



gas Natural

**Manual de producción
de frío por absorción
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 absorción con gas natural

7. Descripción de los componentes de los equipos de absorción a gas natural

7.1. Evaporador.

7.2. Absorbedor.

7.3. Generador de alta temperatura.

7.4. Generador de baja temperatura.

7.5. Condensador.

7.6. Intercambiador de calor.

8. Dimensionamiento de los equipos

9. Consideraciones de diseño

9.1. Integración de los equipos de absorción con llama directa de gas natural en el diseño de la planta

9.2. Torre de refrigeración

10. Consideraciones de instalación

10.1. Colocación y ubicación

10.2. Nivel sonoro

10.3. Instalación de gas natural

10.4. Instalación eléctrica

10.5. Evacuación de los productos de la combustión

11. Consideraciones de control, regulación y seguridad

11.1. Situación a cargas parciales

11.2. Cuadro eléctrico

12. Funcionamiento de los equipos

12.1. Puesta en servicio

12.2. Funcionamiento en refrigeración

12.3. Funcionamiento en calefacción

12.4. Parada del equipo

13. Consideraciones de mantenimiento

13.1. Componentes mecánicos

13.2. Verificación de la combustión completa

13.3. Solución BrLi-agua

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 con equipos por absorción por llama directa de 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 las 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

Los equipos de absorción pueden ser considerados como la alternativa actual más ecológica para el aire acondicionado y otras utilidades donde se precise refrigeración puesto que no utilizan CFC's y además pueden utilizar gas natural como energía primaria de alimentación

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.

La flexibilidad de alimentación (agua caliente, vapor o llama de gas directa) hace que se adapten a distintos tipos de utilización o puedan potenciar otras tecnologías de ahorro energético como la cogeneración.

Los equipos de absorción con llama directa de 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

La absorción es una técnica tan antigua como la compresión. En 1860 Ferdinand Carré construyó la primera máquina de absorción. Desde entonces la absorción se ha venido empleando con éxito diverso y distinto grado de utilización según las tendencias de cada país.

Los críticos equilibrios termodinámicos que precisa la absorción para su funcionamiento así como los bajos rendimientos obtenidos, habían hecho problemática su utilización práctica. Sin embargo, la tecnología, tanto en diseño como en los materiales y elementos de control, ha evolucionado de tal forma que en la actualidad se dispone de una gran gama de equipos con una gran fiabilidad y unos rendimientos energéticos superiores a sus antecesores.

En nuestro país, la absorción ha sido utilizada principalmente en procesos industriales, en los cuales existían calores residuales al mismo tiempo que se necesitaba como refrigeración. Otro campo de aplicación era el de los frigoríficos domésticos con gas butano para aquellos lugares en donde no había disponibilidad de corriente eléctrica.

Sin embargo, desde hace algunos años, los fabricantes han lanzado al mercado equipos de doble etapa (también llamados de doble efecto) de llama directa adaptados para ofrecer agua fría a temperatura estándar con los sistemas tradicionales de climatización (7-12°C). Con ello se abre un gran campo de aplicación para todas aquellas instalaciones donde se necesite la producción de agua fría para climatización. Los equipos de llama directa disponen de un ciclo de calefacción, que proporciona agua caliente en invierno.

En países tales como Japón y EEUU en los que se han producido la mayoría de diseños de las máquinas de absorción existen ya miles de unidades instaladas para usos de climatización en aplicaciones tanto domésticas como en grandes edificios de oficinas, comerciales, hoteles, hospitales, etc.

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 un 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: absorción o compresión.

4.1. Compresión

La refrigeración a gas natural por compresión consiste en el ciclo de frío por compresión mecánica convencional. La única diferencia conceptual de este ciclo con respecto al sistema eléctrico es que el compresor, en vez de ser movido por un motor eléctrico, es accionado por un motor de combustión interna alimentado con gas natural.

La producción de frío se consigue aprovechando el hecho de que los fluidos absorben calor cuando hierven y lo devuelven cuando condensan, efecto que se aprovecha de los fluidos refrigerantes. 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 (ver Manual de producción de frío por compresión a gas natural).

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 realizaba 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.

4.2.1 Clasificación

4.2.1.1. Según prestaciones

Estos equipos pueden ser clasificados según sus prestaciones:

- Unidades enfriadoras.
- Unidades mixtas enfriadoras-calentadoras.

4.2.1.2. Según ciclo de absorción

Los equipos pueden ser:

- De simple efecto: Con una sola etapa de generación o de separación de refrigerante y sustancia absorbente.
- De doble efecto: Con dos etapas de generación, tiene una eficiencia superior al de simple efecto.

En la primera etapa, o de alta temperatura, la solución recibe calor directamente del quemador.

En la segunda, o de baja temperatura la solución recibe una aportación de calor procedente del vapor del refrigerante antes de pasar al condensador mediante un intercambiador.

4.2.1.3. Según la sustancia que componga la solución

Los más habituales son los siguientes:

Bromuro de Litio - agua:

Equipos que utilizan una solución compuesta de bromuro de litio, como sustancia absorbente, y agua como refrigerante. Estos equipos se caracterizan porque el enfriamiento en absorbedor y condensador es por agua.

Amoníaco - agua:

Equipos que utilizan una solución compuesta de amoníaco y agua. Se utilizan para refrigeración de alimentos y como equipos de climatización de hasta 20 kW de potencia. En estos equipos, el solvente (agua) se evapora también con el refrigerante (amoníaco) y el enfriamiento en el absorbedor y en el condensador es, generalmente, por aire.

Otras:

Otros equipos utilizan otras soluciones menos habituales, por ejemplo: metilamina como refrigerante y agua como solvente, R-22 como refrigerante y dimetiléter de tetraetileno como solvente, metanol como refrigerante y Bromuro de Litio como absorbente, etc.

4.2.2. Ciclo de refrigeración

Como ya se ha mencionado, desde el punto de vista termodinámico, el ciclo de absorción no difiere sustancialmente del de compresión. En la absorción se realiza una compresión térmica del fluido refrigerante.

El principio de funcionamiento de los sistemas de absorción se basa en la afinidad que, entre ellas, tienen ciertas sustancias, por lo que se favorece el proceso de absorción química. Una de las sustancias (la más volátil) actúa como refrigerante y la otra como absorbente.

En un recipiente cerrado donde se ha insertado un intercambiador de calor (evaporador), se disminuye la presión hasta alcanzar los 6,5 mmHg y se deja caer gotas de agua sobre los tubos del mismo (figura 4.1).

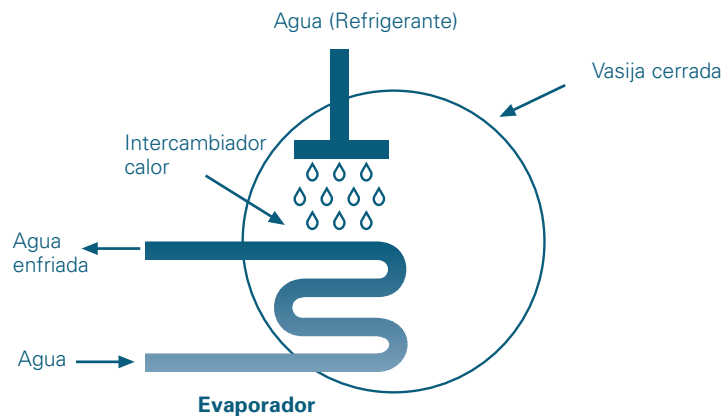


Figura 4.1 Evaporador

A esa presión, el agua se evapora a 5°C, tomando el calor necesario del agua que circula por el intercambiador que, por ello, se enfría. Esta agua, enfriada, se utiliza para la refrigeración del local que se quiera climatizar.

Introduciendo en el recipiente gotas de solución concentrada (absorbedor), de bromuro de litio, se absorbe el vapor de agua (figura 4.2).

