del compresor, basado en la reducción de la presión de aspiración que reduce la presión de salida del gas refrigerante y, con ello, la capacidad del equipo.

### Compresores de tornillo

Son utilizados en equipos de potencia entre los 350 y los 14.000 kW. Son máquinas de desplazamiento positivo puesto que el incremento de presión se produce por reducción del volumen específico del gas refrigerante.

Deben su nombre al mecanizado del (de los) rotor (es) que se asemejan a un juego de engranajes de corte helicoidal.

Las características térmicas y cualitativas son similares a las definidas para los compresores alternativos. Además se define la relación interna (la relación entre la parte de aspiración y la de descarga).

Se dividen en dos grupos:

**1 Monorrotores:** Como se observa en la figura 7.2 consisten en un rotor helicoidal que es movido por el motor y dos engranajes pasivos que, debido al diseño del perfil, confinan el gas aspirado en espacios cerrados que disminuyen con el giro del motor a la vez que aumentan la presión del gas. La capacidad es función del diámetro del rotor y de sus satélites.

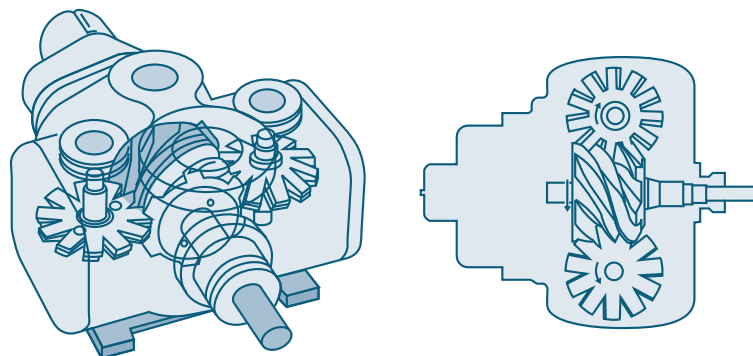
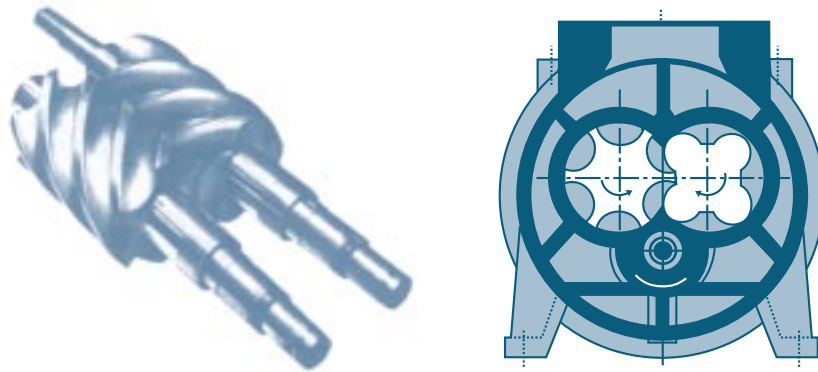


Figura 7.2 Compresor monorrotor de tornillo (fase aspiración)

**2 Birrotores:** Como se muestra en la figura 7.3 constan de un rotor activo, movido por el motor, que arrastra al rotor pasivo.

El gas refrigerante que entra por la galería de aspiración, situada en la parte inferior de la carcasa, llena los espacios cerrados formados por los engranajes de los dos rotores. Durante el giro del motor, debido al diseño de los perfiles de los engranajes, estos espacios cerrados se reducen comprimiendo el gas que sale a presión superior por la galería de descarga.



**Figura 7.3** Rotores de un compresor birrotor de tornillo

El diseño de la superficie de contacto de los tornillos, junto con el aceite lubricante que se introduce en las dosis adecuadas entre los engranajes, permite el sellado entre los espacios cerrados.

La capacidad es función del diámetro de los rotores y de su longitud (los diámetros de los rotores macho y hembra pueden ser diferentes). El control de ésta se logra con la combinación de la variación de velocidad del motor y el mecanismo de regulación de la capacidad del compresor, que se basa en una válvula de corredera de accionamiento eléctrico o hidráulico que se desplaza a lo largo de los tornillos modulando la cantidad de gas refrigerante que entra en la galería de aspiración.

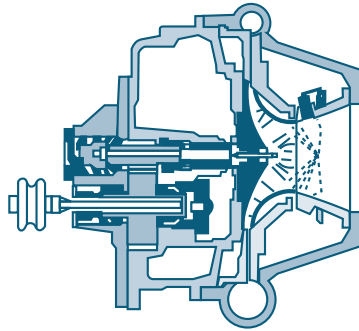
### **Compresores centrífugos** (Figura 7.4)

Son utilizados en equipos de potencia entre 1.300 y 20.000 kW. En este caso no se trata de máquinas de desplazamiento positivo como las dos anteriores, sino que son realmente una variante de las de pistón, donde los pistones se han sustituido por rodetes.

El gas, a la presión de aspiración, entra en dirección axial y al pasar a través del rotor incrementa su velocidad y cambia su dirección de axial a centrífuga. De esta manera emplea el aumento de la energía cinética del fluido, obtenido al utilizar la fuerza centrífuga provocada por la gran velocidad periférica con que el fluido sale de los álabes del rotor que se transforma en presión estática cuando, al pasar a través del difusor de descarga, se reduce la velocidad.

Para lograr una alta eficiencia, los compresores centrífugos ruedan a más alta velocidad que los de desplazamiento positivo.

El control de la capacidad se logra por combinación de la variación de velocidad del motor y la regulación de capacidad del compresor, que se basa en la variación del ángulo de los álabes de entrada del gas, que modifican el caudal de gas y generan turbulencias que afectan las prestaciones del compresor.



**Figura 7.4** Compresor centrífugo de un rodete

## 8 Dimensionamiento de los equipos

Una vez determinadas las necesidades de climatización en distintas condiciones exteriores y situaciones de cargas internas, se elige aquella que será tomada como base para el dimensionado de la planta termofrigorífica y para la selección de los equipos principales como se haría en el caso que los equipos fueran eléctricos.

La selección del equipo o equipos se efectuará en función de las necesidades de refrigeración y de calefacción y, en los sistemas de cuatro tubos, a las necesidades simultáneas de refrigeración y calefacción. No obstante, en general, tanto si las necesidades de refrigeración son superiores o inferiores a las de calefacción, la selección del equipo se hace en función de las necesidades de refrigeración. Debiendo verificarse que la capacidad de calefacción del equipo seleccionado es suficiente para cubrir la demanda de calefacción, ACS y otros servicios que requieran energía térmica. En caso contrario, se instalará una caldera auxiliar, que cubrirá la diferencia entre las necesidades máximas de energía térmica y la capacidad calorífica total de la bomba de calor.

Aunque esta práctica es en general aceptable, es preciso en cada caso, evaluar el coste de la caldera y sus instalaciones auxiliares y compararlo con el incremento de coste de una unidad bomba de calor de capacidad superior y capaz de cubrir la totalidad de la demanda de calor, aunque su capacidad exceda a las necesidades de refrigeración del edificio.

El calor de recuperación del motor debe entenderse como una fuente de energía gratuita que se tiene, pero nunca como una fuente de energía asegurada puesto que sólo se dispondrá de ella cuando el motor esté en funcionamiento. Debe disponerse, por tanto, una caldera adicional con capacidad suficiente para cubrir la demanda de ACS.

## 9 Consideraciones de diseño

### 9.1. Integración de los equipos de refrigeración con motores a gas natural en el diseño de la planta

Los equipos de producción de frío con gas natural pueden ser equipos enfriadores o bombas de calor:

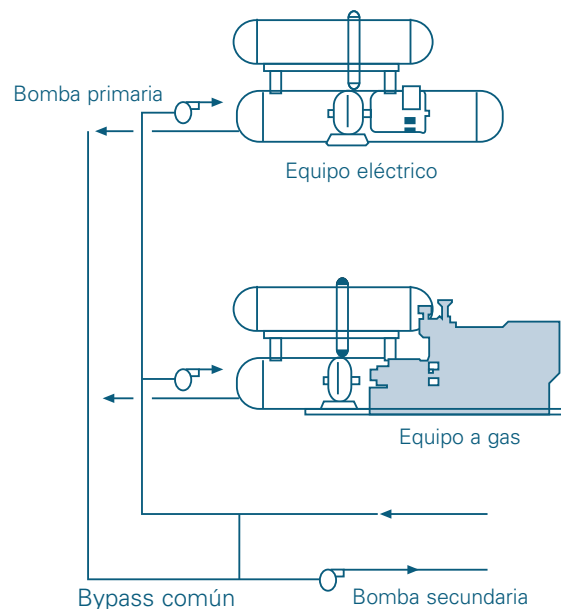
- Los equipos enfriadores están diseñados para instalaciones donde se requiera refrigeración o aire acondicionado.
- Las bombas de calor están pensadas para instalaciones donde se quiera refrigeración o aire acondicionado en unas épocas del año y calefacción en otras, puesto que permiten el cambio de ciclo.

En el diseño de la instalación es primordial conocer cuál será el uso que se le dará para elegir qué tipo de equipo es el requerido.

Tanto los equipos enfriadores como las bombas de calor con motor de gas son susceptibles de funcionar junto a equipos eléctricos, equipos de absorción, calderas y equipos de desecación.

#### 9.1.1. Con equipos eléctricos

El funcionamiento en paralelo con equipos eléctricos (figura 9.1) suele darse cuando la instalación dispone ya de equipos eléctricos en buen estado y se plantea la necesidad de ampliación de la capacidad de la planta. En este caso, los equipos de gas natural tienen prioridad de funcionamiento en las horas en que los costes de la electricidad son más altos y, opcionalmente, serán los equipos eléctricos los que tendrán prioridad de funcionamiento en las horas de menor coste de la electricidad, si se considera procedente su utilización para su amortización.



**Figura 9.1** Funcionamiento en paralelo con equipos eléctricos

### 9.1.2. Con equipos de absorción

Algunos equipos de compresión constituyen una aplicación interesante cuando funcionan en paralelo con equipos de absorción. En este caso el calor de recuperación, en forma de agua caliente o vapor, se utiliza para iniciar y mantener el proceso de absorción.

### 9.1.3. Con calderas

Esta situación se da cuando el equipo de absorción ha sido seleccionado para cubrir las necesidades de refrigeración y el calor total generado por éste es insuficiente para cubrir la demanda máxima de calefacción. También suelen instalarse calderas para producción de ACS o cuando las necesidades de climatización sean escasas y no sea aconsejable la puesta en funcionamiento del equipo de absorción.

### 9.1.4. Con equipos de desecación

Los equipos de compresión constituyen una aplicación interesante cuando funcionan en paralelo con sistemas de desecación. En este caso, el calor de recuperación puede utilizarse para calentamiento del aire de reactivación de la substancia desecante.

## 9.2. Calor de recuperación

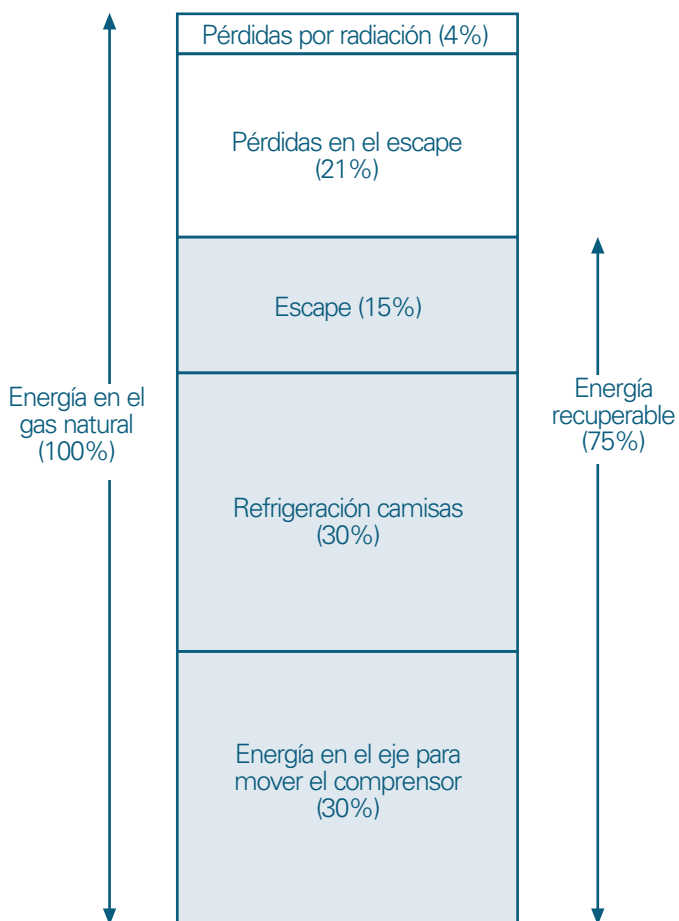
El potencial energético del gas natural es convertido en trabajo en el eje del motor y en calor mediante su combustión. El trabajo obtenido corresponde al movimiento del compresor mientras el calor se libera a través del agua de las camisas del motor, del aceite, de los gases de escape y por radiación (figura 9.2).

