



ASOCIACIÓN CHILENA DE SEGURIDAD
GERENCIA DE ESTRATEGIA Y DESARROLLO
SUBGERENCIA DE ESPECIALIDADES TÉCNICAS

PREVENCIÓN DE FUGAS DE AMONIACO
Y MITIGACIÓN DE SUS CONSECUENCIAS
EN SISTEMAS DE REFRIGERACION

EFFECTUADO POR:
RÓMULO ZÚÑIGA ROJAS
INGENIERO CIVIL QUÍMICO

AGOSTO 2012

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN	1
2.	CARACTERÍSTICAS DEL AMONIACO Y SUS RIESGOS	1
2.1.	Propiedades Fisicoquímicas	1
2.2.	Toxicidad y Límites Permisibles	2
2.3.	Inflamabilidad	3
2.4.	Incompatibilidad con Materiales	4
3.	CIRCUITOS DE REFRIGERACIÓN.....	4
4.	MEDIDAS PARA PREVENIR FUGAS.....	8
4.1.	Recomendaciones Administrativas	8
4.2.	Señalética Necesaria.....	11
4.3.	Recomendaciones de Mantenimiento.....	12
4.4.	Procedimientos de Trabajo Seguro	12
4.5.	Recomendaciones de Protección de las Instalaciones.....	14
4.6.	Inspecciones y Detección de Fugas.....	14
4.7.	Válvulas Necesarias	15
5.	MEDIDAS PARA MINIMIZAR LAS CONSECUENCIAS DE FUGAS.....	16
5.1.	Evaluación de Consecuencias	16
5.2.	Ventilación Sala Máquinas.....	17
5.3.	Detectores de Amoniacos.....	18
5.4.	Protección Personal.....	19
5.5.	Aislación de la Sala de Máquinas	21
5.6.	Planes de Emergencia para Caso de Fugas.....	21
5.7.	Indicadores	22

1. INTRODUCCIÓN

Las fugas de amoníaco que se producen en los circuitos de refrigeración son un riesgo importante en los frigoríficos. Las personas expuestas pueden presentar desde molestias a intoxicaciones graves, llegando en casos extremos a la muerte.

Un aspecto que se debe tener presente es que las consecuencias no solo pueden afectar al personal de la planta, sino que también a la gente de su vecindario.

Esta guía entrega información sobre las propiedades del amoníaco y los riesgos que puede producir, las características de los circuitos de refrigeración y un conjunto de medidas para prevenir las fugas y minimizar sus consecuencias.



2. CARACTERÍSTICAS DEL AMONÍACO Y SUS RIESGOS

2.1. Propiedades Físicoquímicas

En condiciones normales de presión y temperatura¹ el amoníaco es un gas; luego, cuando está en su estado natural, en los ambientes de trabajo se encuentra como gas.

Al ser enfriado a presión normal cambia de gas a líquido (condensa o licua) a los -33 °C. En el caso del oxígeno esto ocurre a -183 °C y en el del nitrógeno a -196 °C.

Al ser comprimido a temperatura normal pasa del estado gas al líquido a la presión de 10 atmósferas. A temperaturas del orden de 25 °C el oxígeno y el nitrógeno no pueden ser licuados por presión. *Por eso en los circuitos de refrigeración se considera al aire como gas no condensable.*



¹ Las condiciones normales corresponden a una presión de 1 atmósfera y temperatura de 25 °C.

Al burbujear amoníaco en agua a temperatura normal se disuelven del orden de 529 gramos por litro. Es importante tener presente que la solubilidad se incrementa con la disminución del pH.

En resumen, a temperatura normal podemos tener el amoníaco como un gas mezclado con el aire o como solución, disuelto en agua, o como líquido, en un recipiente a 10 atmósferas. También es posible tener amoníaco a presión normal en un recipiente a -33 °C.

2.2. Toxicidad y Límites Permisibles

El amoníaco gaseoso al entrar en contacto con los ojos produce irritación, dolor, conjuntivitis (ojos rojos e inflamados), lacrimación y erosión en la cornea.

Al ser inhalado, en concentraciones altas, puede causar laringitis, dificultad para respirar, sensación de ahogo y dolor en el pecho. También a partir de la inhalación se puede generar edema pulmonar y neumonía.

En la Figura 1 se presenta un resumen de las concentraciones límites que caracterizan los riesgos tóxicos del amoníaco.