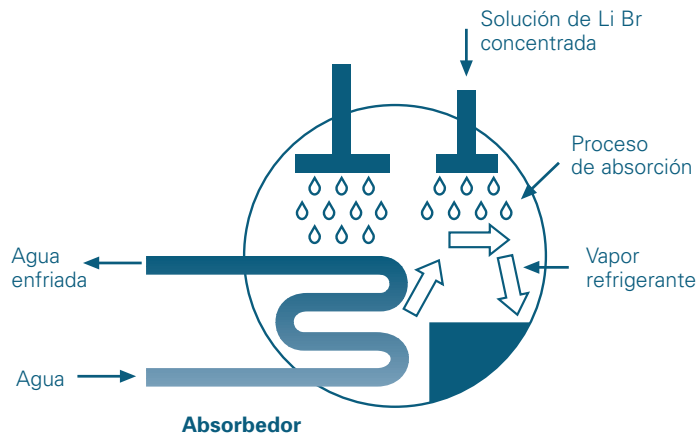


Figura 4.2 Absorbedor

Cuando la solución de bromuro de litio absorbe el vapor de agua refrigerante, se diluye y pierde su capacidad de absorber. Ello significa que se debería aportar continuamente al recipiente solución concentrada de bromuro de litio. No obstante, la solución diluida es calentada por un quemador de gas (generador).

El calor aportado por el gas hace hervir la solución generando vapor de agua, concentrando, al mismo tiempo, la solución, que será usada nuevamente como absorbente (figura 4.3).

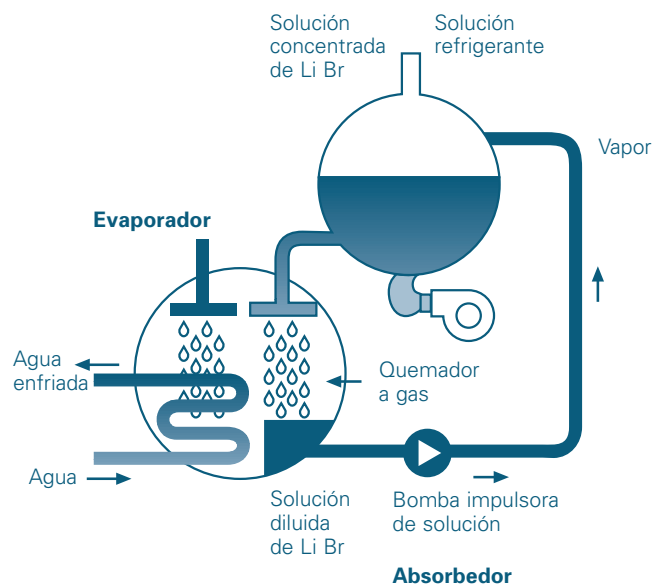


Figura 4.3 Absorbedor-Evaporador

El vapor refrigerante, separado de la solución diluida, es enfriado en un compartimento separado (condensador) hasta pasar a fase líquida; a continuación se introduce en forma de gotas en el recipiente, donde existe prácticamente un vacío, repitiéndose el ciclo (figura 4.4).

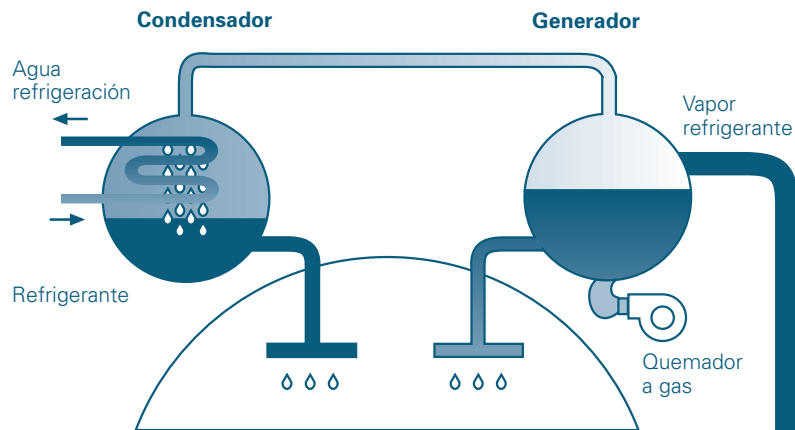


Figura 4.4 Generador-Condensador

De esta manera, el agua de refrigeración, en el condensador, enfría el vapor refrigerante hasta convertirlo en agua, mientras que, en el absorbedor, recoge el calor cedido por el vapor refrigerante al ser absorbido por la solución de bromuro de litio (figura 4.5).

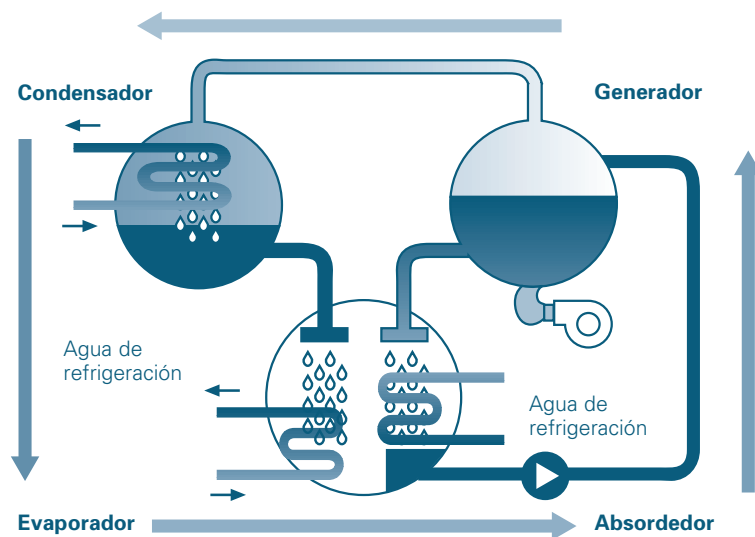


Figura 4.5 Ciclo de absorción

Éste es el funcionamiento del ciclo de simple efecto. Con el doble y el triple efecto se consigue una mayor eficiencia.

4.2.3. Ciclo de calefacción

Para que el equipo esté disponible para operar en ciclo de calefacción, sólo se requiere la apertura de la válvula desviadora, que permite el paso directo del vapor refrigerante evitando que pase al condensador, a la vez que se intercepta el flujo de agua de enfriamiento.

En el evaporador el vapor calienta un fluido, como el agua, que circula por el interior de un haz de tubos. Dicho fluido calentado es apto para ser utilizado en una instalación de calefacción.

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

Los equipos de producción de frío con 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 natural como combustible en vez de la electricidad reduce los costes de explotación debido a la alta relación de precios existente entre ambos.

Además, se obtienen altos rendimientos de la energía primaria pudiéndose emplear el calor residual procedente de procesos industriales o sistemas de cogeneración.

El equipo de absorción de llama directa de gas natural utiliza directamente energía primaria y su REP (Rendimiento Energético Primario) es mayor al correspondiente a una bomba de calor eléctrica.

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.

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

A diferencia de los sistemas eléctricos de compresión los sistemas de absorción con gas natural pierden muy poco rendimiento cuando funcionan a carga parcial, lo que contribuye a disminuir los costes energéticos. Además también permiten una instalación modular.

Silenciosas

Al no llevar ni motor ni compresor, los equipos de absorción son más silenciosos que los de compresión. Puesto que las únicas partes móviles que llevan son las bombas de la solución y el refrigerante, los hace especialmente atractivos en aplicaciones tales como zonas residenciales, teatros, etc.

Menor mantenimiento

Al no llevar partes móviles, circuitos de aceite, etc., los equipos de absorción requieren menos mantenimiento que los sistemas de compresión. Hay que indicar, sin embargo, que este mantenimiento es más especializado al ser una tecnología todavía no habitual.

Fiabilidad en el funcionamiento

En países tales como Japón y EEUU en los que se han producido la mayoría de diseños de las máquinas de absorción existen ya miles de unidades instaladas para usos de climatización en aplicaciones tanto domésticas (normalmente centralizadas) como en grandes edificios de oficinas, comerciales, hoteles, hospitales, etc.

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.

Además las máquinas de absorción no utilizan CFC's ni HCFC's, que son causantes del efecto invernadero y la destrucción de la capa de ozono.

Inversión inicial

Si bien el coste de mercado de los equipos de absorción 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.

