

# CO<sub>2</sub> y amoníaco en instalaciones de refrigeración industriales

Requisitos, consejos y soluciones para elegir las bombas

**Adrian Schäfer**

Director de producto, bombas de refrigerante

**Christoph Galli**

Departamento comercial, bombas de refrigerante

CO<sub>2</sub> y amoníaco en instalaciones de refrigeración industrial

Adrian Schäfer, Christoph Galli

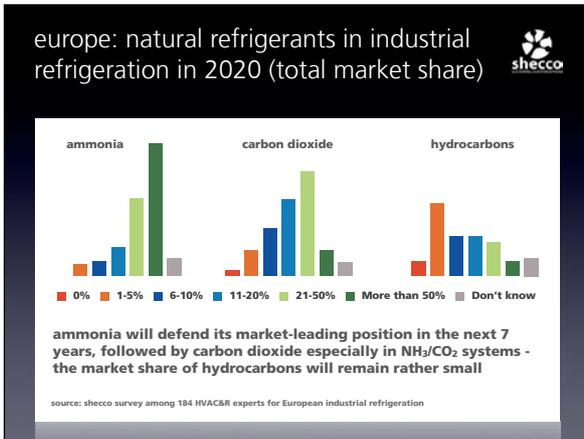


Figura 1: Europa: porcentaje de refrigerantes naturales en instalaciones de refrigeración industrial en 2020 – Resultado de la encuesta de 2014, Fuente: Market trend update on industrial & light-commercial refrigeration (Presentación de Shecco Japan, Tokio, 04/02/2014)

El fabricante de bombas HERMETIC, con sede en Gundelfingen, confirma la tendencia pronosticada a la luz de la nueva directriz sobre el F-Gas (Fig. 1) para el uso de amoníaco y CO<sub>2</sub> en instalaciones de refrigeración grandes. Estos refrigerantes tienen un potencial de efecto invernadero muy bajo o nulo y no son contaminantes cuando se expulsan en pequeñas cantidades. Sin embargo, ello no significa que el amoníaco y el CO<sub>2</sub> no sean peligrosos para el ser humano. HERMETIC explica los requisitos técnicos de las bombas de refrigerante en relación con esas sustancias y ofrece consejos para elegir las bombas.

Como refrigerante, el amoníaco destaca por su respeto por el medio ambiente y por su gran rentabilidad. Esto se debe a sus buenas propiedades termodinámicas. El principal inconveniente es que el amoníaco tiene un olor desagradable y es tóxico para el ser humano. La inhalación de gases de amoníaco en grandes concentraciones puede ser mortal. Por este motivo, el uso del amoníaco conlleva unos requisitos de seguridad muy estrictos y requiere que la instalación y los componentes sean herméticos. El CO<sub>2</sub> también es peligroso en grandes cantidades. El principal problema del CO<sub>2</sub> como refrigerante está en las altas presiones de servicio. El hecho de necesitar tuberías más gruesas y componentes que soporten la presión aumenta las exigencias para los materiales y la construcción. Por su baja viscosidad, un sistema de CO<sub>2</sub> no requiere mucho trabajo por parte de la bomba, aunque, por otro lado, los componentes se deben lubricar más y deben ser más resistentes al desgaste. A eso hay que sumarle que en la tecnología de bombas moderna hay que tener en cuenta el coste del ciclo de vida y garantizar una buena eficiencia energética.



CO<sub>2</sub> y amoníaco en instalaciones de refrigeración industrial

Adrian Schäfer, Christoph Galli

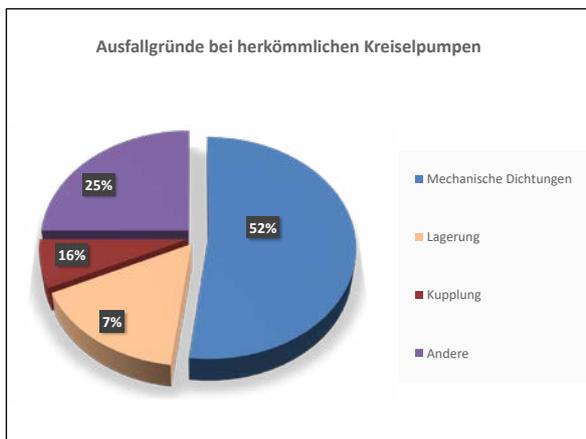


Figura 2: Motivos de fallo de las bombas centrífugas convencionales. Fuente: Wallace, N. M. David, T. J.: Pump reliability improvements through effective seals and coupling management Proceedings of the 15th international pump users symposium, HOUSTON 1998