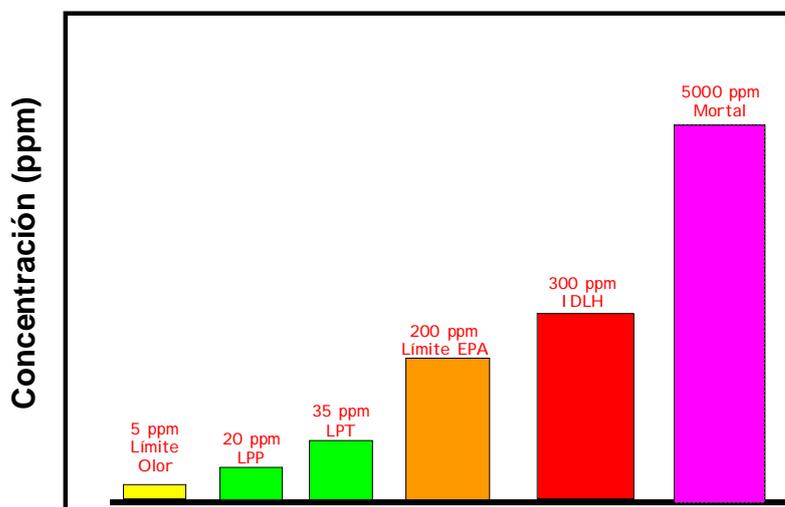


Figura 1: Niveles de riesgo de exposición a amoníaco

En niveles mayores a 5 ppm puede ser detectado por su fuerte olor irritante.

La concentración de 20 ppm, es el Límite Permisible Ponderado (LPP)², que establece el Decreto Supremo N° 594/1999 para proteger a los trabajadores de los efectos crónicos de la exposición.

Con el objeto de prevenir los efectos irritantes para exposiciones cortas se tiene el Límite Permisible Temporal (LPT)³ de 35 ppm.

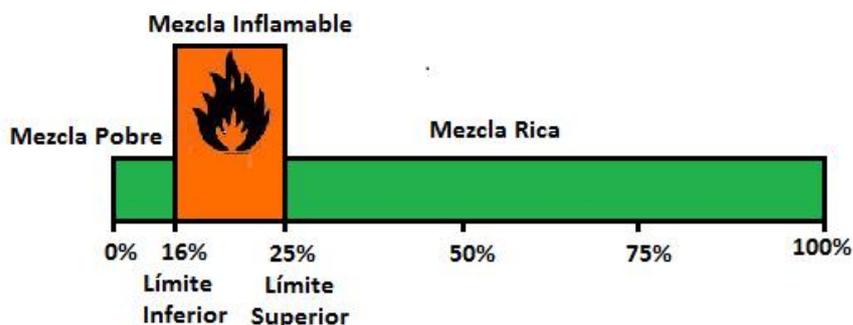
Por su parte la Environmental Protection Agency (EPA), siguiendo recomendaciones de la American Industrial Hygiene Association, adoptó el valor de 200 ppm como límite tóxico crítico para analizar las consecuencias de fugas de amoníaco en la comunidad y definir los planes de emergencia; *se estima que exposiciones a esta concentración por un lapso de tiempo menor a una hora no provocarían daños irreversibles para la salud del individuo expuesto ni impedirían su escape por medios propios.*

El Instituto Nacional para Seguridad y Salud Ocupacional de los Estados Unidos, NIOSH, considera que concentraciones del orden de 300 ppm son peligrosas para la salud o la vida (límite IDLH), siendo tolerables como máximo exposiciones de 30 minutos a esta concentración.

Valores del orden de 5000 ppm pueden resultar mortales para exposiciones de pocos minutos.

2.3. Inflamabilidad

Se debe considerar que en el rango de 16% a 25% el amoníaco es inflamable. El riesgo es mayor cuando se mezcla con aceite.



² Límite Permisible Ponderado: valor promedio de concentración para una jornada de 48 horas semanales.

³ Límite Permisible Temporal: Valor de concentración promedio de 15 minutos.

2.4. Incompatibilidad con Materiales

El amoniaco no se debe mantener junto con halógenos, ácidos y agentes oxidantes.

Se debe tener presente que el amoníaco ataca al cobre, zinc, bronce, cadmio y sus aleaciones. También puede ser corrosivo para algunos plásticos y gomas.