Complementan instalaciones de cogeneración

En el sector terciario es algunas veces problemática la viabilidad de instalaciones de cogeneración por la baja demanda de calor en la época estival. Este calor sobrante se puede aprovechar para producir refrigeración mediante equipos de absorción. La combinación de la cogeneración más absorción es llamada trigeneración.

6 Rendimiento de los equipos de frío por absorción 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.

El COP de un equipo de absorción a gas natural viene reflejado con la siguiente ecuación:

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

Puesto que el COP no tiene unidades, tanto el numerador como el denominador de la ecuación deben tener las mismas unidades. El denominador de la ecuación ha de estar basado en el poder calorífico superior del gas natural.

La tabla 6.1 muestra el COP de los diferentes tipos de máquinas de absorción:

Tipo de máquina de absorción	COP a plena carga
Simple efecto	0,6
Doble efecto	1
Triple efecto	1,6

Tabla 6.1: COP de una máquina de frío por absorción 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 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
Motor eléctrico	2,0 - 4,0	0,39	0,78 - 1,56
Máquina de absorción	0,6 - 1,6	0,95	0,57 - 1,52

Además, se debe tener en cuenta que el rendimiento a carga parcial, esto es entre 40 y 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 absorción a gas natural

El equipo de absorción está formado por un recipiente de acero conteniendo el condensador, el evaporador y el absorbedor, un generador de calor (dos en los equipos de doble efecto), unos intercambiadores de calor y un sistema de regulación y control. En particular se contempla el caso de los equipos de Bromuro de litio-agua pero con los de NH_3 -agua el funcionamiento es similar.

7.1. Evaporador

Lo constituye un haz de tubos de cobre por los que circula el agua a refrigerar, sobre cuya superficie se evapora el agua refrigerante que fluye desde unos distribuidores. La presión en el interior del envoltorio es muy baja (6 mm Hg) lo que hace que el agua se evapore a baja temperatura (5°C), extrayendo el calor latente de vaporización del agua a refrigerar que circula por el interior del haz de tubos.

7.2. Absorbedor

Ocupa una parte de la misma cámara del evaporador con el que está directamente comunicado. A él llega la solución de bromuro de litio concentrada y, dada la gran afinidad de este producto con el agua, absorbe el refrigerante en fase vapor procedente del evaporador. Como el bromuro de litio proviene del generador de calor (el de baja temperatura en el ciclo de doble efecto) y la presión en el recipiente es tan baja como en el evaporador, se hace necesario eliminar el calor, lo que se realiza a través de un haz de tubos de cobre por el que circula agua enfriada exteriormente, por ejemplo, en una torre de enfriamiento evaporativo. Para el caso de NH_3 -agua, sería en un radiador con unos ventiladores. Este circuito es común al del condensador con el que está en serie.

La solución de bromuro de litio y agua, diluida por el vapor absorbido, es enviada por la bomba de solución al generador de alta temperatura.

7.3. Generador de alta temperatura

Está formado por un haz de tubos en el que se calienta la solución diluida procedente del absorbedor, hasta llevarla a ebullición. Al ascender, se separa parte del vapor de agua de la solución de bromuro de litio incrementándose la concentración de ésta (se denomina solución semi-concentrada). El vapor de agua separado seguirá su camino para convertirse en refrigerante en las etapas posteriores.

El calentamiento en el generador, puede efectuarse, según los modelos, mediante un quemador de llama directa, dentro de un hogar donde cede calor a la solución diluida, o bien con un intercambiador de calor cuyo primario puede ser alimentado por vapor o agua caliente.

7.4. Generador de baja temperatura

En los equipos de doble efecto, un segundo generador, llamado de baja temperatura, actúa como intercambiador de calor aprovechando parte del calor contenido en el vapor de agua procedente del generador de alta temperatura, para obtener de nuevo vapor de agua de la solución semiconcentrada.

Con este vapor de agua liberado, la solución concentrada fluye hacia el absorbedor, mientras que el vapor se une al que procede directamente del generador de alta temperatura en el recipiente condensador.

7.5. Condensador

El condensador, que en los ciclos de doble efecto forma un único recipiente con el generador de baja temperatura, recibe el vapor de agua procedente de ambos generadores y lo condensa convirtiéndolo en líquido. Para ello el vapor es enfriado en contacto con el haz de tubos por el que circula el agua de enfriamiento exterior, procedente de una torre de enfriamiento evaporativo para los equipos de BrLi-agua y un radiador con ventilador para los de NH₃-agua.

7.6. Intercambiador de calor

La eficacia del ciclo de absorción descrito, se ve incrementada al intercambiar calor en dos puntos del circuito, sendos intercambiadores de calor de haz tubular, denominados de alta y baja temperatura respectivamente.

Con el de baja temperatura se utiliza el calor contenido en la solución concentrada procedente del generador de baja temperatura, para recalentar en una primera etapa, la solución diluida del absorbedor en su camino hacia el generador de alta temperatura.

Con el intercambiador de alta temperatura se utiliza el calor contenido en la solución semi-concentrada procedente directamente del generador de alta temperatura, para recalentar en una segunda etapa, la solución diluida que procede fría del absorbedor y del intercambiador de calor de baja temperatura, hacia el generador de alta temperatura.

Ambos intercambios reducen la energía necesaria para llevar a ebullición la solución diluida en el generador de alta temperatura, mejorando así el rendimiento del ciclo.

8 Dimensionamiento de los equipos

Una vez determinadas las necesidades de climatización para 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 de compresión.

La selección del equipo o los equipos se efectuará en función de las necesidades de refrigeración, de calefacción y, en los sistemas de cuatro tubos, en función de 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.

9 Consideración de diseño

9.1. Integración de los equipos de absorción con llama directa de gas natural en el diseño de la planta

Los equipos de absorción a llama directa de gas natural son susceptibles de funcionar con equipos eléctricos, con equipos de compresión con gas natural y con calderas.

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.

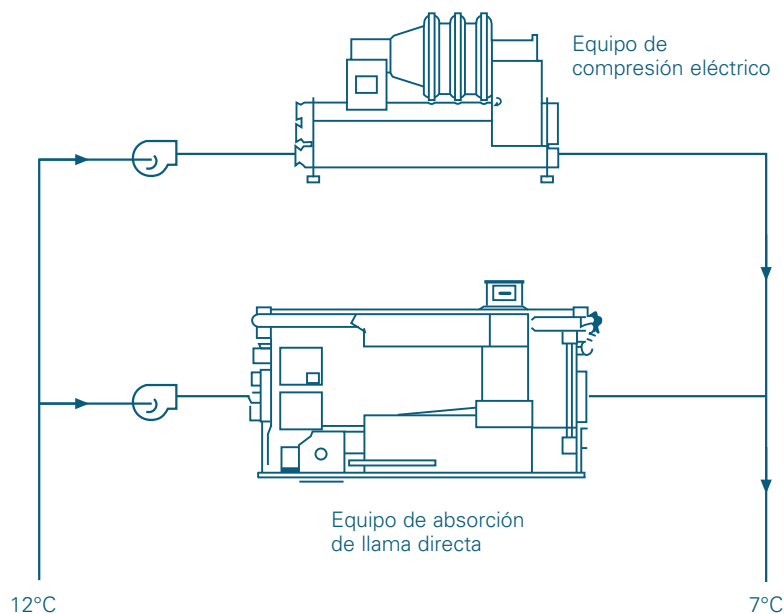


Figura 9.1 Funcionamiento en paralelo con equipo eléctrico

9.1.2. Con equipos de compresión a gas natural

Algunos equipos de compresión a gas natural 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.

9.2. Torre de refrigeración

Excepto en los equipos de amoníaco-agua, donde la condensación puede ser por aire, es necesario instalar una torre de refrigeración.

Las prestaciones de los equipos de absorción 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.

9.2.1. Elementos de control de la temperatura de agua de enfriamiento

Se ha mencionado la importancia de mantener la temperatura del agua de enfriamiento por debajo de un valor prefijado, para garantizar las prestaciones del equipo de absorción.