El calor de refrigeración del motor y del aceite puede evacuarse mediante un radiador o una torre de refrigeración. Pero no tiene porque ser disipado al ambiente sino que gran parte de éste (70%) puede recuperarse, mediante la utilización de un intercambiador de calor, para calefacción, lavandería, ACS, refrigeración por absorción y, en general, procesos o servicios que precisen agua caliente.

El calor recuperado de las camisas del motor está alrededor del 30% y puede producir agua a 90°C. Asumiendo que hay una demanda de calor, prácticamente todo el calor que se transfiere al agua puede recuperarse, con la única limitación de la eficiencia del intercambiador de calor.

La otra gran fuente importante de calor es el escape del motor. Las temperaturas de salida de los gases suelen estar entre los 450-650°C. Mediante intercambiadores de calor gases calientes-agua se puede generar agua caliente a unos 110°C o vapor saturado a baja presión.

En algunos casos el recuperador se diseña para hacer también la función de atenuación de ruidos de los productos de la combustión, reduciendo la presión y velocidad de los mismos. En el diseño de la chimenea se deberá tener en cuenta la pérdida de carga de los gases en el recuperador, que también es un valor alto, en relación con los otros componentes de la instalación de evacuación de humos.



**Figura 9.2** Balance de energía en el motor

Con la recuperación del calor del agua de las camisas y del escape del motor, se puede utilizar aproximadamente el 70% de la energía contenida en el gas natural.

La máxima utilización de la energía térmica residual del motor es uno de los objetivos básicos de un proyecto de una instalación de climatización con equipos de compresión.

### 9.2.1. Usos

El análisis de las posibles aplicaciones de la energía térmica residual, servirá para decidir el sistema de recuperación y el fluido vector adecuado.

Considerando el caso de instalaciones de climatización y ACS, el aprovechamiento energético del calor recuperable es para producción de ACS durante todo el año y como refuerzo para calefacción durante las estaciones frías. En estaciones cálidas, aparte de la utilización en producción de ACS todo el año, podría ser utilizado en equipos de refrigeración por absorción y para calefacción del aire de reactivación de la sustancia desecante en los sistemas de deshumidificación.

### 9.2.2. Diseño del circuito

El sistema más comúnmente utilizado es el de circuito cerrado en serie, en el que el agua, circula a través de un circuito cerrado, captando el calor del motor y de los gases de escape y cediéndolo a la instalación de aprovechamiento energético.

El agua absorbe en primer lugar el calor del aceite de lubricación del motor y, a continuación, el calor del circuito de refrigeración del motor, eliminando el calor transmitido a los componentes del motor en el proceso de combustión interna.

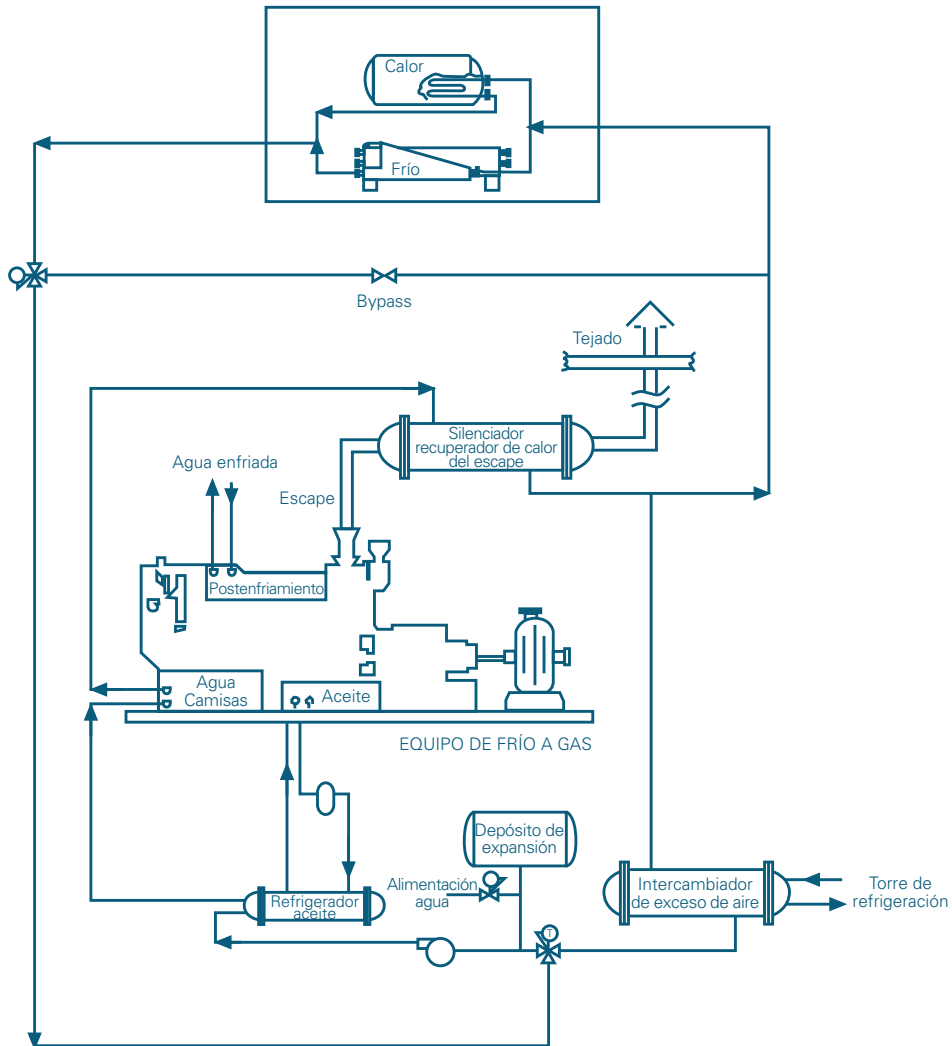
El agua caliente pasa a continuación al recuperador, donde absorbe el calor de los gases de escape del motor, alcanzando el máximo nivel térmico. El aprovechamiento de este calor depende del enfriamiento de los gases en la descarga a la atmósfera. No obstante, para evitar los efectos corrosivos de la condensación en las tuberías de escape, es aconsejable no reducir la temperatura de los gases por debajo de los 100°C.

### 9.2.3. Regulación

Pueden darse situaciones en que el calor de recuperación sea mayor que el aprovechable en la instalación para lo que se requerirá una regulación que desvíe el excedente calorífico hacia un sistema de evacuación.

Un sistema de este tipo es el que se muestra en la figura 9.3. Cuando la temperatura del agua que entra al motor es superior al valor permitido, se desvía parte del flujo de gases de escape a la atmósfera mediante el accionamiento de unas compuertas y, si una vez desviado todo el flujo de gases a la atmósfera, la temperatura continúa siendo alta por escasez de demanda de la instalación de utilización, una válvula de tres vías inicia su apertura desviando el agua a un ventilador-serpentin o a una torre de refrigeración.





**Figura 9.3** Sistema de refrigeración y recuperación de calor

### 9.3. Torre de refrigeración

Las prestaciones de los equipos de compresión se especifican para una determinada temperatura de agua de enfriamiento. Si dicha temperatura aumenta ligeramente, tiene lugar una reducción de la capacidad de refrigeración de la máquina. Si el incremento de temperatura de entrada del agua de enfriamiento, asciende sensiblemente, el equipo se bloquea.

Para mantener la temperatura del agua de enfriamiento, los sistemas de control de temperatura deben operar sobre la capacidad de enfriamiento de la torre o sobre el volumen de agua que pasa a la torre para ser enfriada.

La reducción de la capacidad de enfriamiento se logra disminuyendo el volumen de aire en circulación, bien reduciendo el número de ventiladores en funcionamiento o su velocidad de rotación. En el caso en que sólo exista un ventilador de una sola velocidad, como se da en las instalaciones de pequeña potencia, el control se logra por arranque/parada del ventilador. El elemento de control es un termostato de sonda de inmersión, situado en el tubo de salida de agua de la torre, o en el agua del depósito.

La temperatura también puede controlarse por variación del caudal de agua que pasa a la torre, utilizando elementos de desviación de flujo, como las electroválvulas de tres vías, del tipo mezcladora, situada en el lado de aspiración de la bomba. Dicha válvula hace que una parte del flujo de agua no acceda a la torre y se mezcle con el resto del flujo de agua, que sí ha sido enfriada en la torre, en la proporción necesaria para lograr la temperatura de consigna.

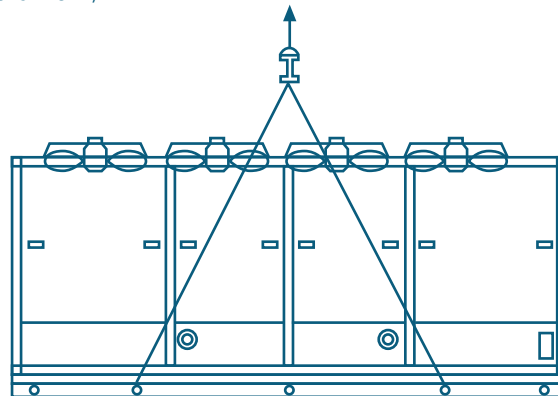
## 10 Consideraciones de instalación

### 10.1. Colocación y ubicación

El equipo de frío debe estar situado en un espacio limpio, seco y bien ventilado. La limpieza y la ausencia de humedad garantizan una larga duración o vida útil de los motores y correas, y reduce la necesidad de pintar frecuentemente las zonas expuestas.

Los equipos deben ser situados donde puedan ser aceptables niveles moderados de ruido (ver apartado 10.4).

Han sido proyectados para ser levantados desde arriba mediante barras o ganchos sujetos en los agujeros previstos en la viga de la base. Debiéndose utilizar barras separadoras para mantener distanciados los cables elevadores de la unidad y evitar tensiones en la parte superior del equipo, que puedan deformar la estructura (figura 10.1)



**Figura 10.1** Elevación de un equipo de frío refrigerado por aire

Cuando no se dispone de la instalación para levantarla desde la parte superior, se puede desplazar la unidad mediante rodets, con la precaución de no crear tensiones en la estructura que pudieran deformar la verticalidad de los montantes estructurales con consecuencias posteriores en el ajuste de puertas y registros.

La base sobre la que descansa el equipo debe ser de dimensiones amplias, tener las proporciones correctas, estar bien nivelada y ser robusta para soportar los pesos, reacciones y velocidades declaradas por el fabricante del equipo durante todo el funcionamiento de éste. La base transfiere las cargas del equipo a las columnas del edificio. Para reducir la transmisión de vibraciones a la estructura de soporte, se debe prever el montaje de antivibradores (ver apartado 10.4).

Para permitir el paso de caudal de aire necesario y hacer posible el mantenimiento, se debe prever alrededor de la máquina unos espacios libres que define el fabricante del equipo.