## INSTALACIONES DE REFRIGERACIÓN INDUSTRIALES

Actualmente, en las instalaciones de refrigeración industriales se da preferencia al uso de componentes en los cuales el refrigerante también circula en el lado de baja presión. Esos sistemas poseen un circuito de refrigeración principal y otro secundario, por el cual circula una cantidad de refrigerante superior a la que se evapora en el evaporador como consecuencia de la absorción térmica. Este factor es importante para el diseño de la bomba.

## TIPO DE BOMBA PREFERIDO PARA LAS BOMBAS CENTRÍFUGAS

Para las bombas de refrigerante se utilizan preferentemente bombas centrífugas (bombas rotativas). Entre sus ventajas se encuentran la simplicidad estructural, la gran duración, la resistencia al desgaste y los costes de mantenimiento bajos. En una bomba centrífuga convencional, la fuerza centrífuga expulsa el fluido del rodete hacia fuera. La fuerza mecánica del eje de accionamiento se transfiere al fluido en forma de velocidad. En la carcasa situada a continuación o el distribuidor, la velocidad del fluido se convierte en presión. De esta manera, se genera un caudal prácticamente libre de pulsos. Además, se genera una depresión en la entrada del rodete. Por este motivo, hay que garantizar una presión previa suficiente y el suministro continuo de fluido. El punto débil de este accionamiento es la salida del eje de la carcasa, que se debe sellar con una junta. Los prensaestopos o sellos mecánicos que se utilizan para ello pueden congelarse con temperaturas bajas y romperse al arrancar la bomba. La construcción también puede aumentar el desgaste en los rodamientos radiales y axiales. Los análisis de errores demuestran que más del 50 % de los fallos en las bombas se deben a fugas en el sello mecánico/prensaestopos, y el 16 % a fallos en los rodamientos de bolas (Fig. 2). Para evitar estas causas de fallo, la mejor opción son las bombas de motor encapsulado herméticas.

## **BOMBAS CENTRÍFUGAS HERMÉTICAS**

Dadas las altas exigencias de estanqueidad, para las instalaciones de amoníaco y CO<sub>2</sub> se recomienda utilizar bombas centrífugas herméticas. Para el sistema de accionamiento, hay disponible un acople magnético y un motor encapsulado.

### **Motor encapsulado**

En la bomba de motor encapsulado, el sistema hidráulico y el motor de accionamiento están integrados en una sola unidad. Puesto que este principio de diseño no contiene piezas que giren hacia fuera, tampoco se requiere ningún sistema de estanqueidad del eje. La camisa, que está hecha principalmente de acero inoxidable o Hastelloy, separa el compartimento del motor lleno de medio del estátor seco. Al mismo tiempo, constituye la primera envoltura de seguridad de la bomba de motor encapsulado. Para mayor beneficio de la bomba de motor encapsulado, la camisa del motor constituye una segunda envoltura de seguridad. La combinación de ambas maximiza la seguridad. El caudal parcial (medio de impulsión) que circula por el compartimento del rotor se encarga, por un lado, de lubricar de forma permanente el rodamiento deslizante hidrodinámico y, por el otro, de refrigerar el motor encapsulado. El rotor y los rodets de la bomba de motor encapsulado están alojados en un eje común. El accionamiento se realiza mediante un motor trifásico normal. Puesto que la bomba y el motor constituyen una unidad, no es necesario alinear los ejes. Dado que solo se utilizan juntas estáticas, este principio de diseño permite un funcionamiento totalmente libre de fugas.