Si la temperatura es inferior, se detecta una ligera mejora en la eficiencia de la máquina para la misma capacidad de refrigeración. Sin embargo, una reducción excesiva de la temperatura del agua de ingreso al equipo, mantenida durante cierto tiempo, puede ser causa de problemas de funcionamiento, debido a la alteración del equilibrio de la concentración de la solución BrLi y agua.

Si tiene lugar una reducción de temperatura hasta cerca de los 24°C del agua de ingreso al equipo, y cuando la demanda de refrigeración es alta, puede provocarse un trasvase de sustancia absorbente al evaporador, inhibiendo el proceso de vaporización y reduciendo sustancialmente la capacidad de la máquina.

Si, por el contrario, la reducción de temperatura tiene lugar cuando la demanda de refrigeración es baja, tiene lugar una sobredilución del absorbente.

Por estas razones, es preciso mantener la temperatura del agua de enfriamiento por encima de un valor mínimo especificado por el fabricante. Para lograrlo, los sistemas de control de temperatura deben operar, bien reduciendo la capacidad de enfriamiento de la torre o bien reduciendo 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.

9.2.2. Funcionamiento de varios equipos de absorción en paralelo

Cuando varios equipos de absorción trabajan en paralelo, existen varias combinaciones posibles entre los equipos de absorción y las torres de refrigeración.

Puede diseñarse de manera que cada unidad de absorción disipe su calor mediante una torre de uso exclusivo, o que dos (o más) unidades de absorción utilicen una torre común para la disipación del calor, aunque su funcionamiento sea independiente.

En este segundo caso, cada unidad de absorción dispone de una bomba asociada que entra en funcionamiento cuando lo hace la unidad correspondiente.

El circuito se diseña para que el arranque o parada de una bomba no afecte al equilibrio del resto del circuito hidráulico, modificando el caudal en circulación de las restantes bombas.

Cuando sólo una de las bombas impulsa agua a la torre, baja la presión de aspersión y, por tanto, la superficie de intercambio agua-aire en la torre, con lo que se reduce su capacidad relativa de enfriamiento. Ahora bien, siendo la superficie de intercambio superior a la necesaria, para disipar el calor de este caudal parcial, ambos efectos quedan compensados, de modo que la torre es casi siempre capaz de enfriar este caudal parcial a la temperatura necesaria.

También puede diseñarse de manera que dos unidades de absorción utilicen una torre común para la disipación del calor. En este caso, una sola bomba aspira el agua de enfriamiento de la torre y la hace circular a través de los equipos de absorción.

El circuito se diseña y equilibra para que el caudal de agua que accede a cada unidad sea el necesario para el enfriamiento del proceso de absorción.

10 Consideraciones de instalación

10.1. Colocación y ubicación

Los equipos son proyectados para ser levantados desde arriba mediante cables de acero por las anillas de manera que el equipo no pierda su horizontalidad en el traslado según figura 10.1.

El diseño de algunos equipos permite el descomponer la máquina en dos o tres partes que simplifica su transporte y ubicación a edificios con acceso limitado o salas confinadas.

Normalmente, el evaporador, el absorbedor, el condensador y la segunda etapa del generador componen una misma sección, mientras que la primera etapa del generador compone otra. Cada una de las partes se transporta con una carga temporal de nitrógeno. Antes de la carga de la máquina con bromuro de litio se requiere un test de fugas para comprobar que la conexión de las partes se ha hecho correctamente.

La base sobre la que descansa el equipo debe ser de dimensiones amplias (se recomienda bancada de hormigón), tener las proporciones correctas, estar bien nivelada y ser robusta para soportar el peso. Entre la máquina y la bancada se colocan unos tornillos de nivelación (figura 10.2).

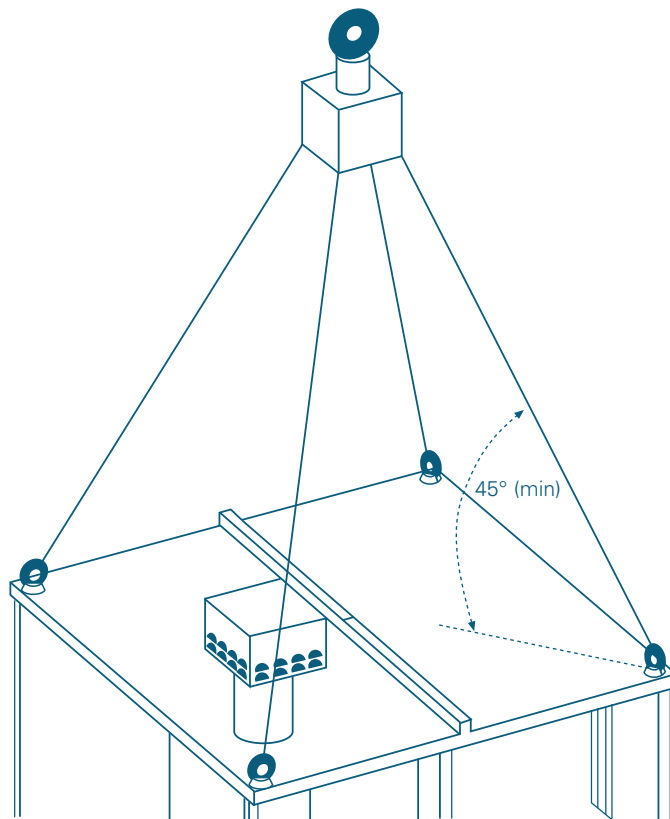


Figura 10.1 Elevación de la máquina

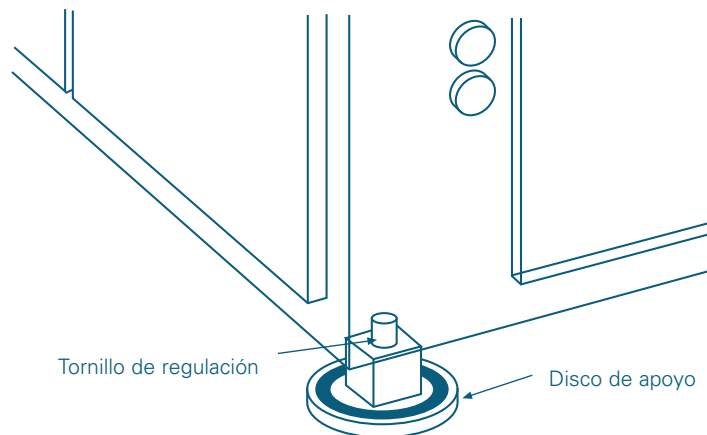


Figura 10.2 Colocación de la máquina

En el momento de escoger la ubicación se debe tener en cuenta la proximidad a la torre de refrigeración, de los colectores generales de agua fría-caliente y la salida de los gases quemados. 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. Los equipos de absorción llevan una envolvente para la intemperie apta para su instalación exterior o interior.

Es imprescindible que haya un acceso adecuado para el mantenimiento del equipo, ya que éste no puede funcionar de forma continuada sin el correspondiente mantenimiento. 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.

10.2. Nivel sonoro

Las máquinas de absorción con llama directa de gas están diseñadas para instalarse a la intemperie y la presión sonora a un metro de distancia de la cara de delante y a un metro y medio de altura, está entre los 62 y los 69 dB(A) si se instala entre uno y tres equipos.

Aunque el nivel sonoro es moderadamente bajo, puesto que las únicas partes móviles de estos equipos son las bombas de solución y de refrigerante, en el momento de determinar su ubicación, así como la de la torre de refrigeración, en su caso, debe tenerse en cuenta las características de los edificios circundantes, así como las normativas generales y municipales sobre ruidos, para no sobrepasar los límites permitidos.

10.3. Instalación de gas natural

Los componentes principales de la instalación de suministro de gas natural al quemador del equipo de absorción se muestran en el esquema de la figura 10.3.

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

La red de alimentación debe ser capaz de garantizar el caudal máximo de gas con una presión de 2,15 kPa.

Si la presión de la línea de gas natural es superior a la de alimentación, 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 de la máquina, 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 la máquina.