3. CIRCUITOS DE REFRIGERACIÓN

3.1 Equipos Componentes del Sistema de Refrigeración

Los *compresores, condensadores y evaporadores* son los principales equipos que forman parte de un circuito de refrigeración.

- **Compresores [1]**

Los compresores son utilizados para aumentar la presión y movilizar el amoniaco a través del circuito. Según su mecanismo de compresión se clasifican en compresores dinámicos, que pueden ser axiales o centrífugos, y de desplazamiento positivo, los cuales pueden ser rotativos o alternativos.

En general, los elementos o componentes que afectan el funcionamiento del compresor de refrigeración son los sellos, los cojinetes radiales y axiales, bujes, válvula deslizante, válvula hidráulica, válvulas de seguridad, bobinas hidráulicas, acoplamientos y manómetros.



El monitoreo y registro de las variables de operación del compresor debe incluir presión y temperatura de succión, presión y temperatura de descarga, presión de aceite, amperaje y revoluciones; además del ruido, como forma de controlar su estado de mantención.

▪ Condensadores

Los condensadores tienen por función transformar el amoníaco, que sale como gas caliente del compresor, en amoníaco en fase líquida, proceso que se realiza por enfriamiento.

Los condensadores se clasifican según el medio utilizado para realizar el enfriamiento. Los más comunes a nivel industrial son los que utilizan agua o una mezcla de aire y agua, estos últimos se conocen como evaporativos.

En la mayoría de los condensadores enfriados por agua el refrigerante condensa entre el exterior de los tubos y la carcasa, pasando el agua por el interior de los tubos; luego de lo cual circula, por medio de una bomba, hacia la torre de enfriamiento.

Los *condensadores evaporativos* mezclan la condensación del refrigerante y el enfriamiento del agua en la torre de enfriamiento. El refrigerante pasa por el interior de un serpentín y exteriormente existe un flujo de agua que se evapora en una corriente de aire.

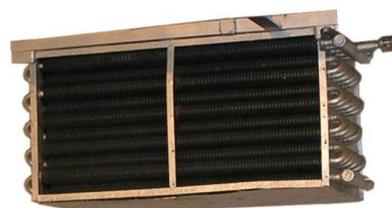


El condensador normalmente va instalado en el exterior de las sala de máquinas. La purga de gases no condensables es una de las tareas de mayor riesgo de fugas de amoníaco que se realizan como parte de su operación.

▪ Evaporadores

Los evaporadores tienen por función evaporar controladamente el refrigerante suministrado en forma líquida para que en este cambio de fase absorba calor del medio en el cual se encuentra instalado.

El refrigerante pasa por dentro de tubos y el aire del recinto a enfriar pasa por fuera. Para aumentar la eficiencia del intercambio de calor existen aletas por fuera de los tubos y el aire pasa entre ellas.



Existen evaporadores en que el refrigerante pasa completamente de la fase líquida a la fase gas (*expansión directa*), otros en que la evaporación solo ocurre parcialmente (*inundados*) y otros en que el refrigerante se mantiene como líquido (*inundados con sobre alimentación*).



Es importante tener presente que en el evaporador existe amoníaco en fase líquida, por lo cual en una fuga se liberará una gran cantidad, lo que se agrava porque este equipo normalmente se encuentra instalado dentro de recintos cerrados donde puede haber personal, como ocurre en las cámaras .

3.2 Tipos de Circuitos

En la Figura 2 se presenta un circuito de refrigeración típico. En este se distingue una zona de alta presión, ductos en rojo, en el orden de 9 a 11 Kg/cm², y una zona de baja presión, ductos en verde⁴, entre 2,5 a 3,5 Kg/cm².