### **Acople magnético**

En las bombas centrífugas con acople magnético, los imanes permanentes están dispuestos como acople central coaxial y se accionan mediante un motor trifásico normal. Una cápsula fija entre los soportes exterior e interior de los imanes proporciona un sellado hacia fuera. Los rodamientos deslizantes se encuentran en el fluido del componente de la bomba. Este principio de diseño tiene la desventaja que, cuando hace frío, existe riesgo de que la condensación se

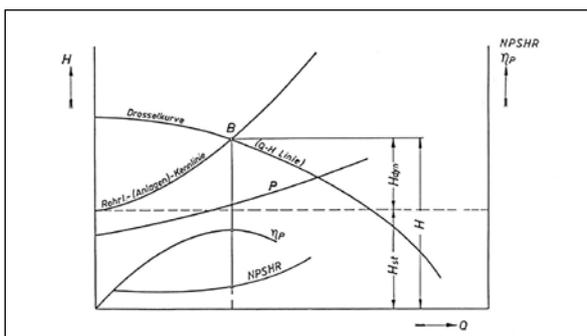


Figura 3: Curva característica de la instalación y curva característica Q-H de una bomba. Fuente: Robert Neumaier, Bombas herméticas – La solución ecológica para las bombas centrífugas y las bombas rotativas de desplazamiento positivo, Verlag und Bildarchiv W.H. Faragallah, 2. Auflage, 2008, pág. 18.

congele durante el funcionamiento, lo que sucederá sin lugar a dudas cuando la bomba esté parada. Para evitar que esto suceda, se requiere un trabajo técnico considerable, como, por ejemplo, el lavado permanente del accionamiento con nitrógeno. Otra causa de problemas es que el acople tiene un diseño complejo, alarga el sistema y puede provocar movimientos en los ejes, vibraciones y fugas en las interfaces motor-acople y acople-bomba. Esto favorece el desgaste y afecta negativamente al nivel de eficiencia.

## 10 CONSEJOS PARA DISEÑAR Y ELEGIR LAS BOMBAS AL UTILIZAR Y AMONIACO Y CO<sub>2</sub> EN EL SECTOR DE LA REFRIGERACIÓN

### 1. Estanqueidad de la bomba

El amoníaco es una sustancia tóxica que requiere grandes dosis de seguridad. De la misma manera, también hay que limitar al máximo la salida de gas al utilizar CO<sub>2</sub>. En este contexto, la mejor solución se encuentra en las bombas de motor encapsulado, ya que el motor y el sistema hidráulico constituyen una única unidad dentro de la carcasa de la bomba, dando lugar a un sistema hermético.

### 2. Coste de la inversión y del ciclo de vida

Las bombas convencionales no suelen estar a la altura con medios de impulsión como el amoníaco y el CO<sub>2</sub>. En comparación con otras tecnologías, las bombas de motor encapsulado muestran, en condiciones estáticas, los mejores valores de tiempo medio entre fallos (MTBF, Mean Time Between Failure). Gracias a su baja necesidad de mantenimiento y a una vida útil considerablemente mayor, el coste a largo plazo del ciclo de vida de las bombas de motor encapsulado es inferior al de otros tipos de bombas.

### 3. Diseño técnico de la bomba

El factor más importante en el diseño técnico de una bomba es la definición del punto de servicio (B) con base en la curva característica de la instalación y la curva característica Q-H (caudal y altura de impulsión) de la bomba en cuestión (Fig. 3). El punto de servicio debe estar lo más próximo posible al punto del mejor nivel de eficiencia. Asimismo,