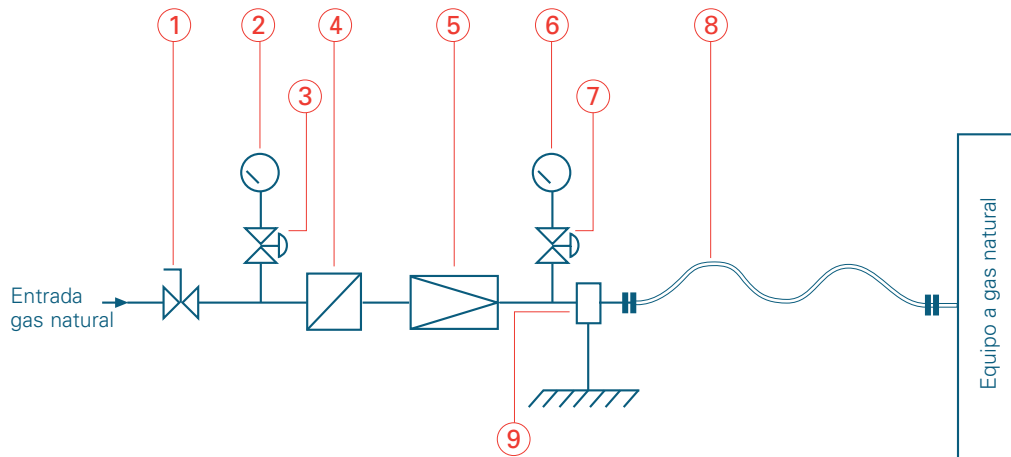
La instalación de un contador de gas natural para cada equipo, independientemente del de la compañía distribuidora, es aconsejable para evaluar consumos y rendimientos de cada máquina.

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 de éstos. Para equipos de pequeña potencia, es suficiente una válvula de cierre automático.

Antes de la rampa de gas natural de la máquina, 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.

En equipos de media y gran potencia, se debe instalar un tubo de evacuación de fugas de gas entre las dos válvulas de seguridad, provisto de un borboteador o visor de fugas. El tubo va provisto de una válvula de tipo solenoide, que se abre cuando se cierran las válvulas solenoide. El borboteador permite detectar visualmente las fugas de gas por cierre inadecuado de las válvulas solenoide o falta de estanqueidad de las mismas. En el caso de equipos de pequeña potencia, el tubo de fugas se sitúa entre la válvula de cierre automático y la máquina.



- | | |
|--|---|
| ① Válvula de corte | ⑥ Manómetro escala 0÷25 mbar para gas natural |
| ② Manómetro de alta (cuando haya reductor) | ⑦ Válvula pulsadora |
| ③ Válvula pulsadora | ⑧ Conexión flexible |
| ④ Filtro | ⑨ Aislante dieléctrico |
| ⑤ Reductor (cuando sea necesario) | |

Figura 10.3 Esquema conexión instalación de gas natural

10.4. Instalación eléctrica

10.4.1. 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%.

10.4.2. Conexiones de potencia (Figura 10.4)

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.

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

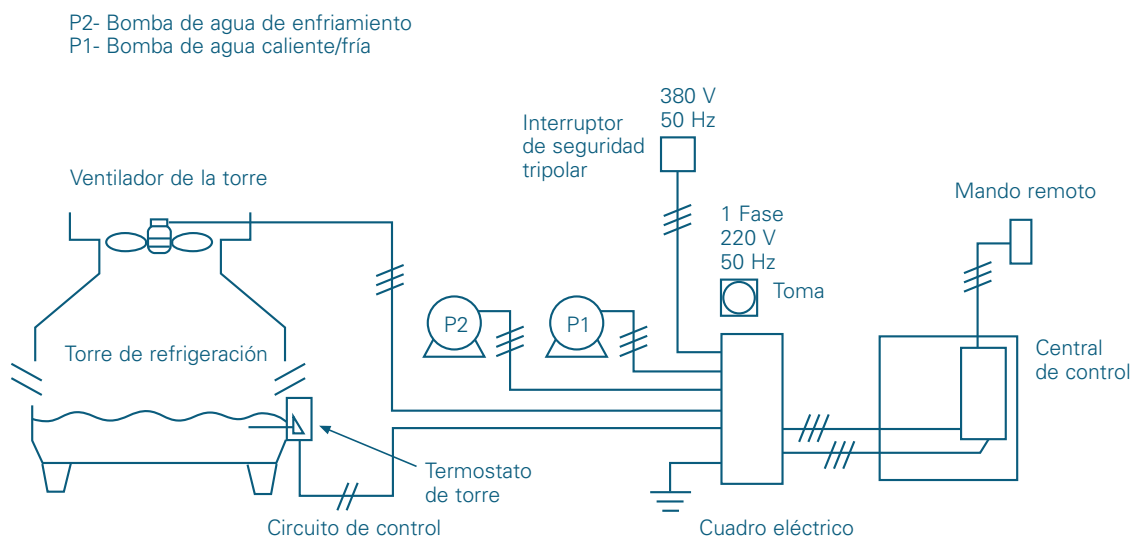


Figura 10.4 Descripción de las conexiones eléctricas de una instalación con una sola máquina

10.5. Evacuación de los productos de la combustión

Estas instalaciones tienen como función la evacuación de los productos de la combustión 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.

En las situaciones en que la instalación de los equipos debe ser en recintos cerrados los gases de escape deben ser conducidos al exterior como se representa en la figura 10.5. En estos casos también se seguirá la normativa de aplicación vigente.

Si se instalaran varios equipos, la instalación debe hacerse como se indica en la figura 10.6.