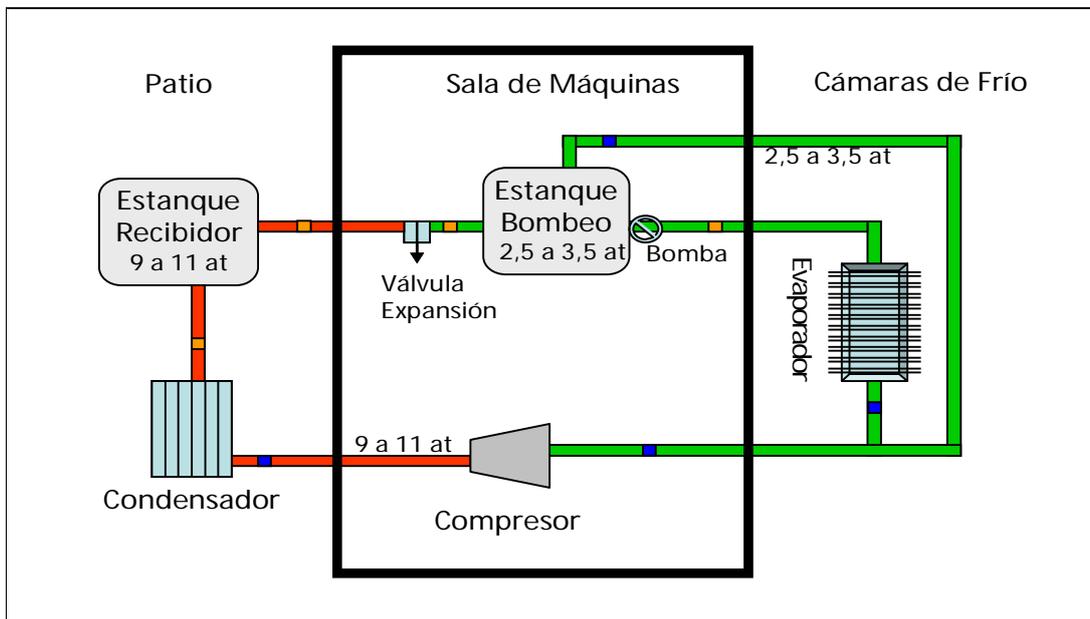


Figura 2: Circuito de Refrigeración

⁴ En el diagrama de la figura 2, para una mejor comprensión, se han destacado en color rojos los tramos de presión más alta y de color verde los tramos de presión más baja, pero de acuerdo al código de colores todas las tuberías con presión deberían ser amarillas.

La zona de alta presión, y por lo tanto donde las fugas serían de mayor impacto, comienza en la salida del Compresor, incluye el Condensador y el estanque Recibidor y se prolonga hasta la válvula de expansión, después de ésta existe la zona de baja presión que abarca el estanque de Bombeo, el Evaporador y llega hasta la entrada del Compresor.

Normalmente, el estanque recibidor y el condensador se ubican en el exterior; los compresores y el estanque de bombeo, se encuentran en la Sala de Máquinas, y los evaporadores al interior de las cámaras de frío.

En este circuito pueden existir tres tipos de fugas: Amoníaco gas a presión, amoníaco líquido a presión y mezcla de amoníaco en fases líquida y gas.

Las partes del circuito marcadas con un cuadro naranja⁵, independiente de la presión de cada tramo, son sectores donde las fugas pueden resultar más peligrosas porque el amoníaco se encuentra como líquido sometido a presión.

3.3 Sistemas de Seguridad y Fugas más Frecuentes

Los circuitos deben tener el siguiente equipamiento relacionado con la seguridad de su operación:

- Medidores de nivel de llenado de los estanques
- Medidores de presión
- Medidores de temperatura.
- Válvulas de alivio de presión
- Válvulas de corte
- Válvulas solenoides
- Presostatos
- Termostatos
- Detectores de amoníaco



Entre las tareas habituales de mantención que presentan mayor riesgo de fugas se encuentran:

- a. Purgas de aceite
- b. Purgas de gases no condensables
- c. Mantención de bombas y ductos

⁵ En referencia 2 se recomienda el siguiente código de colores: Naranja para el líquido, azul para el vapor, rojo para alta presión y verde para baja presión.

De acuerdo con estadísticas internacionales presentadas en [2], del orden de un 26 % de las fugas se producen por error humano, un 70 % corresponde a fallas de la integridad de los componentes del circuito y el restante 4 % a otros, como choque de vehículos y desastres climáticos.

Entre las fallas de los equipos un 37% se producen en válvulas, un 26 % en los ductos y un 12 % en mangueras [3]. Entre las causas más frecuentes se tiene en primer lugar los desperfectos en uniones, luego le siguen fallas de sellos y en menor proporción pequeñas perforaciones en ductos (puede ser por corrosión).

En resumen, las fallas humanas participan aproximadamente del 26 % de las causas de fugas y a través de las uniones se produce más del 96 % de las pérdidas de refrigerante.