Toda la zona del lado motor-compresor ha de estar completamente libre de cualquier impedimento, incluidas las tuberías de conexión hidráulica y de gas, para las operaciones de servicio y reparación, debiendo ser accesible desde todos los lados.

También debe quedar suficiente espacio libre en el extremo de todos los enfriadores de tubo reemplazables y/o condensadores para poder limpiar y renovar los tubos.

El espacio de mantenimiento ha de unirse a un pasillo, de las mismas características, que permita el paso hasta un montacargas o similar con el que se pueda acceder con herramientas y material auxiliar o trasladar los componentes pesados averiados y los nuevos a sustituir.

Si fuera inadecuada la ventilación natural o no pudiera ser provista a través de ventanas y puertas, se debe proveer una ventilación forzada a través de conductos (ver apartado 10.5).

## 10.2. Instalación de gas natural

Los componentes principales de la instalación de suministro de gas natural al motor se muestran en el esquema de la figura 10.2.

La conexión de la tubería de gas natural con el motor se realizará con un elemento flexible de tipo homologado.

En los motores de aspiración natural y en muchos turboalimentados, la presión de gas natural de suministro admisible está en la banda de 100-300 mbar. En algunos motores turboalimentados la presión admisible es de 2 bar.

Si la presión de la línea de gas natural es superior a la de alimentación del motor, el ajuste de la presión del gas natural al valor especificado se realiza por medio de dos reguladores de presión, primario y secundario. El primario realiza la regulación gruesa y va incorporado en la cámara de regulación de la planta o del edificio. El segundo, que, en general, forma parte del suministro del motor, hace la función de estabilizador, haciendo que la presión de salida sea prácticamente constante con independencia de las fluctuaciones de la presión de entrada.

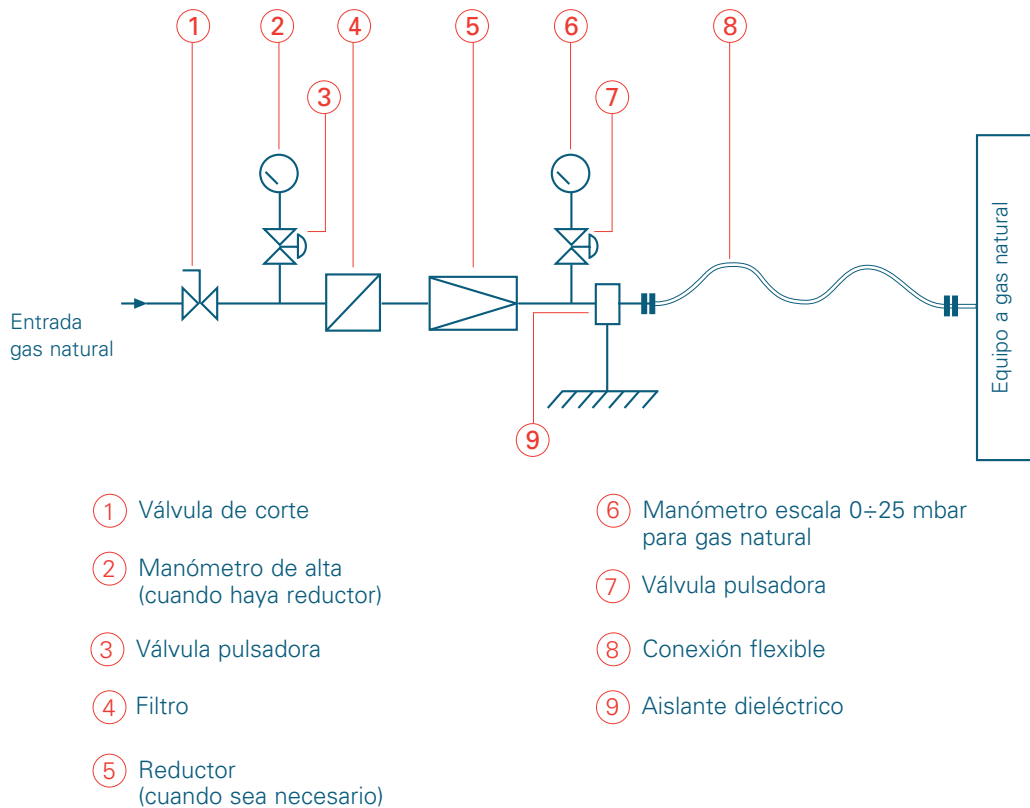
Es aconsejable la disposición de un filtro capaz de eliminar el 99% de las partículas de tamaño superior a 1 micra, que pueden dañar el motor.

La instalación de un contador de gas natural para cada motor, independientemente del de la compañía distribuidora, es aconsejable para evaluar consumos y rendimientos de cada máquina.

En equipos de potencia media y alta, se disponen como dispositivos de seguridad, dos válvulas de cierre automático de tipo de solenoide, que interrumpen el suministro de gas natural en caso de parada normal o anómala del motor. Para motores de pequeña potencia, es suficiente una válvula de cierre automático.

Antes de la rampa de gas natural del motor, se instalará una válvula de cierre manual.

Aparte de lo indicado, se dispondrán los elementos de seguridad que establezca el Reglamento de instalaciones de gases combustibles (RD 1853/1993 de 22 de octubre, BOE nº 281 de 24 de noviembre de 1993), como una válvula de cierre fuera del local de máquinas o, en el caso de instalación a la intemperie, a la distancia reglamentaria.



**Figura 10.2** Esquema conexión instalación de gas natural

## 10.3. Instalación eléctrica

### 10.3.1. Alimentación eléctrica

Las características de la red de alimentación han de ser las correspondientes a la potencia absorbida por la unidad según los catálogos del fabricante. La tensión de la red de alimentación debe corresponder al valor nominal  $\pm 10\%$ , con un desequilibrio máximo entre fases del 3%.

### 10.3.2. Conexiones de potencia

Se deberán realizar según el Reglamento de Baja Tensión.

A título orientativo se detallan las siguientes:

MIE BT 034: el equipo se debe proteger contra cortocircuitos y contra sobrecargas, en todas sus fases, de manera que cubra también el riesgo de falta de tensión de una de sus fases.

El magnetotérmico no está incluido en el suministro. Por otro lado se debe instalar dispositivos de corte por intensidad de defecto.

Debe conectarse la regleta de entrada de tensión con un cable tripolar más tierra de sección adecuada al consumo de la máquina. Es necesario que haya un cable con una puesta a tierra eficaz.

La alimentación no se debe interrumpir nunca, excepto cuando se hace mantenimiento. De esta manera se asegura la alimentación continua de los calentadores del cárter de aceite frigorífico y del cargador de la batería.

Todo ello teniendo en cuenta que un tipo de conductor rígido nunca debe ser sujetado directamente al compresor o a la base a causa de que puede transmitir la vibración. En su lugar se debe utilizar un conductor flexible.

## 10.4. Reducción del ruido y las vibraciones

En cualquier instalación de producción de frío o climatización, la reducción del ruido y de las vibraciones es de las consideraciones más importantes a tener en cuenta.

Las vibraciones, además de ser molestas ergonómicamente hablando, afectan la vida de los equipos considerablemente. Un buen diseño de base evita daños en el equipo y pérdidas de alineación.

Las fuentes más importantes de ruido son el motor, el escape de los productos de combustión, el aire de ventilación, las estructuras de soporte y las tuberías.

La presión sonora producida por un equipo de compresión con motor de gas natural a un metro, medida en campo abierto, está entre los 78 y los 87 dBA dependiendo de la potencia del equipo

Los ruidos se transmiten por el aire y por los objetos sólidos. En el momento de determinar la ubicación del equipo, así como la de la torre de refrigeración, en su caso, debe tenerse en cuenta las normativas generales y municipales sobre ruidos, para no sobrepasar los límites permitidos.

### 10.4.1. Atenuación del ruido transmitido por el aire.

La atenuación del ruido que se transmite por el aire se consigue con la instalación de deflectores, materiales absorbentes o envolventes. Los motores van equipados de fábrica con una envolvente que atenúa el ruido.

### 10.4.2. Atenuación de las vibraciones transmitidas a la estructura y a los cimientos

Todas las máquinas con masa móvil, al estar en servicio, originan, debido a la masa centrífuga, una fuerza de inercia, que se presenta periódicamente, y se transmite, cuando la máquina está montada rígidamente, a los cimientos y a la estructura del edificio, originando vibraciones perturbadoras y ruidos.

La vibración puede aislarse o, más propiamente, reducirse a una pequeña fracción de la intensidad original instalando en el recorrido del ruido o de la vibración algún elemento absorbente del mismo. Teniendo en cuenta de evitar, además, que a través de los tornillos de sujeción no se formen puentes de ruido.

Los amortiguadores adaptables a cada máquina han de seleccionarse según los catálogos de los fabricantes:

**1. Bancadas:** La vibración y el ruido transmitidos a través de los cimientos o estructura pueden ser aislados si se coloca el equipo sobre una bancada flotante apropiada que puede tratarse de un bloque de inercia de hormigón o de un armazón de acero. Además, la bancada permite la repartición del peso del equipo sobre el suelo de la sala de máquinas (figura 10.3)

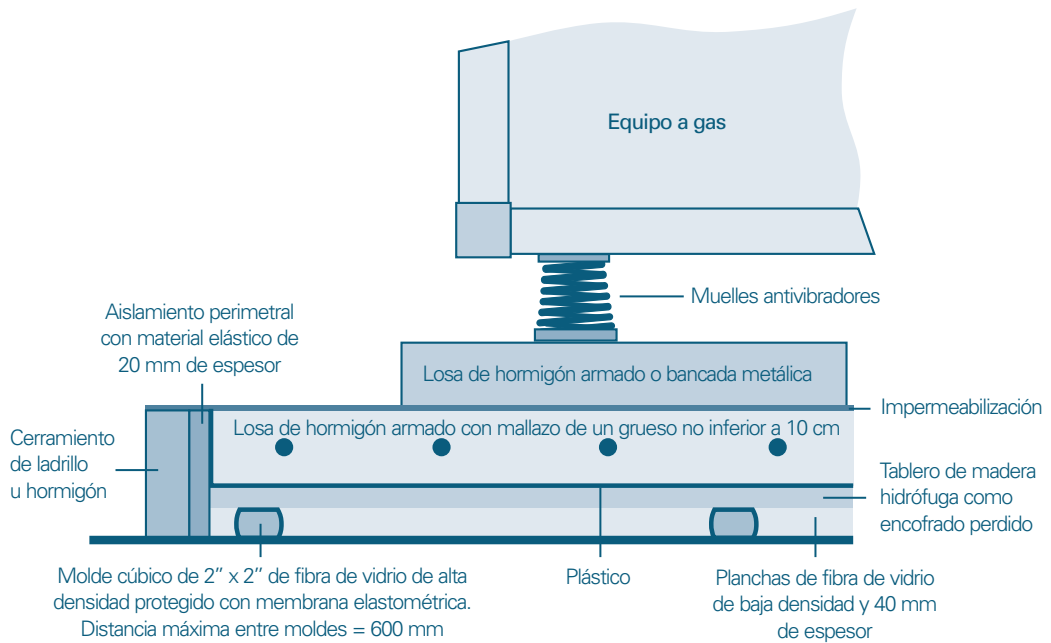


Figura 10.3 Bancada flotante

**2. Aisladores de goma:** En instalaciones de equipos sobre pavimentos de obra, en que la atenuación no es extremadamente crítica, es suficiente disponer de una bancada de hormigón sobre el que se colocan unas almohadillas de neopreno, caucho natural o corcho. Estas almohadillas son la solución más barata y fácil de usar si la aplicación lo permite.

**3. “Silent-blocks”:** Se instalan entre el equipo y la bancada de acero o de hormigón y consiguen una gran reducción de la vibración de alta frecuencia. Las soluciones combinadas de muelle y neopreno en serie resuelven el problema de las vibraciones que tiene lugar a alta y/o baja frecuencia.

Son los aisladores más populares y los más versátiles ya que se pueden obtener prácticamente para cualquier deflexión deseada.