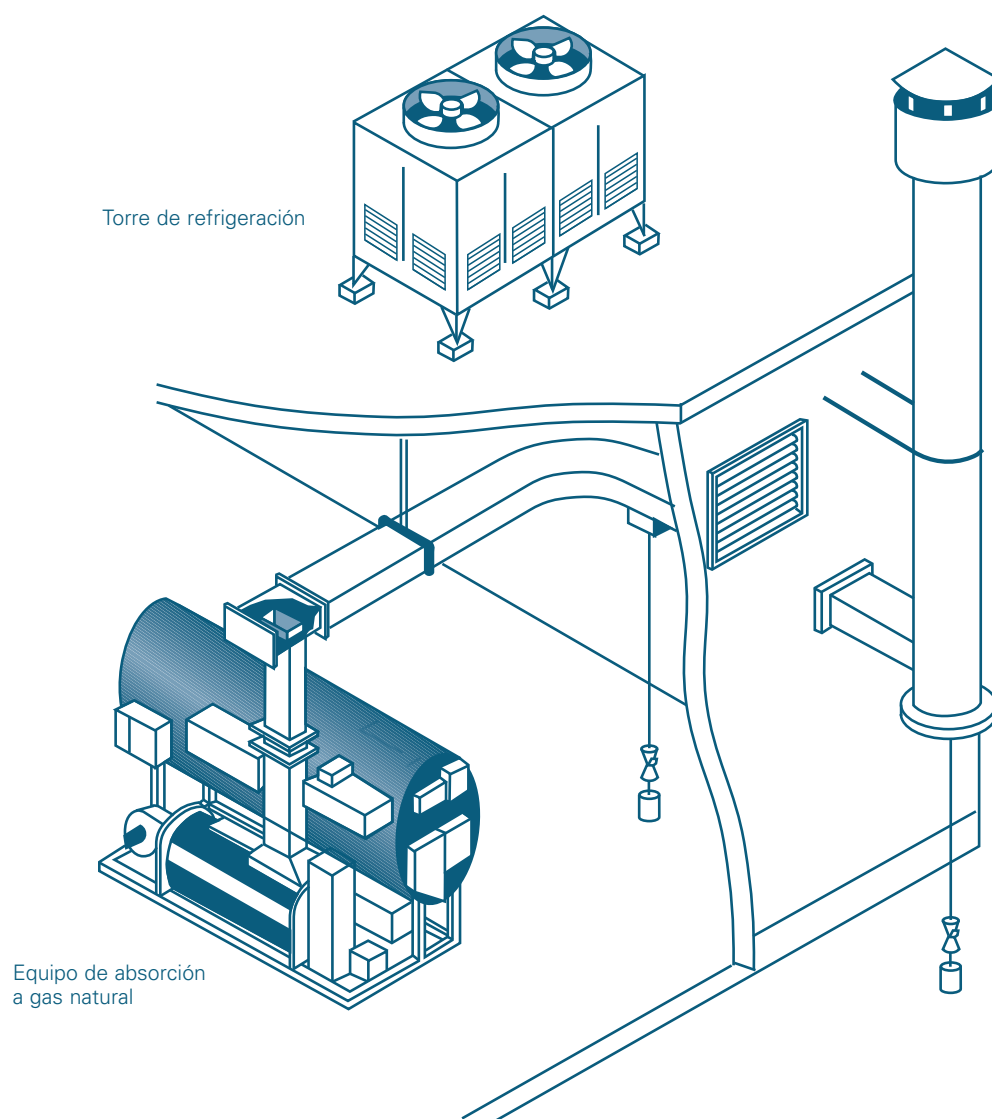


Figura 10.5 Evacuación de los productos de combustión de un equipo de absorción

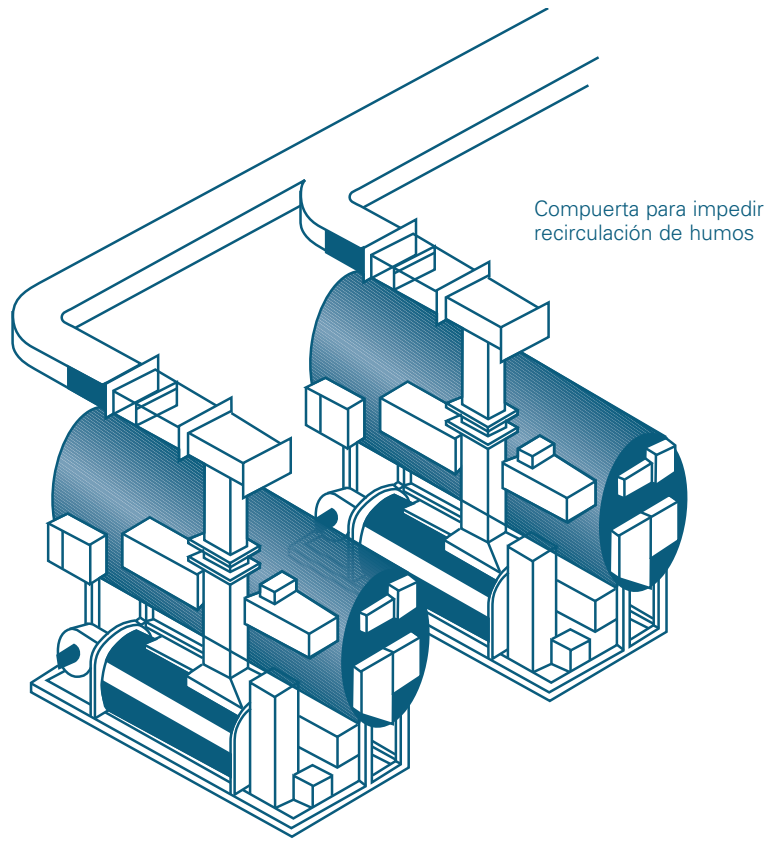


Figura 10.6 Evacuación de los productos de la combustión instalaciones con varios equipos

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.

11 Consideraciones de control, regulación y seguridad

Los equipos comerciales de climatización por absorción con llama directa de gas natural están diseñados para funcionamiento automático totalmente desasistido. 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.

Los controles están configurados en dos niveles:

1. Nivel de seguridad de los equipos y componentes de la instalación, para evitar situaciones de funcionamiento anómalo y averías.
2. Nivel de control de las variables del sistema, que el caso de una instalación de aire acondicionado, son las condiciones de confort.

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, 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 estos equipos, 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, 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.

11.1. Situación a cargas parciales

A un incremento de la temperatura de agua de salida corresponde, para la misma capacidad frigorífica, un consumo menor. Como orientación, el consumo decrece en un 3% por cada 0,6°C de incremento de temperatura de agua de salida. Por esta razón, es conveniente producir agua a temperaturas superiores a la nominal.

En cualquier caso, cada situación debe ser analizada detenidamente, ya que la capacidad de eliminación de humedad decrece con el nivel térmico del agua que circula por las de los climatizadores y esto puede afectar al control de humedad.

La parada de la máquina de absorción favorece la eficiencia de la misma y reduce el consumo de combustible. La razón es la elevación de temperatura del agua durante la parada.

11.2. Cuadro eléctrico

Con objeto de asegurar la secuencia de las actuaciones de los componentes auxiliares de la instalación, es bastante habitual que el panel de control de las unidades de absorción incorpore la mayor parte de los comandos de actuación de los componentes auxiliares más importantes, es decir:

- Arranque-parada de electrobomba de circulación de agua enfriada-caliente.
- Arranque-parada de electrobomba de circulación de agua de enfriamiento.
- Arranque-parada de ventilador de torre, en serie con el contacto del termostato de agua de la torre.

El cuadro eléctrico de la planta se desarrollará en base a los requisitos del fabricante, disponiendo los elementos de actuación, enclavamiento y señalización necesarios.

La mayor parte de los equipos de absorción disponen de la posibilidad de arranque y parada remotos y de la señalización a distancia del estado de las máquinas, alarmas y modo de funcionamiento.

Todas las posibilidades que ofrece el panel de control de máquina serán incorporadas en el cuadro de maniobra, de este modo se facilitaran las operaciones de arranque-parada y supervisión de las máquinas.

12 Funcionamiento de los equipos

12.1. Puesta en servicio

Antes de poner en marcha la máquina, se debe comprobar todos los elementos auxiliares de la instalación, controlar la presión del gas natural, el sentido de giro de los ventiladores y de la bomba de agua fría.

12.2. Funcionamiento en refrigeración

- Arranque de las bombas de agua enfriada.
- Verificación del paso de un flujo suficiente de agua a través del evaporador, generalmente mediante un interruptor de flujo.
- A continuación, después de algunos segundos, arranque de las bombas de agua de enfriamiento del absorbedor, condensador y puesta en funcionamiento del motoventilador de la torre, si la temperatura del agua es superior a la de consigna.
- Arranque de la bomba (o bombas) de solución.
- Previamente al arranque de la bomba de refrigerante y encendido del sistema de combustión, se analiza la demanda de refrigeración del sistema que, en general, se determina en función de la temperatura de salida del agua enfriada. Si dicha temperatura es superior a la de consigna, el sistema de control selecciona el modo de operación "ON" y si es inferior, se mantiene en modo de operación "OFF".
- Si el modo de operación es "ON" y después de unos segundos, se pone en funcionamiento el soplante del quemador a la máxima capacidad y se abre al máximo la compuerta de aspiración de aire, con objeto de efectuar un barrido de gases no evacuados por la chimenea.
- Verificación del paso de flujo de aire por la cámara de combustión y al cabo del tiempo requerido para un perfecto barrido de productos de combustión, cambio de la velocidad del soplante a la mínima y activación de la llama piloto.

- Verificación de la presencia de la llama piloto y apertura de las válvulas de suministro de gas natural al quemador.
- Confirmación del encendido del sistema de combustión y arranque de la bomba de refrigerante. Bloqueo de arranque de máquina en caso de fallo en el encendido.

Para adaptar la producción a la demanda de refrigeración, el sistema de control actúa modulando la capacidad del quemador lo necesario para mantener la temperatura de consigna del agua de salida. En el caso de quemadores de una sola etapa, el control es por encendido/apagado del sistema de combustión.

La respuesta de la máquina a la situación de demanda mínima, inferior a un valor dado, consiste en el bloqueo de suministro de gas natural por cierre de válvulas, parada del soplante de quemador y parada de bomba de refrigerante, permaneciendo en funcionamiento la bomba de solución, la bomba de agua enfriada y la bomba de agua de torre.

El siguiente paso es la parada de la bomba de solución y las bombas de agua enfriada y agua de torre permanecerán o no en funcionamiento en función de cómo se programe la gestión de la planta.