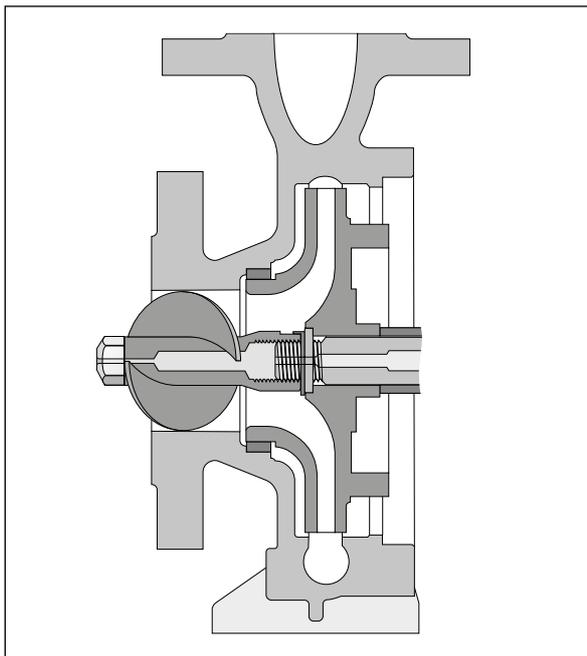


Figura 4: Inductor – Mejora del valor NPSHR

se debe incluir una reserva en el diseño del motor de accionamiento para evitar que se sobrecargue como consecuencia de las variaciones en las alturas de impulsión. Para un motor de 7,5 kW de potencia, la reserva es de aproximadamente el 20 %. HERMETIC dispone de una innovadora herramienta especializada en línea para el diseño de bombas. Con esta herramienta, los planificadores de la instalación y las empresas explotadoras pueden configurar las bombas con unos pocos clics. El software se ejecuta en el navegador y es muy intuitivo. A partir de los datos de potencia frigorífica, el factor de circulación y el medio utilizado, permite simular el diseño de la bomba en tiempo real y optimizar los parámetros sobre la marcha.

#### 4. Mejora del valor NPSH

Cuando se diseña una instalación, hay que asegurarse de que no se produzca cavitación durante el funcionamiento. Para ello, el valor NPSH de la instalación debe ser superior al valor NPSH de la bomba. Si es factible a nivel económico, se debería elegir un valor NPSHA lo más alto posible (con un suplemento de seguridad normal de 0,5 m) para evitar que se produzcan daños en la bomba.

Para mejorar el NPSHR se puede instalar un inductor (rodete previo) justo antes del primer rodete (Fig. 4). Este componente genera una presión previa adicional en la entrada del rodete y una rotación homogénea del fluido hacia la pala del rodete. Cuando no es posible determinar con precisión las resistencias y la alimentación de la instalación, también tiene una función profiláctica. El inductor puede prevenir la cavitación con eficacia en fluidos con una proporción de gas de hasta el 7 %. Si el inductor tiene un diseño adecuado, los valores NPSH de la bomba prácticamente se pueden reducir a la mitad.

## 5. Regulación del caudal

Para garantizar la protección de la bomba y el funcionamiento correcto y sin cavitación, HERMETIC recomienda la instalación de órganos de regulación también al utilizar CO<sub>2</sub> y amoníaco. Con ayuda del cálculo del balance térmico y la comprobación de la capacidad de carga de los apoyos, se pueden calcular con eficacia los límites mínimo y máximo de caudal ( $Q_{\min}$  y  $Q_{\max}$ ). Para cumplir con la cantidad  $Q_{\min}$ , se puede utilizar un sencillo orificio  $Q_{\min}$ .

Para el caudal máximo hay disponibles tres alternativas: el cálculo de un orificio  $Q_{\max}$ , una válvula limitadora del volumen (MBV) o un convertidor de frecuencia con medición de  $\Delta p$ . El orificio  $Q_{\max}$  (panel perforado) se instala en la línea de presión. Garantiza el caudal en el primer llenado de la instalación o cuando se abren varios consumidores al mismo tiempo. La ventaja del orificio  $Q_{\max}$  reside en su construcción sencilla y económica, pero tiene el inconveniente de que causa un fuerte efecto de estrangulación que provoca que la curva característica caiga antes (Q-H). La MBV tiene la ventaja de que la curva característica (Q-H) tarda más en caer, ya que el estrangulamiento no se produce hasta casi la cantidad máxima. El caudal se regula por medio de orificios con una forma especial en un émbolo móvil sometido a una tensión de resorte. La MBV se instala en la tubuladura de presión de la bomba.

El uso de un convertidor de frecuencia con medición de  $\Delta p$  (lado de aspiración y presión de la bomba) permite la regulación con diferentes puntos de servicio. La potencia de la bomba se puede adaptar con precisión a la potencia frigorífica de la instalación. Esto permite un ahorro energético de hasta el 70 % en comparación con una red de 50 Hz, un factor nada desdeñable en condiciones de servicio continuo y uso a largo plazo.