Una vez están instalados puede ser regulada la horizontalidad y altura del suelo del equipo respecto al suelo.

### 10.4.3. Atenuación del ruido transmitido por el sistema de escape de los productos de la combustión

El ruido transmitido a través del sistema de escape se reduce con un silenciador. Un silenciador reduce la velocidad de los gases de escape haciendo pasar el gas a través de una serie de cámaras forradas con un material que absorbe el sonido.

La mayor parte de unidades recuperadoras de calor de los gases de escape o los sistemas de reducción de substancias contaminantes están diseñadas para atenuar, al mismo tiempo, el ruido del escape.

### 10.4.4. Atenuación del ruido y vibraciones transmitidos por las tuberías

Los equipos instalados sobre aisladores de vibraciones presentan movimiento durante el funcionamiento y, en general, movimientos todavía mayores

durante el arranque y la parada cuando la velocidad pasa a través de la frecuencia de resonancia de los aisladores, que es siempre más baja que la velocidad de trabajo. En vista de esto, debe incorporarse suficiente flexibilidad al sistema de tuberías para permitir ese movimiento sin que se reduzca el rendimiento de los aisladores o imponer un esfuerzo indebido a las conexiones y equipo, que pueda afectar la alineación y la vida de las piezas componentes, así como para evitar la transmisión de vibraciones a lo largo de las tuberías conectadas. Para conseguirlo, la rigidez de las tuberías debe ser mucho menor que la de los aisladores de vibraciones. Hecho que se obtiene utilizando conectores flexibles adecuados.

Éstos consisten en unos manguitos de una pieza corrugados fabricados en acero inoxidable que, además de flexibilidad, garantizan una excelente estanqueidad. Para aplicaciones con vapor o agua a alta presión la conexión corrugada se encapsula en un elastómetro fabricado también en acero inoxidable.

Las sujeciones de las tuberías deben estar forradas de goma o neopreno o tener una parte de resorte.

#### **10.4.5. Atenuación del ruido y vibraciones transmitidos por los conductos**

En los conductos de aire se producen ruidos por oscilaciones de velocidad y formación de turbulencia en aristas, desviaciones, tes, rejillas, etc., si el aire tiene una velocidad demasiado alta ( $>7\text{m/s}$ ) y por excitación de las paredes de los conductos.

El ruido emitido y transmitido por el aire de ventilación, se reduce en los filtros en la aspiración y utilizando silenciadores en la aspiración y descarga.

En conductos de aire se debe prever que los pasos por las paredes estén aislados contra el sonido a través de materias sólidas, por ejemplo, tubo envolvente con material aislante entre el tubo y la envolvente, o también sólo material absorbente entre el conducto y el muro.

### **10.5. Instalación de ventilación**

La mayor parte de los equipos que utilizan directamente aire para condensación o, cuando funcionan como bomba de calor para la absorción de calor de la atmósfera, disponen de envolvente diseñada y construida para su instalación a la intemperie. Estos equipos incorporan sistemas propios de ventilación que además están previstos para la disipación de calor del motor.

En el caso de que, por dificultades de instalación, deban ir en recintos cerrados, se dispondrán las aberturas necesarias para facilitar la aspiración y descarga del aire a la atmósfera. Si existiesen dificultades de evacuación directa y el recorrido de los conductos de aire generase excesivas pérdidas de carga, es preciso que los equipos incorporen ventiladores potenciados con mayor presión estática o que se instalen ventiladores de apoyo para la circulación del aire.

El volumen de aire necesario para la combustión es relativamente pequeño en relación con el volumen total en circulación. Este dato es suministrado por el fabricante del motor y oscila entre 4 a  $10\text{ m}^3/\text{kW}$ , dependiendo de la potencia y tipo de motor. El calor emitido por el motor, es también un dato que suministra el fabricante, varía entre el 4 y 6% de la potencia calorífica del combustible

utilizado. El calor emitido por intercambiadores, calderas de recuperación, depósitos de inercia, etc., se determina a partir de los datos de los fabricantes o se estiman con la mayor aproximación posible y, finalmente, el calor emitido por tuberías calientes y conductos de evacuación de humos se determina, teniendo en cuenta la superficie de transmisión, la diferencia entre la temperatura interior y exterior y el coeficiente de transmisión de calor.

El volumen horario de aire de ventilación se obtiene de:

$$CAT = CAC + \frac{QEM + QEE + QET + QEC + QOF}{C_e \cdot d_e \cdot (T_d - T_e)}$$

Donde:

CAT: Caudal total de aire (m<sup>3</sup>/h).

CAC: Caudal de aire de combustión (m<sup>3</sup>/h).

QEM: Calor emitido por motor (kW).

QEE: Calor emitido por los intercambiadores de calor (kW).

QET: Calor emitido por tuberías de fluidos calientes (kW).

QEC: Calor emitido por conductos de evacuación de productos de combustión (kW).

QOF: Calor emitido por otras fuentes de calor (kW).

C<sub>e</sub>: Calor específico del aire a la temperatura interior de proyecto (kJ/kg °C).

d<sub>e</sub>: Densidad del aire a la temperatura interior de proyecto (kg/m<sup>3</sup>).

T<sub>d</sub>: Temperatura interior de proyecto en la sala de máquinas (°C).

T<sub>e</sub>: Temperatura máxima exterior (°C).

La temperatura máxima exterior es un dato del lugar de ubicación y la temperatura de proyecto en la sala de máquinas, es un dato a facilitar por el fabricante del motor y que está relacionado con las temperaturas límites a las que se puede garantizar la fiabilidad de los componentes eléctricos y electrónicos de control.

Al establecer la temperatura de proyecto, debe tenerse en cuenta que la potencia de los motores está afectada por la temperatura de entrada de aire a la cámara de explosión, según una relación aproximadamente igual a la siguiente:

$$PM = PMo \cdot \left( \frac{T_o}{T_a} \right)^{0.5}$$

Donde:

PM: Potencia del motor en las condiciones reales de operación.

PMo: Potencia nominal del motor en las condiciones de referencia.

T<sub>a</sub>: Temperatura del aire de aspiración en las condiciones reales de operación.

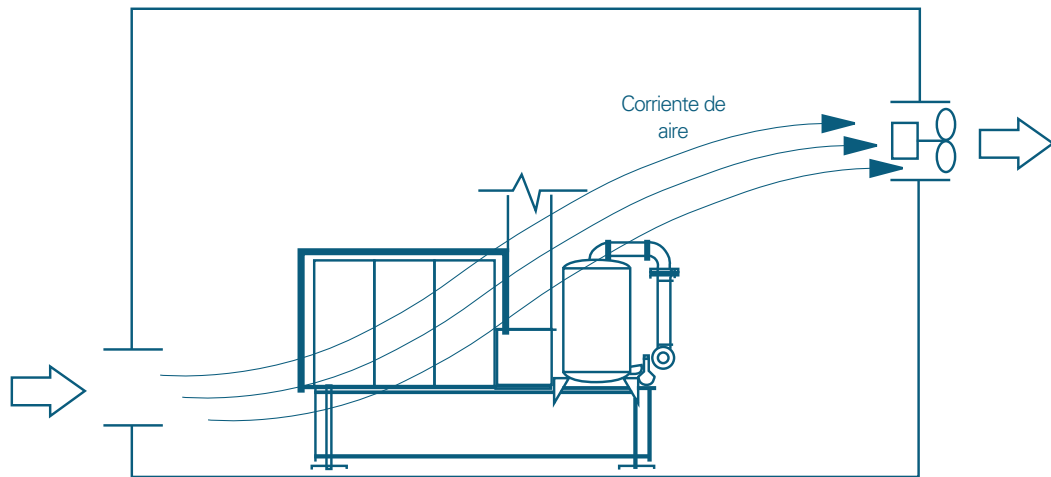
T<sub>o</sub>: Temperatura del aire de aspiración en las condiciones de referencia.

Hay que tener en cuenta que, además de circular el caudal de aire necesario, es preciso que el flujo de aire tenga el recorrido adecuado para "lavar" las superficies calientes del motor, evitando que haya zonas que no se vean afectadas por la corriente de aire de ventilación. También es aconsejable que el aire más fresco, procedente del exterior, pase primero por la zona de motor, de modo que el aire de combustión no haya recibido ningún calentamiento antes de su acceso al motor.



Una disposición como la de la figura 10.4 es aconsejable, en ella el aire exterior entra por la parte inferior del lado motor y descarga por la parte superior de la pared opuesta, donde se han dispuesto los ventiladores de extracción.

En zonas donde las temperaturas son muy altas dándose valores muy reducidos de la diferencia  $T_d - T_e$ , es preciso hacer circular un gran volumen de aire para disipar el calor del motor. Ello da lugar a excesivas corrientes en la sala de máquinas, por lo que es más aconsejable una disposición en la que el aire exterior entre por la parte inferior de la bancada del motor y ascienda verticalmente, descargando a la atmósfera mediante extractores de techo.



**Figura 10.4** Ventilación necesaria para un equipo refrigerado por aire

## 10.6. Evacuación de los productos de la combustión

Estas instalaciones tienen como función, en primer lugar, la evacuación de los productos de la combustión a la atmósfera y, en segundo lugar, la reducción de las emisiones sonoras por medio de silenciadores.

La mayor parte de los equipos de compresión del tipo agua-aire están diseñados para su instalación a la intemperie por lo que, en este caso, la descarga de los productos de combustión es directa a la atmósfera. El proyectista verificará el cumplimiento de la normativa de aplicación vigente, sobre todo en lo que se refiere a la cota de descarga de humos, respecto a la cota de las aperturas en los edificios próximos.

Sin embargo, hay situaciones en que la instalación de los equipos debe ser en recintos cerrados. En estos casos también se seguirá la normativa de aplicación vigente.

El diseño debe ser realizado de modo que el tiro generado, unido a la presión de descarga de los productos de la combustión, sea suficiente para vencer la pérdida de carga, debida al paso de los gases por los conductos, chimenea y accesorios. La presión de descarga depende del tipo de motor y de la velocidad de giro, de si se trata de un motor de aspiración natural o turboalimentado, y de la solución adoptada para la recuperación de calor de los gases (ver apartado 9.2).

## 11 Consideraciones de control, regulación y seguridad

Los equipos comerciales de climatización con motor a gas natural están diseñados, como los equipos convencionales, para funcionamiento automático totalmente desasistido. La mayor parte de ellos incorporan sistemas de control basados en microprocesadores y con interfaz total, para permitir el acceso del operador para control y programación del funcionamiento de la máquina y ajuste de los valores de consigna de las variables de proceso.

El control de la carga se consigue variando la velocidad del motor y ajustando la capacidad del compresor, como se ha desarrollado en el apartado 7.

Los sistemas de control habituales realizan las siguientes funciones:

- Estado de la máquina: Monitorización continua de los parámetros de presión, temperatura, estado de funcionamiento de componentes, carga de baterías, etc., con objeto de proteger la máquina y asegurar su correcto funcionamiento.
- Función de programación: Realización correcta de las secuencias de funcionamiento de la máquina, de acuerdo con el programa de funcionamiento preconfigurado.
- Función de seguimiento de los parámetros de control: Regulación de la potencia de la máquina, para que los parámetros de control se adapten a los valores consigna, en función de la demanda real del edificio.
- Función de servicio: Consiste en alertar de las anomalías de funcionamiento y de las operaciones de mantenimiento periódico.

La mayor parte de los equipos de frío por compresión, como cualquier otro equipo convencional de moderno diseño, pueden controlarse desde la posición de la máquina o por control remoto desde una unidad de gestión.

Los sistemas de control más usuales disponen de interfaz gráfico que permite la visualización de la situación de arranque, parada, modo de funcionamiento, parámetros del circuito frigorífico del motor, prestaciones de la máquina, valores de consigna de los parámetros de control, programa de mantenimiento, etc.

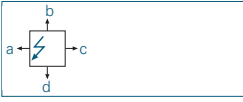
Algunos sistemas de control pueden integrar y archivar información de datos tales como consumo de combustible, potencia frigorífica útil, calor de recuperación generado, determinación de COP y ahorros energéticos, que permitan efectuar análisis de ahorros.