12.3. Funcionamiento en calefacción

- Arranque de las bombas de circulación de agua caliente.
- Verificación del paso de flujo de agua a través del evaporador, generalmente mediante un interruptor de flujo.
- A continuación, después de algunos segundos, apertura total de la válvula de orificio condensador-evaporador.
- Arranque de la bomba de solución. La bomba de refrigerante permanece parada durante el funcionamiento en calefacción, excepto que la temperatura del refrigerante sea alta, del orden de los 80°C.
- Antes del arranque de la bomba de solución y encendido del sistema de combustión, el sistema de control analiza la demanda de calefacción en función de la temperatura de salida del agua caliente. Si dicha temperatura es inferior a la de consigna, el sistema selecciona el modo de operación "ON" y si es superior se mantiene en modo de operación "OFF".
- Si el modo de operación es "ON" y después de unos segundos, puesta en funcionamiento del soplante del quemador a la máxima capacidad y apertura máxima de la compuerta de aspiración de aire, con objeto de efectuar un barrido de gases no evacuados por la chimenea.
- Verificación del paso de flujo de aire por la cámara de combustión, cambio de la velocidad del soplante a la mínima y activación de la llama piloto.
- Verificación de la presencia de la llama piloto y apertura de las válvulas de suministro de gas natural al quemador.

- Confirmación del encendido del sistema de combustión y bloqueo de arranque de máquina en caso de fallo en el encendido.

Para adaptar la producción a la demanda de calefacción, el sistema de control actuará modulando la capacidad del quemador lo necesario para mantener la temperatura de consigna del agua caliente de salida.

La respuesta a la situación de demanda mínima, inferior a un valor dado, consiste en el corte de suministro de gas natural por cierre de válvulas, parada de sopla de quemador y parada de bomba de refrigerante, permaneciendo en funcionamiento la bomba de solución y las bombas agua caliente.

El siguiente paso es la parada de la bomba de solución y las bombas de agua caliente permanecerán o no en funcionamiento en función de cómo se programe la gestión de la planta.

12.4. Parada del equipo

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

12.4.1. 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.

12.4.2. 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.

12.4.3. 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.

13 Consideraciones de mantenimiento

Una correcta instalación de las máquinas de absorción y de los componentes auxiliares del sistema, así como un adecuado mantenimiento, es la clave para garantizar su duración y fiabilidad de funcionamiento.

Las máquinas de absorción tienen muy pocas partes móviles, por lo tanto, precisan unas tareas mínimas de supervisión y mantenimiento. Así, una vez que los equipos de absorción y el resto de los componentes han sido correctamente instalados, ajustados y probados, su funcionamiento se puede considerar prácticamente desatendido. La presencia del operador se requiere, muy de vez en cuando, para efectuar la purga de incondensables.

En el caso de instalaciones con grandes equipos de absorción, aunque la atención a los equipos es inferior a la que se precisa en los equipos de compresión, es conveniente una cierta rutina de mantenimiento y de control periódico, con el equipo en funcionamiento. El objeto es asegurar la eficiencia de los equipos, alargar su vida útil y minimizar los riesgos de avería.

Estas supervisiones pueden ser realizadas por personal propio de mantenimiento que ha recibido la instrucción adecuada.

Existen otras operaciones de mantenimiento que requieren parada del equipo, algunas de las cuales pueden ser efectuadas por personal de mantenimiento propio y otras requieren la presencia de personal de asistencia técnica del fabricante.

13.1. Componentes metálicos

Las máquinas de absorción de llama directa incorporan los siguientes componentes mecánicos móviles:

- Bomba o bombas de circulación de solución.
- Bomba de refrigerante no vaporizado en el evaporador.
- Elementos de purga de incondensables.
- Quemador.

13.2. Verificación de la combustión completa

El análisis de los gases producto de la combustión suelen hacerse una vez cada seis meses. 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 O₂ (oxígeno), CO₂ (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.

Las muestras a analizar se toman en el conducto de salida.

Si el quemador de un equipo de absorción por llama directa ha sido correctamente diseñado y ajustado, produce una combustión completa, el gas producto de la combustión contiene del orden de 3,5 al 4% de O₂ y el 9,5% de CO₂.

Una combustión pobre en aire (combustión incompleta o ineficiente) se detecta por el contenido de CO 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. Solución BrLi-agua

Muchos fabricantes de equipos de absorción utilizan aditivos inhibidores de corrosión que protegen los componentes internos y limitan la de hidrógeno libre, que es incondensable en las condiciones del proceso.

Asimismo, muchos equipos de media y gran potencia incorporan aditivos que incrementan la transferencia térmica y, por tanto, la capacidad frigorífica del equipo, sobre todo en la fase de inicio del proceso de absorción.

Para mantener la eficiencia y protección de la máquina, se aconseja un análisis periódico de la solución, para verificar si el contenido de inhibidores de corrosión y de aditivos de mejora de transferencia térmica está dentro de los límites aconsejables. Un análisis anual se considera suficiente, aunque es el fabricante del equipo el que establece la frecuencia adecuada.

13.4. Tratamiento de agua

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 13.1. 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 agua 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.

Tabla 13.1 Valores de referencia en el análisis de agua

Componente	Límite admitido
pH	6,0÷8,0 (a 25°C)
Conductividad	< 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25°C
Cl^-	< 200 ppm
SO_4^{2-}	< 200 ppm
Fe total	< 1,0 ppm
Alcalinidad M (CaCO_3)	< 100 ppm
Dureza total (CaCO_3)	< 200 ppm
S^{2-} S^{4-} S^{6-}	inexistente ppm
NH_4^+	inexistente ppm
SiO_2	< 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. Normalmente, estas operaciones no se reflejan en el manual del equipo de absorción, por lo que es preciso utilizar las hojas de instrucciones específicas de los elementos de control.

Los elementos de control de los equipos de absorción se pueden agrupar en dos grupos: los que controlan el proceso de absorción y los que controlan la combustión.

Los primeros no requieren apenas mantenimiento. En cuanto a los segundos, se requiere una inspección mensual o trimestral y ajuste de los reguladores de presión de combustible, verificación de la actuación de las válvulas de cierre y de los elementos de seguridad, en caso de fallo de llama.

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 absorción, así como las instalaciones de las que éstos formen parte, se realizarán conforme a 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

Los requisitos de estanqueidad del circuito frigorífico de los equipos de absorción sólo se requiere que el equipo sea probado a 2 bar.

Algunas marcas de equipos de absorción efectúan la prueba de estanqueidad introduciendo el equipo en una cámara estanca con atmósfera de helio y provocando un vacío en el circuito 1,5 veces superior del que se da en

condiciones de funcionamiento. La estanqueidad se determina por la medida de la pérdida de presión de la cámara.

14.1.3. RBT: Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión

La clasificación de la ubicación de componentes 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 absorción 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 de los mismos. Para la reducción de riesgos, se aplican entre otras las tres medidas siguientes:

1. Minimizar el riesgo de fugas, mediante uniones soldadas siempre que sea posible y la realización de pruebas de estanqueidad en fábrica y después en el emplazamiento.
2. Mantenimiento de la cámara por debajo del LIE (límite inferior de explosión), por ventilación natural o realizando un barrido de la cámara antes del encendido.
3. Evitar o reducir al máximo los puntos de ignición en la zona de riesgo y, cuando no sea posible, utilizar componentes antideflagrantes o de seguridad aumentada.

Estas medidas se aplican en todos los equipos de absorción a gas disponibles en el mercado español.

14.1.4. Reglamento de instalaciones de gas en locales a 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 EN 12309: Gas-fired absorption and adsorption air-conditioning and/or heat pump appliances with a net heat input not exceeding 70kW

Norma aprobada en octubre de 1998 y es de aplicación en todos los países miembros del CEN, como lo es España.

Y hace referencia a los equipos de absorción para aire acondicionado y/o bomba de calor con un caudal calorífico de entrada neto (referido al PCI) que no exceda los 70kW.

Es una norma realizada en acuerdo con la Directiva de aparatos a gas.