## 6. Plazo de entrega

Tanto si se trata de un proyecto nuevo como si quiere asegurarse de que las operaciones sigan adelante en caso de fallar la bomba, el plazo de entrega también es un criterio decisivo para la compra con vistas a la dinámica del sector de la refrigeración. Para afrontar este aspecto,



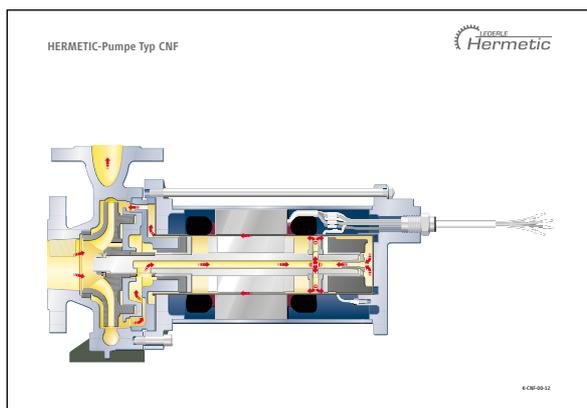


Figura 5: Bomba centrífuga hermética de una etapa para amoníaco y CO<sub>2</sub>, tipo CNF de HERMETIC-Pumpen, documento interno de la empresa

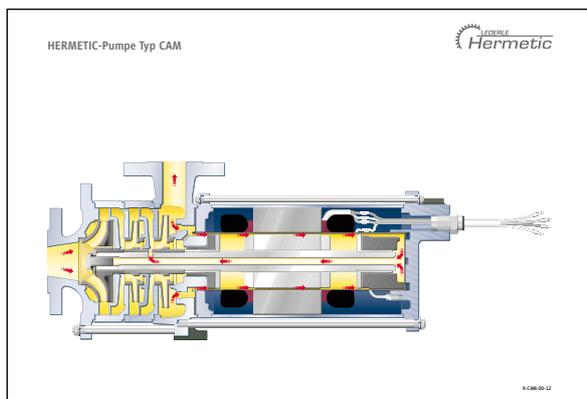


Figura 6: bomba centrífuga hermética de varias etapas para CO<sub>2</sub>, tipo CAM / CAMh de HERMETIC-Pumpen, documento interno de la empresa

HERMETIC utiliza un principio modular que permite suministrar bombas estándar en un plazo de pocas semanas y, en situaciones de emergencia, prácticamente de forma inmediata. Este concepto modular permite realizar rápidamente adaptaciones cuando se quiere realizar algún cambio, sea grande o pequeño.

### 7. Nivel de eficiencia

Con independencia del refrigerante utilizado, el nivel de eficiencia del conjunto de la instalación y la relación con la bomba utilizada es un tema muy importante, a pesar de que la bomba sea solo una pequeña parte de la instalación de refrigeración. Si la bomba tiene un diseño adecuado, los posibles efectos en el nivel de eficiencia dejarán de ser relevantes. Por lo contrario, el mayor potencial de ahorro energético de una instalación se encuentra en evitar que se acumulen sedimentos en las tuberías estrechas, en el correcto tendido de las conducciones o en los compresores. Para garantizar el máximo nivel de eficiencia para el punto de servicio de la instalación y la bomba, sin embargo, es posible realizar modificaciones en el rodete de la bomba.

### 8. Bomba de una o varias etapas

Dependiendo de los requisitos generales del sistema, es posible utilizar distintas versiones de una bomba para el amoníaco y el CO<sub>2</sub>. A diferencia de las bombas de varias etapas, las de una etapa tienen un único rodete. Se utilizan principalmente allí donde se necesitan caudales elevados con presiones de impulsión bajas. Gracias al rodete auxiliar integrado, la serie CNF de una etapa de HERMETIC (Fig. 5) también es compatible con fluidos con cambios bruscos en la presión y la temperatura.

Por lo contrario, gracias a la presurización interna, las versiones de varias etapas son realmente ventajosas cuando debe impulsarse un caudal bajo a alta presión.