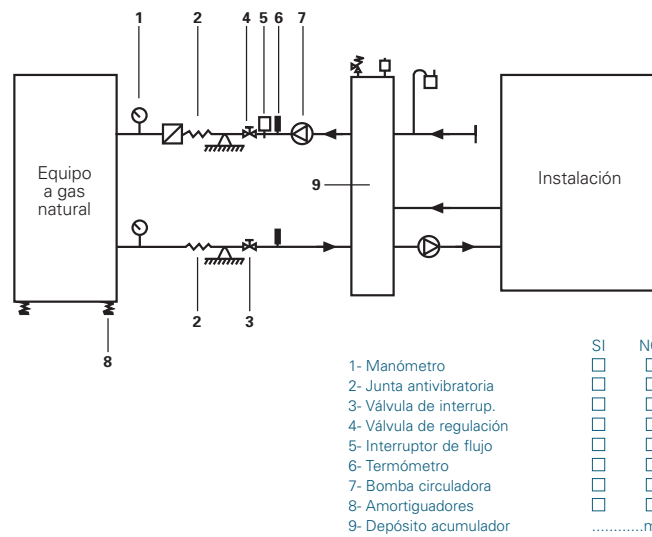
## 12 Funcionamiento de los equipos

### 12.1. Puesta en servicio

Antes de poner en marcha la máquina, se debe comprobar que está bajo tensión al menos desde hace 8 horas, para que el aceite frigorífico que está en el cárter esté caliente y la batería eléctrica cargada. Se ha de comprobar todos los elementos auxiliares de la instalación, controlar la presión del gas natural y, el sentido de giro de los ventiladores y de la bomba de agua fría como se muestra en la tabla 12.1.

Tabla 12.1 Formulario de puesta en marcha de un equipo a gas natural

|                       |  |                   |                    |                   |                    |
|-----------------------|--|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|
| Agente                |  |                   |                    |                   |                    |
| Mod.                  |  | Nº C.P.           |                    | Nº chassis        |                    |
|                       | Lugar instalación  | Ciudad            |                    | Calle             |                    |
| Tipo de instalación   |  |                   |                    |                   |                    |
| Distancias al entorno |  |                   | a=            m    | c=            m   |                    |
|                       |  |                   | b=            m    | d=            m   |                    |
| Consignas             | Frío   |                   | Calor              |                   | Recuperación       |
|                       | set=            °C   | ΔT=            °C | set=            °C | ΔT=            °C | set=            °C |
|                       |  |                   |                    |                   | ΔT=            °C  |



|         |  |       |  |       |  |
|---------|--|-------|--|-------|--|
| Técnico |  | Fecha |  | Firma |  |
|---------|--|-------|--|-------|--|

|                   |           |           |       |
|-------------------|-----------|-----------|-------|
| Modelo            |           | Cliente   |       |
| Nº Orden en Inst. |           | Dirección |       |
| Recup. calor      | SI / NO : |           |       |
| Nº Chasis         |           | Ciudad    |       |
| Distribuidor      |           | Técnico   | Fecha |

### Datos circuito frigorífico

|                     | Como enfriadora    | En bomba de calor  |
|---------------------|--------------------|--------------------|
| Presión de baja     | kg/cm <sup>2</sup> | kg/cm <sup>2</sup> |
| Presión de alta     | kg/cm <sup>2</sup> | kg/cm <sup>2</sup> |
| Recalentamiento     | °C                 | °C                 |
| Subenfriamiento     | °C                 | °C                 |
| Presión dif. aceite | kg/cm <sup>2</sup> | kg/cm <sup>2</sup> |
| Temp. impulsión     | °C                 | °C                 |
| Temp. retorno       | °C                 | °C                 |

### Datos de funcionamiento del motor

| Revoluciones    | OV=            | rpm / 10V=                        | rpm                      |
|-----------------|----------------|-----------------------------------|--------------------------|
| Overspeed       |                | rpm                               |                          |
| Avance          |                | ° a 990 rpm                       | ° a 1760 rpm             |
| Combustión      | O <sub>2</sub> | %                                 | CO <sub>2</sub> % CO ppm |
| Presión del gas | 1100 rpm:      | mm.c.a. antes del estabilizador   |                          |
|                 |                | mm.c.a. después del estabilizador |                          |
| Presión del gas | 1760 rpm:      | mm.c.a. antes del estabilizador   |                          |
|                 |                | mm.c.a. después del estabilizador |                          |

### Compresiones de los cilindros

|     |                    |     |                    |
|-----|--------------------|-----|--------------------|
| N1: | kg/cm <sup>2</sup> | N2: | kg/cm <sup>2</sup> |
| N3: | kg/cm <sup>2</sup> | N4: | kg/cm <sup>2</sup> |
| N5: | kg/cm <sup>2</sup> | N6: | kg/cm <sup>2</sup> |
| N7: | kg/cm <sup>2</sup> | N8: | kg/cm <sup>2</sup> |

### Datos eléctricos

| Alimentación                |    |   | V 50 Hz 3 fases |    |   |     |    |   |
|-----------------------------|----|---|-----------------|----|---|-----|----|---|
| Consumo de los Ventiladores |    |   |                 |    |   |     |    |   |
| V1:                         | R= | A | V2:             | R= | A | V3: | R= | A |
|                             | S= | A |                 | S= | A |     | S= | A |
|                             | T= | A |                 | T= | A |     | T= | A |
| V4:                         | R= | A | V5:             | R= | A | V6: | R= | A |
|                             | S= | A |                 | S= | A |     | S= | A |
|                             | T= | A |                 | T= | A |     | T= | A |

### Datos circuito hidráulico

| Circuito Principal (Agua / Freon) | Presión entrada intercambiador | kg/cm <sup>2</sup> |
|-----------------------------------|--------------------------------|--------------------|
|                                   | Presión salida intercambiador  | kg/cm <sup>2</sup> |
|                                   | Presión estática circuito (1)  | kg/cm <sup>2</sup> |
| Circuito Recuperación             | Presión entrada intercambiador | kg/cm <sup>2</sup> |
|                                   | Presión salida intercambiador  | kg/cm <sup>2</sup> |
|                                   | Presión estática circuito (1)  | kg/cm <sup>2</sup> |

(1) Antes de poner la bomba en marcha

## 12.2. Secuencias de arranque y funcionamiento

El funcionamiento de una unidad enfriadora con motor a gas natural se inicia poniendo en funcionamiento las bombas del sistema, es decir: la bomba de circulación de agua enfriada, la bomba de circulación de agua de enfriamiento en el caso de condensación por agua, la bomba de aceite de lubricación y la bomba de circulación de agua del sistema de recuperación de calor.

El sistema de control verifica que las presiones del agua, temperaturas y flujos, están dentro de la banda de valores especificados.

Una vez efectuada esta comprobación, con resultados positivos, inicia la secuencia de arranque del motor.

Cuando el motor arranca, pasa un período de tiempo hasta que alcanza la temperatura de operación, durante el cual la velocidad y carga del compresor es mínima. La carga mínima en el compresor se logra haciendo que actúen los dispositivos de regulación de capacidad de los compresores:

- En el caso de los compresores alternativos, abriendo las válvulas de by-pass para que pongan en vacío todos los pistones.
- En el caso de compresores de tornillo, cerrando totalmente las válvulas de corredera, impidiendo el paso de gas a la aspiración.
- En el caso de compresores centrífugos, cerrando totalmente los álabes de aspiración.

Cuando se alcanza la temperatura normal en el motor, se inicia la apertura gradual de los mecanismos de incremento de carga en el compresor, hasta alcanzar la temperatura consigna del agua enfriada.

El sistema de control mantiene la temperatura del agua enfriada dentro de una banda en torno a la temperatura de consigna, modulando la velocidad de giro del motor y los dispositivos de control de carga del compresor.

- Si la temperatura baja, el sistema reduce la velocidad de motor hasta el valor mínimo. En el caso de una reducción ulterior de la temperatura del agua, comienzan a actuar los mecanismos de control de capacidad del compresor, reduciendo ésta.
- Si se produce la situación opuesta, de incremento de demanda de refrigeración, las secuencias de control tienen lugar inversamente, es decir, aumentando la velocidad de giro del motor hasta el valor máximo y pasando a continuación a operar los dispositivos de control de capacidad del compresor, aumentando ésta.

## 12.3. Parada del equipo

La parada automática de la máquina puede tener lugar por tres razones: Por seguridad, por reducción de demanda o por programación.

### 12.3.1. Parada por seguridad

Tiene como finalidad la protección de la máquina, componentes y accesorios, por los daños causados debido a un funcionamiento defectuoso en la máquina o maniobra incorrecta en la instalación.

En el caso de parada de seguridad, el operador advertido por la alarma de parada, debe proceder a identificar la causa de la anomalía y corregirla, con medios propios o ajenos, y una vez resuelto, rearmar la máquina.

Las principales causas de parada de máquina aparecen reflejadas en la tabla 12.2.

**Tabla 12.2** Principales causas de parada de un equipo a gas natural

|  | Temperatura | Nivel | Presión | Caudal |
|--|-------------|-------|---------|--------|
| <b>Combustible motor</b>                               |             |       | Baja    |        |
| <b>Refrigerante motor</b>                              | Alta        | Bajo  |         |        |
| <b>Aceite lubricación motor</b>                        |             | Bajo  | Baja    |        |
| <b>Entrada de aire al motor</b>                        | Alta        |       |         |        |
| <b>Salida gases escape</b>                             | Alta        |       |         |        |
| <b>Aceite reductora</b>                                | Alta        |       | Baja    |        |
| <b>Aceite compresor frigorífico</b>                    | Alta        |       | Baja    |        |
| <b>Refrigerante vapor en la descarga del compresor</b> | Alta        |       |         |        |
| <b>Refrigerante vapor en el evaporador</b>             | Alta        |       |         |        |
| <b>Refrigerante líquido en el condensador</b>          |             |       | Alta    |        |
| <b>Agua enfriada</b>                                   | Alta        |       |         | No     |
| <b>Agua de enfriamiento condensador</b>                |             |       |         | No     |
| <b>Aire de enfriamiento condensador</b>                |             |       |         | No     |

### 12.3.2. Parada por reducción de demanda

Las paradas cíclicas y las paradas programadas, forman parte de las secuencias normales de funcionamiento configuradas en el sistema de control. Las paradas cíclicas, son interrupciones temporales en la operación normal de la máquina, debidas a la reducción de la demanda.

Estas paradas no requieren atención del operador y la máquina se rearma automáticamente cuando el agua enfriada alcanza el valor máximo de temperatura de la banda diferencial del valor de consigna.

### 12.3.3. Paradas programadas

Se trata de paradas que se efectúan a voluntad del operador, que tienen lugar cuando se prevé que no haya necesidad de que la máquina funcione por escasa o nula demanda, por ejemplo cuando el edificio está vacío los fines de semana. En algunos tipos de máquinas, el sistema de control, se puede programar para la parada y arranque automático.

La secuencia de parada de la máquina se inicia con la reducción de la velocidad de giro del motor al mínimo, siguiendo con la reducción de la capacidad del compresor.

Después de la parada de la máquina, continúan funcionando un cierto período de tiempo la bomba de enfriamiento del condensador y las bombas del fluido de refrigeración del motor y la del aceite, hasta la disipación del calor del motor.

En el caso de enfriadoras condensadas por aire, es el ventilador el que se mantiene funcionando hasta la disipación del calor del motor.

## 13 Consideraciones de mantenimiento

### 13.1. Motor

Unos programas de mantenimiento adecuados aseguran una larga vida a la máquina y reducen las averías.

En este apartado se hará mención a programas de mantenimiento genéricos, con el objeto de ilustrar sobre el alcance de los mismos, bien entendido que no deben ser tomados como referencias para aplicaciones concretas en máquinas, de modo que en cada caso, se deberá seguir los programas de los fabricantes.