4. MEDIDAS PARA PREVENIR FUGAS

A continuación se entregan una serie de medidas de prevención de fugas, en su mayoría de ellas extraídas de las referencias [2], [4] y [8]. *Se debe hacer presente que estas recomendaciones también se pueden utilizar como requisitos o estándares para evaluar la seguridad de las instalaciones existentes.* En el Anexo 1 se entrega una lista de verificación de condiciones de seguridad basada en los contenidos que se exponen a continuación.

4.1. Recomendaciones Administrativas

- Capacitación del Personal a Cargo del Sistema

Considerando que por lo menos un 26 % de las fugas se producen por fallas humanas es conveniente estandarizar las competencias de los operadores y mantener un programa de entrenamiento que asegure que el sistema de refrigeración es operado y mantenido por personal idóneo.

Solo operadores calificados deben operar el sistema de refrigeración con amoníaco. Se debe tener un registro de los cursos y entrenamientos realizados por el personal, quienes deben demostrar sus competencias para hacer el trabajo de acuerdo con los procedimientos establecidos.



Es recomendable actualizar los conocimientos del personal a lo sumo cada 3 años. En el mercado es posible encontrar ofertas de cursos de centros educacionales conocidos.

El personal que trabaja a cargo del sistema de refrigeración debe ser informado de los riesgos asociados a las fugas de amoníaco y conocer las medidas que se deben tomar para prevenirlas.

- **Monitoreo Rutinario de los Parámetros de Operación del Sistema**

Es recomendable mantener registros por turnos de las temperaturas, presiones, niveles de lubricantes, niveles de amoníaco, paradas y partidas de operación y de cualquier resultado de prueba o trabajo realizado.



El operador debe revisar la tendencia de estos parámetros para detectar problemas como aumento de la temperatura y presión, disminución de la presión de aceite, purgas de válvulas de alivio, etc.

- **Mantener un registro del inventario de amoníaco en el sistema.**

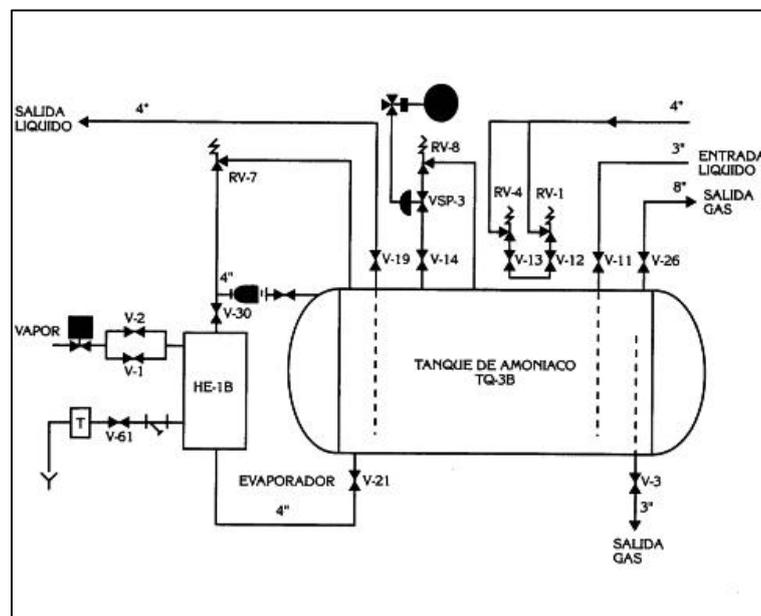
Se debe registrar la cantidad inicial de amoníaco cargado al sistema y las recargas realizadas posteriormente. Estos datos son importantes para analizar las tendencias y determinar si están ocurriendo fugas importantes del sistema.

- **Mantener un Diagrama Actualizado del Trazado de Ductos e Instrumentación del sistema de refrigeración y los manuales de los equipos entregados por el fabricante.**

El diagrama debe incluir componentes como estanques, válvulas, bombas, ductos, válvulas de alivio, etc. La siguiente es una lista de la información principal:

- a. Todos los Equipos de procesos (Por ejemplo, estanques, compresores, condensadores, evaporadores, bombas)

- b. Válvulas Principales (Válvulas de alivio, válvulas de corte, válvulas de operación remota)
- c. Las Válvulas de Corte General deben estar claramente identificadas.
- d. Controladores (Por ejemplo, flotadores, solenoides, presostatos y termostatos, válvulas de purgas de emergencia)
- e. Instrumentos (por ejemplo, medidores de presión, temperatura, etc.)
- f. Dirección del flujo en todas las válvulas de retención.
- g. Dimensiones de los ductos, cambios de diámetro
- h. Leyendas, simbología y abreviaciones, incluyendo la fecha de actualización del diagrama.