14.2.2 RAP: Reglamento de Aparatos a Presión

Los recipientes que incorporan los equipos de absorción de BrLi-agua están sometidos a presiones absolutas inferiores a 1 bar, por lo que no son de aplicación los criterios de diseño y pruebas de este reglamento.

En cambio en los equipos de $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$, como alcanzan presiones de 18-20 bar, sí es de aplicación.

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

14.2.3 Directivas Europeas de Aplicación

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

- Directiva 90/396/CEE del Consejo sobre aparatos a gas.
- Directiva 73/23/CEE del Consejo sobre material eléctrico destinado a utilizarse con determinados límites de tensión.
- Directiva 97/23/CEE del Consejo sobre equipos a presión (de aplicación a partir del 2002).
- Directiva 93/68/CEE del Consejo que modifica entre otras la Directiva 90/396/CEE y 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 una hoja de Microsoft Excel '97 sobre las 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 170 kW y la calorífica de 150 kW para una utilización de 1.876 horas en la temporada de verano, con un coeficiente de uso de 40%, y de 3.234 horas en invierno, con un coeficiente de uso de 45%. Como alternativa a gas natural, se ha elegido un equipo capaz de producir 176 kW de potencia frigorífica y 211 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 alternativa se obtiene con Valor Actualizado Neto (VAN) a los 10 años 777.828 ptas con una Tasa de Rentabilidad Interna (TIR) del 25% y un tiempo de retorno (PAY-BACK) de 3,5 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. Para dicha situación se proponen dos tipos de soluciones: una de absorción 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)	170	Potencia térmica máxima (kW)	150
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.)	10
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	176 kW	180 kW
COP frío	1,00	3,75
Potencia térmica	211 kW	163 kW
COP calefacción	0,83	3,40
Potencia eléctrica	1,53 kW	48 kW
Consumo gas verano	176 kW	0 kW
Consumo gas invierno	254 kW	0 kW

Coste de Mantenimiento

	Gas natural	Eléctrica
Ptas/hora de funcionamiento	40	38

Factor de potencia

	Gas natural	Eléctrica
COS FI	1	1

4. Inversiones (sin IVA)

Opción	Gas natural	Eléctrica
Equipos	4.600.000	4.800.000
Instalación eléctrica	0	300.000
Instalación gas	100.000	0
Otras inversiones (torre refrig., etc)	1.000.000	0
Total inversión	5.700.000	5.100.000
Sobreinversión (opción gas natural respecto opción eléctrica)		600.000

5. Evaluación energética

Opción	Gas natural	Eléctrica	Gas natural	Eléctrica
Frío			Calor	
Potencia frigorífica máxima (kW)	170	170	Potencia térmica máxima (kW)	150
Utilización			Utilización	
Horas/día	14	14	Horas/día	14
Días/año	134	134	Días/año	231
Horas/año	1.876	1.876	Horas/año	3.234
Coefficiente de uso	40%	40%	Coefficiente de uso	45%
Equipo propuesto	-	-	Equipo propuesto	-
Potencia frigorífica (kW)	176	180	Potencia calefacción (kW)	211
Frío producido (kWh/año)	127.568	127.568	Calor producido (kWh/año)	218.295
Horas equivalentes a plena carga	725	709	Horas equivalentes a plena carga	1.035
Carga parcial máquina	38,6%	37,8%	Carga parcial máquina	32,0%
Consumo eléctrico (kWh/año)	1.109	34.018	Consumo eléctrico (kWh/año)	1.583
Consumo gas (teS/año)	121.493	0	Consumo gas (teS/año)	250.482

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

Opción	Gas natural	Eléctrica
Parte proporcional término fijo potencia eléctrica	4.323	135.621
Término energía eléctrica	37.067	1.352.505
Término discriminación horaria	7.413	270.501
Término reactiva	-1.656	-59.525
Parte proporcional término fijo gas natural	132.000	0
Término energía gas natural	1.345.435	0
Total gas natural	1.477.435	0
Total electricidad	47.147	1.699.102
Mantenimiento	88.228	83.817
Total	1.612.810	1.782.919
Ahorro anual (s/IVA) opción gas natural respecto opción eléctrica		170.109

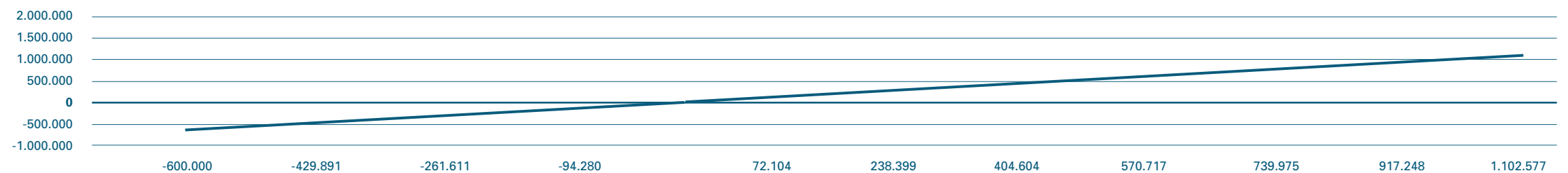
Los precios de la electricidad incluyen el impuesto eléctrico = 5,113%

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%
Costes de operación											
Opción eléctrica											
Coste electricidad:											
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		1.352.505	1.338.980	1.332.285	1.325.654	1.325.624	1.325.624	1.325.624	1.328.275	1.334.916	1.341.591
T. discriminación horaria		270.501	267.796	266.457	265.125	265.125	265.125	265.125	265.655	266.983	268.318
T. energía reactiva		-59.525	-58.930	-58.635	-58.342	-58.342	-58.342	-58.342	-58.459	-58.751	-59.045
Coste gas natural:											
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
Total coste energético		1.699.102	1.682.111	1.673.700	1.665.332	1.665.332	1.665.332	1.665.332	1.668.663	1.677.006	1.685.391
Coste mantenimiento		83.817	85.409	87.032	88.685	90.371	92.088	93.837	95.620	97.437	99.288
Total coste operación		1.782.919	1.767.520	1.760.732	1.754.017	1.755.703	1.757.420	1.759.283	1.764.283	1.774.443	1.784.679
Opción gas											
Coste electricidad:											
Parte proporcional T. fijo		4.323	4.280	4.258	4.237	4.237	4.237	4.237	4.245	4.267	4.288
T. energía		37.067	36.696	36.512	36.330	36.330	36.330	36.330	36.402	36.584	36.767
T. discriminación horaria		7.413	7.339	7.302	7.266	7.266	7.266	7.266	7.280	7.317	7.353
T. energía reactiva		-1.656	-1.639	-1.631	-1.623	-1.623	-1.623	-1.623	-1.626	-1.634	-1.642
Coste gas natural:											
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		1.345.435	1.331.980	1.325.320	1.318.694	1.318.694	1.318.694	1.318.694	1.318.694	1.318.694	1.318.694
Total coste energético		1.524.582	1.509.336	1.501.789	1.494.280	1.494.280	1.494.280	1.494.280	1.494.373	1.494.604	1.494.837
Coste mantenimiento		88.228	89.904	91.613	93.353	95.127	96.934	98.776	100.653	102.565	104.514
Total coste operación		1.612.810	1.599.240	1.593.402	1.587.407	1.589.407	1.591.215	1.593.056	1.595.025	1.597.169	1.599.351
CASH FLOW diferencia adi		170.109	168.280	167.331	166.384	166.295	166.205	166.113	169.257	177.274	185.328
Sobreinversión	600.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Inversión acumulada	600.000	600.000	600.000	600.000	600.000	600.000	600.000	600.000	600.000	600.000	600.000
Flujos de caja netos adi	-600.000	170.109	168.280	167.331	166.384	166.295	166.205	166.113	169.257	177.274	185.328
Flujos de caja acum. adi	-600.000	-429.891	-261.611	-94.280	72.104	238.399	404.604	570.717	739.975	917.248	1.102.577



VAN (10 años) adi
TIR adi
PAY-BACK adi

777.828 ptas
25%
3,5 años

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

Diciembre de 1999