En los programas de mantenimiento de las máquinas de climatización con gas natural se distinguen claramente cuatro modalidades de operaciones: inspecciones y controles rutinarios, reemplazamiento de fluidos, mantenimiento preventivo propiamente dicho y puestas a punto.

Las inspecciones rutinarias son, en general, efectuadas por personal propio y consisten básicamente en la observación visual del equipo, vibraciones y ruidos anómalos, fugas observables, olores, funcionamiento anormal, fluctuaciones de parámetros medibles, etc.

También forman parte de los controles rutinarios las tomas de muestras de aceite para analizar no sólo el estado del mismo, sino para extraer conclusiones sobre el desgaste del motor.

El estado del motor y la necesidad de las operaciones de puesta a punto se determinan con relativa facilidad, midiendo la potencia útil, el consumo de combustible, la presión en cilindros y el índice blowby del motor.

La frecuencia de las operaciones de puesta a punto y revisiones mayores dependen de la marca y modelo del motor. El mecanizado de las cabezas de cilindros y asientos de válvulas varía, según el fabricante, entre las 12.000 y las 15.000 horas de funcionamiento equivalente a plena carga. Con un intervalo parecido se efectúa la revisión del turbocompresor y del enfriador de la mezcla.

La revisión mayor consiste en el desmontaje inspección del bloque del motor y la sustitución de muelles de pistones, segmentos, juntas y rodamientos de cigüeñales. Varía según el fabricante entre las 20.000 y las 30.000 horas funcionamiento equivalente a plena carga.

En la tabla 13.1 se indican unos valores medios de los intervalos en horas de funcionamiento equivalente a plena carga en que se deben efectuar las operaciones de mantenimiento principales.

Los intervalos de las puestas a punto dependen de la calidad del mantenimiento preventivo. Los intervalos de puestas a punto indicados parten de la hipótesis de que se ha seguido escrupulosamente el programa de mantenimiento preventivo y que no se dan situaciones de funcionamiento en ambientes adversos.

Tabla 13.1 Manual de mantenimiento de un motor a gas según las horas de funcionamiento

| Componente a verificar o sustituir        | Horas funcionamiento máquina |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |   |
|---|------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---|
|   | 750                          | 1.500 | 2.250 | 3.000 | 3.750 | 4.500 | 5.250 | 6.000 | 6.750 | 7.500 | 8.250 | 9.000 | 9.750 | 10.500 | 11.250 | 12.000 | 12.750 | 13.500 | 14.250 | 15.000 | 15.750 | 16.500 | 17.250 | 18.000 | 18.750 | 19.500 | 20.250 |   |
| Aceite motor                              | ♦                            | ♦     | ♦     | ♦     | ♦     | ♦     | ♦     | ♦     | ♦     | ♦     | ♦     | ♦     | ♦     | ♦      | ♦      | ♦      | ♦      | ♦      | ♦      | ♦      | ♦      | ♦      | ♦      | ♦      | ♦      | ♦      | ♦      | ♦ |
| Filtro de aceite motor                    | ♦                            | ♦     | ♦     | ♦     | ♦     | ♦     | ♦     | ♦     | ♦     | ♦     | ♦     | ♦     | ♦     | ♦      | ♦      | ♦      | ♦      | ♦      | ♦      | ♦      | ♦      | ♦      | ♦      | ♦      | ♦      | ♦      | ♦      | ♦ |
| Niveles fluidos y estanqueidad            | ○                            | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○ |
| Filtro aire motor                         | •                            | •     | •     | •     | •     | •     | •     | •     | •     | •     | •     | •     | •     | •      | •      | •      | •      | •      | •      | •      | •      | •      | •      | •      | •      | •      | •      | • |
| Bujías                                    | ○                            | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○ |
| Cables bujías                             | ♦                            | ♦     | ♦     | ♦     | ♦     | ♦     | ♦     | ♦     | ♦     | ♦     | ♦     | ♦     | ♦     | ♦      | ♦      | ♦      | ♦      | ♦      | ♦      | ♦      | ♦      | ♦      | ♦      | ♦      | ♦      | ♦      | ♦      | ♦ |
| Válvula actuador carburador               | ○                            | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○ |
| Apriete culatas motor                     | ○                            | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○ |
| Estado culatas motor térmico              |                              |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |   |
| Correa bomba motor                        | ○                            | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○ |
| Válvula PCV                               | ○                            | ♦     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○ |
| Distribuidor alimentación                 | ○                            | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○ |
| Tapa distribuidor                         |                              | ♦     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |   |
| Rotor distribuidor                        |                              | ♦     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |   |
| Escobillas motor de arranque              | ○                            |       |       | ♦     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |   |
| Pinón de arranque y corona motor          | ○                            |       |       | ○     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |   |
| Alojamiento motor y compresor             |                              | •     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |   |
| Núcleo filtro línea de líquido refriger.  | ♦                            |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |   |
| Nivel aceite compresor                    | ○                            | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○ |
| Funcionamiento calentador carter          | ○                            | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○ |
| Funcionamiento del compresor              | ○                            | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○ |
| Solenoides circuito frigorífico           | ○                            |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |   |
| Batería exterior freón/aire               | •                            | •     | •     | •     | •     | •     | •     | •     | •     | •     | •     | •     | •     | •      | •      | •      | •      | •      | •      | •      | •      | •      | •      | •      | •      | •      | •      | • |
| Calent. anti-hielo batería freón/agua     | ○                            | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○ |
| Carga gas refrigerante                    | ○                            | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○ |
| Válvula expansión termostática            | ○                            | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○ |
| Regulac. valv. 3 vías disp. calor motor   | ○                            | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○ |
| Reg. val. 3 vías batería precalentamiento | ○                            | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○ |
| Consumo eléctrico                         | ○                            | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○ |
| Estado contactores                        | ○                            | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○ |
| Giro de ventiladores                      | ○                            | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○ |
| Ruido cojinetes ventiladores              | ○                            | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○ |
| Apriete conexiones eléctricas             | ○                            | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○ |
| Batería eléctrica de 12 V.                | ○                            | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○ |
| Elastómero junta acoplamiento             |                              |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |   |
| Funcionam. reductora                      |                              |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |   |
| Aceite reductora                          | ♦                            | ♦     | ♦     | ♦     | ♦     | ♦     | ♦     | ♦     | ♦     | ♦     | ♦     | ♦     | ♦     | ♦      | ♦      | ♦      | ♦      | ♦      | ♦      | ♦      | ♦      | ♦      | ♦      | ♦      | ♦      | ♦      | ♦      | ♦ |
| Valores sonda regulación y seguridad      | ○                            | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○ |
| Valores "set-point" y bajo "password"     | ○                            | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○     | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○      | ○ |

○ Verificar      • Limpiar      ♦ Sustituir



### 13.2. Verificación de la combustión completa

El análisis de los gases producto de la combustión suele hacerse cada 750 horas mediante un analizador de productos de la combustión colocado en el conducto de salida.

Con ello se verifica que el aire se mezcla correctamente con el combustible, que se produce una combustión completa y que el quemador funciona correctamente, determinándose así la eficacia de la combustión.

De estos análisis periódicos deben extraerse las cantidades de  $O_2$  (oxígeno),  $CO_2$  (dióxido de carbono) y  $CO$  (monóxido de carbono) presentes en los gases de escape, así como las temperaturas de éstos, la temperatura ambiente, el exceso de aire y el rendimiento de la combustión.

Si el quemador de un equipo de absorción por llama directa ha sido correctamente diseñado y ajustado, produce una combustión completa y el gas producto de la combustión contiene del orden de 3,5 al 4% de  $O_2$  y el 9,5% de  $CO_2$ .

Una combustión pobre en aire (combustión incompleta o ineficiente) se detecta por el contenido de monóxido de carbono debido a la poca cantidad de oxígeno existente en la muestra de gases producto de la combustión.

Las causas más comunes que dan como resultado una combustión pobre son:

1. Ratio gas natural/aire incorrecto.
2. Una indebida mezcla ocasionada por las variaciones en la presión del aire o del combustible.
3. Si el combustible incide sobre superficies frías.
4. Las infiltraciones de aire.
5. Temperatura indebida del combustible.

### 13.3. Análisis del aceite

El periódico análisis del aceite permite determinar el estado general de una instalación y asegurar un mantenimiento preciso y preventivo.

A fin de disponer un seguimiento de la instalación deben hacerse análisis periódicos y regulares (2 por año, como mínimo), en función de la importancia de la instalación y las condiciones de funcionamiento. Un ejemplo del análisis de los resultados se hallan en la tabla 13.2.

El procedimiento consiste en tomar una muestra de aceite caliente después del funcionamiento y enviarla al laboratorio de análisis.

En caso de varios compresores funcionando en paralelo, el análisis puede ser de un solo compresor (el más representativo). Si el funcionamiento es por etapas, debe analizarse cada compresor.

Los análisis fisicoquímicos permiten evaluar la consistencia del aceite. En función de la cantidad de fluido, refrigerante y partículas sólidas detectadas en el aceite, se puede establecer el estado de la máquina, así como los intervalos óptimos entre operaciones de mantenimiento.

**Tabla 13.2** Formulario de resultados del análisis del aceite de un motor a gas natural

| Pruebas  | Dictamen                                |   |   |
|--|---|---|---|
|  | Bueno                                   | Aceptable                                   | Defectuoso                                    |
| Aspecto: coloración  | <input type="checkbox"/> claro          | <input type="checkbox"/> oscuro             | <input type="checkbox"/> turbio               |
| olor   | <input type="checkbox"/> sin olor       |   | <input type="checkbox"/> con olor             |
| impurezas  | <input type="checkbox"/> sin partículas | <input type="checkbox"/> algunas partículas | <input type="checkbox"/> numerosas partículas |
| Contenido de agua  | <input type="checkbox"/> débil          | <input type="checkbox"/> mediano            | <input type="checkbox"/> alto                 |
| Índice de acidez   | <input type="checkbox"/> nulo           | <input type="checkbox"/> débil              | <input type="checkbox"/> alto                 |
| Viscosidad   | <input type="checkbox"/> normal         | <input type="checkbox"/> limitada           | <input type="checkbox"/> débil                |
| Rigidez  | <input type="checkbox"/> normal         | <input type="checkbox"/> limitada           | <input type="checkbox"/> débil                |
| Aditivos   | <input type="checkbox"/> normales       | <input type="checkbox"/> limitados          | <input type="checkbox"/> débiles              |
| Elementos de desgaste  | <input type="checkbox"/> nulos          | <input type="checkbox"/> débiles            | <input type="checkbox"/> altos                |
| <p>Las pruebas indican que el estado del aceite es: <input type="checkbox"/> Bueno<br/> <input type="checkbox"/> Aceptable<br/> <input type="checkbox"/> Defectuoso</p> <p>Recomendaciones</p> <p><input type="checkbox"/> cambiar el aceite (vaciado y limpieza del cárter, separador y filtro de aceite)<br/> <input type="checkbox"/> cambiar el deshidratador<br/> <input type="checkbox"/> cambiar el filtro<br/> <input type="checkbox"/> cambiar el cartucho antiácido<br/> <input type="checkbox"/> limpiar la instalación<br/> <input type="checkbox"/> deshidratar la instalación<br/> <input type="checkbox"/> verificar el desgaste del compresor<br/> <input type="checkbox"/> verificar las condiciones de funcionamiento</p> <p style="text-align: center;">Firma</p> |   |   |   |

### 13.4. Tratamiento de agua

El agua de enfriamiento del motor debe ser tratada para evitar problemas de corrosión y depósito de sedimentos en las tuberías

En los sistemas de circuito cerrado no hay apenas reposición de agua, por lo que se requiere una menor atención en el control de la concentración de aditivos.

No obstante, debe realizarse un análisis de agua con el correspondiente tratamiento en el caso que exista torre de refrigeración para el condensador y no se cumplieran los requisitos de la tabla 13.3. Dicha tabla muestra los parámetros a evaluar y los valores de referencia que se aconsejan para un funcionamiento correcto y sin fallos.