CO<sub>2</sub> y amoníaco en instalaciones de refrigeración industrial

Adrian Schäfer, Christoph Galli

Como líder del mercado en el sector de las bombas de motor encapsulado y con más de 280000 bombas vedadas, HERMETIC ofrece la cartera de bombas para sistemas de refrigeración industrial más amplia del mercado, con independencia del refrigerante utilizado. Hay disponibles 24 variantes de bombas estandarizadas y más de 400 variantes predefinidas. Gracias a los módulos y componentes estandarizados, el proceso de diseño automatizado y un proceso de producción moderno y ágil, en tan solo unos pocos días laborables los clientes pueden recibir una bomba de motor encapsulado estándar optimizada para su instalación. Todas las bombas sin excepción cumplen los altos estándares de calidad de HERMETIC, incluido el principio único ZART® (Zero Axial and Radial Thrust) de funcionamiento sin contacto ni desgaste.

Encontrará más información en nuestra página web o, si desea información específica para CO<sub>2</sub>, en:  
[www.hermetic-pumpen.com/en/co2](http://www.hermetic-pumpen.com/en/co2)

HERMETIC ofrece versiones de una y varias etapas para todos los medios refrigerantes disponibles. Cuando la temperatura de servicio sube por encima de  $-10^{\circ}\text{C}$ , se utiliza la CAMh (Fig. 6) – concebida específicamente para las aplicaciones de CO<sub>2</sub>–para dominar la mayor presión de servicio del refrigerante natural. Las series CAM / CAMh de HERMETIC poseen, además, un mejor valor NPSH gracias al rodete previo optimizado (para mejorar el valor NPSH, véase también el punto 4).

### 9. Orientación de las tubuladuras de aspiración y presión

La orientación de las tubuladuras de aspiración y presión depende de los tubos y de las particularidades de la instalación de refrigeración. Fundamentalmente, en el mercado hay disponibles dos versiones distintas: tubuladuras de aspiración y presión en sentido radial, o tubuladura de aspiración axial y tubuladura de presión radial. Para maximizar la flexibilidad, especialmente en instalaciones compactas con alturas de alimentación reducidas, HERMETIC ofrece CAMR, una serie que tiene las tubuladuras de aspiración y presión en sentido radial. Esta configuración permite ahorrar espacio, ya que la bomba se puede suspender directamente debajo del contenedor, sin codos de  $90^{\circ}$ . En las series CAM / CAMh y CNF, la tubuladura de aspiración está instalada en sentido axial, y la de presión en sentido radial.



### 10. Etapa de presión

Mientras que las bombas para instalaciones de amoníaco deben cumplir con una presión nominal de 40 bares como máximo, el CO<sub>2</sub> requiere una mayor resistencia a la presión. Otro factor a tener en cuenta es la poca viscosidad del CO<sub>2</sub>. La composición de los materiales, el grosor de las paredes y las propiedades de los rodamientos deslizantes de la bomba se deben adaptar a la etapa de presión correspondiente.

La serie CAMh de HERMETIC diseñada especialmente para las aplicaciones de CO<sub>2</sub> destaca por una presión nominal de 52 bares y una presión de descompresión de 78 bares. La temperatura de servicio puede estar entre -50 °C y +15 °C. Se pueden impulsar caudales de 1 m<sup>3</sup>/h hasta 14 m<sup>3</sup>/h a una altura de impulsión de hasta 85 m. Los rodamientos deslizantes hidrodinámicos, que están diseñados especialmente para la impulsión de CO<sub>2</sub> y su baja viscosidad, minimizan la fricción mixta, lo que se traduce en mayores niveles de durabilidad y fiabilidad.

#### Material gráfico:

- HERMETIC\_fb\_1906\_1: Porcentaje de refrigerantes naturales en instalaciones de refrigeración industrial hasta el año 2020
- HERMETIC\_fb\_1906\_2: Motivos de fallo de las bombas centrífugas convencionales
- HERMETIC\_fb\_1906\_3: Curva característica de la instalación y curva característica Q-H de una bomba
- HERMETIC\_fb\_1906\_4: Inductor
- HERMETIC\_fb\_1906\_5: Bomba centrífuga hermética de una etapa para amoníaco y CO<sub>2</sub>, tipo CNF de HERMETIC-Pumpen
- HERMETIC\_fb\_1906\_6: Bomba centrífuga hermética de varias etapas para CO<sub>2</sub>, tipo CAM / CAMh de HERMETIC-Pumpen