El método del tratamiento de aguas para el control de las incrustaciones más comúnmente empleado consiste en el ataque por medio de corrosivos que eviten las incrustaciones, añadiendo luego sustancias que protejan el metal de la corrosión.

Los productos de la corrosión reducen la capacidad de las tuberías, aumentan las resistencias de rozamiento y los costes de bombeo.

Los productos de la corrosión tienen un volumen varias veces mayor que el del metal al que sustituyen y con frecuencia pueden obstruir o taponar las tuberías de pequeño diámetro.

Para la evacuación de las sustancias sólidas y de otros componentes que resultan del tratamiento químico, es necesario disponer de tuberías de desagüe conectadas al nivel de la superficie y en el fondo del generador. La tubería conectada al nivel de la superficie es para eliminar las sustancias sólidas totalmente disueltas que flotan en el agua. El tubo conectado en el fondo del generador de vapor, es para eliminar los componentes que precipitan en el fondo. También se sitúan tubos de drenaje en las partes inferiores del motor para eliminar los componentes que precipitan allí, por reacción con aditivos tales como los fosfatos y los silicatos.

Se aconseja la instalación de un medidor de conductividad en la línea de nivel de agua, para medir la concentración de sólidos disueltos y determinar la actuación de la apertura de drenaje.

La presurización de la instalación permite incrementar el punto de ebullición del agua e impide la formación de oxígeno, que es causa de corrosión.

La mezcla de agua y glycol en la concentración adecuada con inhibidores de corrosión, es el fluido más comúnmente utilizado en sistemas cerrados.

La adición de tolitriazol inhibe la corrosión del cobre.

**Tabla 13.3** Valores de referencia en el análisis de agua

| Componente                                      | Límite admitido         |
|---|-------------------------|
| pH  | 6,0÷8,0 (a 25°C)        |
| Conductividad                                   | < 500 $\mu$ S/cm a 25°C |
| Cl <sup>-</sup>                                 | < 200 ppm               |
| SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>                   | < 200 ppm               |
| Fe total  | < 1,0 ppm               |
| Alcalinidad M (CaCO <sub>3</sub> )              | < 100 ppm               |
| Dureza total (CaCO <sub>3</sub> )               | < 200 ppm               |
| S <sup>2-</sup> S <sup>4-</sup> S <sup>6-</sup> | inexistente ppm         |
| NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>                    | inexistente ppm         |
| SiO <sub>2</sub>                                | < 50 ppm                |

### 13.5. Controles

La mayor parte de los equipos modernos utilizan controles microelectrónicos, con lo que se facilita enormemente la labor de mantenimiento respecto a los clásicos controles neumáticos, que requerían una atención constante de recalibración, verificación del margen de error, control de la presión en la línea de aire presurizado, etc.

Sin embargo, siguen siendo necesarias unas operaciones mínimas de mantenimiento y ajuste que, normalmente, no aparecen reflejadas en el manual del equipo de climatización con motor de gas natural, por lo que es preciso utilizar las hojas de instrucciones específicas de los componentes de control.

Los elementos de control de los equipos de climatización con motor de gas natural se pueden agrupar en dos grupos, los que controlan los componentes y circuito frigorífico, y los que controlan la combustión interna y la regulación de potencia. La frecuencia de las inspecciones las establece el fabricante de los componentes, quien da recomendaciones de mantenimiento excepcional en caso de funcionamiento en ambientes adversos.

## 14 Normativa

El diseño, construcción, materiales, control de calidad, pruebas, identificación y certificación CE de los equipos de compresión de gas natural, así como las instalaciones de las que éstos formen parte, se harán en conformidad con los reglamentos que le son de aplicación y con las consideraciones que se describen a continuación.

### 14.1. Instalación

#### 14.1.1 RITE: Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios

Este Reglamento es de aplicación en las secciones climatización, generación de frío, ventilación, aislamientos, fraccionamiento de potencia, extracción de humos, accesorios y salas de máquinas.

#### 14.1.2. Reglamento de Seguridad para Plantas e Instalaciones Frigoríficas

Este Reglamento es de aplicación en la sección del circuito frigorífico y componentes. Además fija las condiciones de las pruebas de estanqueidad y resistencia a la presión interior.

#### 14.1.3. RBT: Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión

La clasificación de los emplazamientos en base al riesgo potencial de explosión permite establecer los grados de peligrosidad y la selección de los materiales eléctricos, la situación idónea y las medidas necesarias para la reducción de los riesgos de explosión.

Para los equipos de compresión de gas natural resulta difícil seguir los criterios de la UNE 20-322 sobre todo cuando se trata de evaluar las posibilidades de fuga y el caudal potencial. Ante estas dificultades, lo más sensato es la reducción de riesgos aplicando la tres medidas habituales, es decir: minimizar el riesgo de fugas mediante uniones soldadas siempre que sea posible y realización de pruebas de estanquidad en fábrica, y después del emplazamiento, ventilación forzada del recinto del motor, aunque sea un requisito de enfriamiento de los componentes, e instrumentación del equipo y evitar o reducir al máximo los puntos de ignición en las zonas de riesgo y cuando no sea posible, utilizar componentes antideflagrantes o de seguridad aumentada.

#### **14.1.4. Reglamento de instalaciones de gas en locales destinados usos domésticos, colectivos o comerciales**

En la instalación de gas se dispondrán los elementos de seguridad que establezca dicho reglamento (RD 1853/1993, de 22 de octubre, BOE nº 281 de 24 de noviembre de 1993).

### **14.2. Equipos a gas natural**

#### **14.2.1. RAGC: Reglamento de Aparatos que utilizan gas como combustible**

Este reglamento no es de aplicación, excepto en lo relativo a componentes de seguridad de la rampa de gas natural.

#### **14.2.2. RAP: Reglamento de Aparatos a Presión**

Entre los componentes de estos equipos, se pueden considerar como recipientes a presión, los intercambiadores de haz tubular o de placas, el separador de líquido refrigerante, el depósito de líquido refrigerante y, en el caso de recuperación de calor, la caldera de calentamiento de agua o el generador de vapor.

Los criterios de diseño y pruebas de los recipientes a presiones absolutas superiores a un bar y los recipientes cuyos valores de presión de vapor sean superiores a los valores reglamentarios, serán conformes a lo indicado en este Reglamento.

A partir del 29 de mayo de 2002 quedará modificado el presente Reglamento aprobado por el Real Decreto 1244/1979, de 4 de abril, por el aprobado por Real Decreto 769/1999 de 7 de mayo.

#### **14.2.4. Directivas Europeas de Aplicación**

Los equipos que se comercializan con la marca CE, estarán en conformidad con las Directivas siguientes:

- Directiva 73/23/CEE del Consejo sobre material eléctrico destinado a utilizarse con determinados límites de tensión.
- Directiva 91/368/CEE del Consejo sobre máquinas.
- Directiva 97/23/CE del Consejo sobre equipos a presión (de aplicación a partir de 2002).

- Directiva 82/885/CEE del Consejo sobre generadores de calor.
- Directiva 93/68/CEE del Consejo que modifica entre otras la Directiva 73/23/CEE.

En equipos para aplicaciones domésticas:

- Directiva 86/594/CEE del Consejo relativa a ruido en aparatos domésticos.

## 15 Consideraciones económicas

Una vez se ha definido la dimensión de los equipos que serán capaces de entregar la potencia frigorífica necesaria y cómo deben ser instalados, se realiza un análisis económico comparativo entre una alternativa a gas natural y una alternativa eléctrica.

El análisis comparativo se realiza mediante un libro de Microsoft Excel '97 sobre el que es necesario conocer ciertos datos de partida que son particulares de las alternativas a estudiar como son la potencia frigorífica y térmica necesaria, las horas de utilización de la instalación, las especificaciones de los equipos elegidos, los costes de inversión que se requerirán, la tarifa de gas y eléctrica que se contratará y, por último, los datos financieros.

En el Anexo se ilustra un ejemplo en el que la potencia frigorífica necesaria es de 155 kW y la calorífica de 120 kW para una utilización de 1.876 horas en la temporada de verano, con un coeficiente de uso de 40% y de 3.696 horas en invierno, con un coeficiente de uso de 45%. Como alternativa a gas natural, se ha elegido un equipo capaz de producir 171 kW de potencia frigorífica y 255 kW de calorífica, frente a un equipo eléctrico capaz de entregar 180 kW en frío y 163 kW en calor.

En cuanto a la tarifa de gas natural, se ha seleccionado la C3. Y para la tarifa eléctrica, la tarifa general 3.0 con una discriminación horaria DH1.

El periodo de análisis en el estudio de rentabilidad es de 10 años con una tasa de descuento del 4%.

La tasa de inflación anual, la tasa de inflación del gas natural y la de la energía eléctrica deben ser fijadas para cada año de los 10 sobre los que se extiende el análisis de rentabilidad.

Como resultado del análisis de rentabilidad comparativo entre las dos alternativas se obtiene un Valor Actualizado Neto (VAN) a los 10 años de 1.028.845 ptas. con una Tasa de Rentabilidad Interna (TIR) del 25,7% y un tiempo de retorno (PAY-BACK) de 3,6 años. Todos estos parámetros antes de impuestos.

## 16 Glosario

ACS Agua Caliente Sanitaria.

COP Coeficiente de funcionamiento.

EFCE Eficiencia Global del Ciclo Energético.

REA Rendimiento de Explotación Anual.

REP Rendimiento Energético Primario.

## Anexo

### **Análisis de rentabilidad comparativo entre una alternativa a gas natural y una eléctrica.**

#### **1. Introducción**

Para comparar una alternativa a gas natural frente a una eléctrica se debe realizar un análisis energético y económico.

A continuación se detalla un ejemplo para el cual se han definido unas necesidades térmicas, tanto de frío como de calor, y un escenario tarifario y económico. Se proponen dos tipos de soluciones: una de compresión a gas natural y una de compresión eléctrica. Se realiza la evaluación energética y económica para finalizar con el análisis de rentabilidad comparativo entre una solución y otra.

Para realizar el estudio comparativo debe introducirse los datos de la demanda térmica de la instalación, las especificaciones de los equipos que van a utilizarse, las inversiones que se requerirán, las tarifas de gas natural y de electricidad que se aplicarán y el escenario económico en el que se situarán los cálculos.

Con todos estos datos de partida se hace la evaluación energética que será traducida a costes monetarios en la evaluación económica para el primer año. En el análisis de rentabilidad se estudia la repercusión económica a 10 años vista de la instalación.

El cálculo se realiza con un libro Excel'97 compuesto de las siguientes hojas de cálculo:

1. Introducción
2. Demanda térmica
3. Especificaciones de los equipos
4. Inversiones requeridas
5. Evaluación energética
6. Evaluación económica
7. Análisis de rentabilidad

Los datos de partida se introducen en las hojas de cálculo:

2. Demanda térmica
3. Especificaciones de los equipos
4. Inversiones requeridas

Y los resultados se muestran en las hojas de cálculo:

5. Evaluación energética
6. Evaluación económica
7. Análisis de rentabilidad

## 2. Demanda Térmica

| Frío   |     | Calor  |     |
|--|-----|--|-----|
| Potencia frigorífica máxima (kW)               | 155 | Potencia térmica máxima (kW)                   | 120 |
| Utilización                                    |     | Utilización                                    |     |
| Nº horas punta/día (máx. 4h.)                  | 4   | Nº horas punta/día (máx. 4h.)                  | 4   |
| Nº horas llano/día (máx. 12h.)                 | 10  | Nº horas llano/día (máx. 12h.)                 | 12  |
| Nº horas valle/día (máx. 8h.)                  | 0   | Nº horas valle/día (máx. 8h.)                  | 0   |
| Días/año (máx. días frío + días calor = 365 d) | 134 | Días/año (máx. días frío + días calor = 365 d) | 231 |
| Coeficiente de uso (entre 35 y 45%)            | 40% | Coeficiente de uso (entre 35 y 45%)            | 45% |

## 3. Especificaciones de los equipos

| Opción               | Gas natural | Eléctrica |
|----------------------|-------------|-----------|
| Marca y modelo       | -           | -         |
| Potencia frigorífica | 171 kW      | 180 kW    |
| COP frío             | 1,06        | 3,75      |
| Potencia térmica     | 255 kW      | 163 kW    |
| COP calefacción      | 1,77        | 3,4       |
| Potencia eléctrica   | 11,7 kW     | 48 kW     |
| Consumo gas verano   | 161 kW      | 0 kW      |
| Consumo gas invierno | 144 kW      | 0 kW      |

## Coste de Mantenimiento

|                             | Gas natural | Eléctrica |
|-----------------------------|-------------|-----------|
| Ptas/hora de funcionamiento | 100         | 50        |

## Factor de potencia

|        | Gas natural | Eléctrica |
|--------|-------------|-----------|
| COS FI | 1           | 1         |

## 4. Inversiones (sin IVA)

| Opción  | Gas natural      | Eléctrica        |
|---|------------------|------------------|
| Equipos   | 7.000.000        | 6.000.000        |
| Instalación eléctrica   | 0                | 300.000          |
| Instalación gas   | 100.000          | 0                |
| Otras inversiones (torre refrig., etc)                        | 0                | 0                |
| <b>Total inversión</b>  | <b>7.100.000</b> | <b>6.300.000</b> |
| Sobreinversión (opción gas natural respecto opción eléctrica) |                  | 800.000          |



## 5. Evaluación energética

| Opción                           | Gas natural | Eléctrica | Gas natural                      | Eléctrica |
|----------------------------------|-------------|-----------|----------------------------------|-----------|
| <b>Frío</b>                      |             |           | <b>Calor</b>                     |           |
| Potencia frigorífica máxima (kW) | 155         | 155       | Potencia térmica máxima (kW)     | 120       |
| Utilización                      |             |           | Utilización                      |           |
| Horas/día                        | 14          | 14        | Horas/día                        | 16        |
| Días/año                         | 134         | 134       | Días/año                         | 231       |
| Horas/año                        | 1.876       | 1.876     | Horas/año                        | 3.696     |
| Coefficiente de uso              | 40%         | 40%       | Coefficiente de uso              | 45%       |
| Equipo propuesto                 | -           | -         | Equipo propuesto                 | -         |
| Potencia frigorífica (kW)        | 171         | 180       | Potencia calefacción (kW)        | 255       |
| Frío producido (kWh/año)         | 116.312     | 116.312   | Calor producido (kWh/año)        | 199.584   |
| Horas equivalentes a plena carga | 680         | 646       | Horas equivalentes a plena carga | 783       |
| Carga parcial máquina            | 36,3%       | 34,4%     | Carga parcial máquina            | 21,2%     |
| Consumo eléctrico (kWh/año)      | 7.958       | 31.017    | Consumo eléctrico (kWh/año)      | 9.157     |
| Consumo gas (teS/año)            | 104.503     | 0         | Consumo gas (teS/año)            | 107.390   |

**6. Evaluación económica: Frío + calor** (en ptas)

| Opción   | Gas natural      | Eléctrica        |
|--|------------------|------------------|
| Parte proporcional término fijo potencia eléctrica                           | 33.058           | 135.621          |
| Término energía eléctrica  | 235.678          | 1.235.395        |
| Término discriminación horaria   | 47.136           | 247.079          |
| Término reactiva   | -10.749          | -54.841          |
| Parte proporcional término fijo gas natural                                  | 132.000          | 0                |
| Término energía gas natural  | 766.417          | 0                |
| <b>Total gas natural</b>   | <b>898.417</b>   | <b>0</b>         |
| <b>Total electricidad</b>  | <b>305.122</b>   | <b>1.563.255</b> |
| Mantenimiento  | 241.360          | 120.680          |
| <b>Total</b>   | <b>1.444.899</b> | <b>1.683.935</b> |
| <b>Ahorro anual (s/IVA)<br/>opción gas natural respecto opción eléctrica</b> |                  | <b>239.036</b>   |

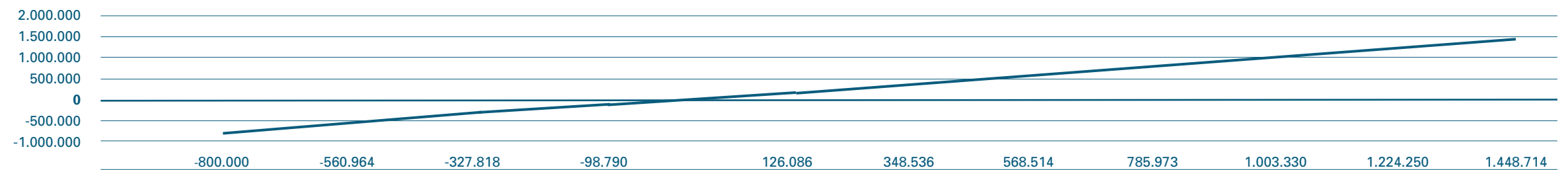
Los precios de la electricidad incluyen el impuesto eléctrico = 5,113%

Valores sin IVA.

## 7. Análisis de rentabilidad (valores sin IVA)

Periodo de análisis 10 años  
Tasa de descuento 4%

| Año                              | 0               | 1                | 2                | 3                | 4                | 5                | 6                | 7                | 8                | 9                | 10               |
|----------------------------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Tasa inflación anual             |                 | 1,90%            | 1,90%            | 1,90%            | 1,90%            | 1,90%            | 1,90%            | 1,90%            | 1,90%            | 1,90%            | 1,90%            |
| Tasa inflación energía eléctrica |                 | -1,00%           | -1,00%           | -0,50%           | -0,50%           | 0,00%            | 0,00%            | 0,00%            | 0,20%            | 0,50%            | 0,50%            |
| Tasa inflación gas natural       |                 | -1,00%           | -1,00%           | -0,50%           | -0,50%           | 0,00%            | 0,00%            | 0,00%            | 0,00%            | 0,00%            | 0,00%            |
| <b>Costes de operación</b>       |                 |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
| <b>Opción eléctrica</b>          |                 |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
| <b>Coste electricidad:</b>       |                 |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
| Parte proporcional T. fijo       |                 | 135.621          | 134.265          | 133.593          | 132.925          | 132.925          | 132.925          | 132.925          | 133.191          | 133.857          | 134.527          |
| T. energía                       |                 | 1.235.395        | 1.223.041        | 1.216.926        | 1.210.841        | 1.210.841        | 1.210.841        | 1.210.841        | 1.213.263        | 1.219.329        | 1.225.426        |
| T. discriminación horaria        |                 | 2247.079         | 244.608          | 243.385          | 242.168          | 242.168          | 242.168          | 242.168          | 242.653          | 243.866          | 245.085          |
| T. energía reactiva              |                 | -54.841          | -54.292          | -54.021          | -53.751          | -53.751          | -53.751          | -53.751          | -53.858          | -54.127          | -54.398          |
| <b>Coste gas natural:</b>        |                 |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
| Parte proporcional T. fijo       |                 | 0                | 0                | 0                | 0                | 0                | 0                | 0                | 0                | 0                | 0                |
| T. energía                       |                 | 0                | 0                | 0                | 0                | 0                | 0                | 0                | 0                | 0                | 0                |
| <b>Total coste energético</b>    |                 | <b>1.563.255</b> | <b>1.547.622</b> | <b>1.539.884</b> | <b>1.532.185</b> | <b>1.532.185</b> | <b>1.532.185</b> | <b>1.532.185</b> | <b>1.535.249</b> | <b>1.542.925</b> | <b>1.550.640</b> |
| Coste mantenimiento              |                 | 120.680          | 122.973          | 125.309          | 127.690          | 130.116          | 132.589          | 135.108          | 137.675          | 140.291          | 142.956          |
| <b>Total coste operación</b>     |                 | <b>1.683.935</b> | <b>1.670.595</b> | <b>1.665.193</b> | <b>1.659.875</b> | <b>1.662.301</b> | <b>1.664.773</b> | <b>1.667.292</b> | <b>1.672.924</b> | <b>1.683.216</b> | <b>1.693.596</b> |
| <b>Opción gas natural</b>        |                 |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
| <b>Coste electricidad</b>        |                 |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
| Parte proporcional T. fijo       |                 | 33.058           | 32.727           | 32.563           | 32.401           | 32.401           | 32.401           | 32.401           | 32.465           | 32.628           | 32.791           |
| T. energía                       |                 | 235.678          | 233.321          | 232.155          | 230.994          | 230.994          | 230.994          | 230.994          | 231.456          | 232.613          | 233.776          |
| T. discriminación horaria        |                 | 47.136           | 46.664           | 46.431           | 46.199           | 46.199           | 46.199           | 46.199           | 46.291           | 46.523           | 46.755           |
| T. energía reactiva              |                 | -10.749          | -10.642          | -10.589          | -10.536          | -10.536          | -10.536          | -10.536          | -10.557          | -10.610          | -10.663          |
| <b>Coste gas natural:</b>        |                 |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
| Parte proporcional T. fijo       |                 | 132.000          | 130.680          | 130.027          | 129.376          | 129.376          | 129.376          | 129.376          | 129.376          | 129.376          | 129.376          |
| T. energía                       |                 | 766.417          | 758.753          | 754.959          | 751.184          | 751.184          | 751.184          | 751.184          | 751.184          | 751.184          | 751.184          |
| <b>Total coste energético</b>    |                 | <b>1.203.539</b> | <b>1.191.503</b> | <b>1.185.546</b> | <b>1.179.618</b> | <b>1.179.618</b> | <b>1.179.618</b> | <b>1.179.618</b> | <b>1.180.216</b> | <b>1.181.715</b> | <b>1.183.220</b> |
| Coste mantenimiento              |                 | 241.360          | 245.946          | 250.619          | 255.381          | 260.233          | 265.177          | 270.216          | 275.350          | 280.581          | 285.912          |
| <b>Total coste operación</b>     |                 | <b>1.444.899</b> | <b>1.437.449</b> | <b>1.436.165</b> | <b>1.434.999</b> | <b>1.439.851</b> | <b>1.444.795</b> | <b>1.449.834</b> | <b>1.455.566</b> | <b>1.462.296</b> | <b>1.469.133</b> |
| <b>CASH FLOW diferencia adi</b>  |                 | <b>239.036</b>   | <b>233.146</b>   | <b>229.029</b>   | <b>224.876</b>   | <b>222.450</b>   | <b>219.978</b>   | <b>217.459</b>   | <b>217.358</b>   | <b>220.920</b>   | <b>224.463</b>   |
| <b>Sobreinversión</b>            | <b>800.000</b>  | <b>0</b>         | <b>0</b>         | <b>0</b>         | <b>0</b>         | <b>0</b>         | <b>0</b>         | <b>0</b>         | <b>0</b>         | <b>0</b>         | <b>0</b>         |
| Inversión acumulada              | 800.000         | 800.000          | 800.000          | 800.000          | 800.000          | 800.000          | 800.000          | 800.000          | 800.000          | 800.000          | 800.000          |
| <b>Flujos de caja netos adi</b>  | <b>-800.000</b> | <b>239.036</b>   | <b>233.146</b>   | <b>229.029</b>   | <b>224.876</b>   | <b>222.450</b>   | <b>219.978</b>   | <b>217.459</b>   | <b>217.358</b>   | <b>220.920</b>   | <b>224.463</b>   |
| <b>Flujos de caja acum. adi</b>  | <b>-800.000</b> | <b>-560.964</b>  | <b>-327.818</b>  | <b>-98.790</b>   | <b>126.086</b>   | <b>348.536</b>   | <b>568.514</b>   | <b>785.973</b>   | <b>1.003.330</b> | <b>1.224.250</b> | <b>1.448.714</b> |



**VAN (10 años) adi** 1.028.845 ptas  
**TIR adi** 25,7%  
**PAY-BACK adi** 3,6 años

Dirección de Desarrollo Aplicaciones Distribución  
Gas Natural SDG, S.A.

Diciembre de 1999