Muchas instalaciones no tienen diagramas de instrumentación y trazado de ductos o la configuración actual del circuito no corresponde a la registrada en el diagrama, lo cual puede causar errores de operación, dificultar el control de las fugas y mantener un factor que aumenta el riesgo.

- Mantener disponibles los manuales de los equipos que forman parte del sistema.

Los manuales deben describir las características de operación y control de los equipos que son parte integral del proceso. También deben incluir, listas de chequeo de su operación y mantención.

4.2. Señalética Necesaria

- Utilice códigos de color y rótulos para identificar los ductos del sistema, lo cual sirve para verificar la actualización de los diagramas de instrumentación y trazado de ductos y reduce la posibilidad de errores en los procedimientos de operación.

Para circuitos de refrigeración se recomiendan los siguientes colores⁶ y rotulación:

- a. Utilizar flechas para indicar el sentido del flujo.
- b. Indicar el estado del refrigerante: Banda de color naranja para estado líquido, banda de color azul indica estado vapor, bandas con ambos colores para la presencia de las dos fases.
- c. Indicar cuando la presión del ducto es alta o baja: Color rojo para alta presión color verde para baja presión.
- d. El rótulo Amoniaco se recomienda en letras negras sobre fondo amarillo.



⁶ En Chile la norma NCh100f.1979, establece colores para ductos de gases y líquidos, pero en este caso no resulta de utilidad.

- Las válvulas o interruptores que controlen el flujo de amoníaco deben estar señalizadas con letras de a lo menos 12 cm de alto [6]. Por ejemplo, deben estar identificadas:
 - a. Válvula de corte general del flujo de los compresores
 - b. Válvulas de corte para usar en caso de emergencia
- Coloque afiches indicando el uso de amoníaco con advertencias de peligro, por ejemplo en la sala de máquinas y estanques.
- Identifique los gabinetes donde se guardan los equipos de protección y otros materiales que se utilizan para actuar en emergencias.

4.3. Recomendaciones de Mantenimiento

Para todos los equipos del sistema de refrigeración se deben desarrollar y mantener escritos programas y planes de mantenimiento preventiva basados en las recomendaciones de los fabricantes. La planificación debe incluir al menos mantenimiento de lo siguiente:

- a. Compresores
- b. Bombas
- c. Evaporadores
- d. Condensadores
- e. Válvulas de control
- f. Sistemas eléctricos de cortes por baja y alta de presión, temperatura y presión de aceite, sistema de purgas automáticas
- g. Detectores de amoníaco
- h. Equipos para emergencia (por ejemplo, monitores de amoníaco, equipos de protección respiratoria)

Por ejemplo se recomienda reemplazar las válvulas de alivio de presión cada 5 años.

- Realice test de vibración a los compresores. Mantenga registro y compare tendencias.

4.4. Procedimientos de Trabajo Seguro

Las tareas que presentan el riesgo de exposición del personal a fugas de amoníaco requieren tener escritos procedimientos seguros de trabajo. Algunas de éstas, pero no todas, son las siguientes:

- a. Drenaje de aceite
 - b. Mantenimiento de equipamiento (por ejemplo bombas y ductos)
 - c. Detección y control de fugas
 - d. Paradas y partidas del sistema
- Aceite de refrigeración.

La presencia excesiva de aceite en el sistema puede ser detectada si se mantiene un registro de las cantidades o volumen de aceite cargado o retirado del sistema.

El drenar aceite del sistema es una de las tareas que conlleva el riesgo de fugas de amoníaco, por lo cual se deben desarrollar procedimientos escritos para retirar, cargar o hacer cambios de aceite. Entre las medidas de seguridad que éstos deben contemplar se recomiendan las siguientes:

- a. Nunca se debe retirar aceite del sistema sin primero detener las bombas y aislar apropiadamente el sector o componente donde se realizará la tarea.
- b. En todos los puntos de drenaje instale adicionalmente una válvula de globo de cierre rápido de $\frac{1}{4}$ de vuelta, idealmente de cierre automático con resorte que funcione deteniendo la salida de aceite en caso que el operador tenga algún problema o deba abandonar su puesto frente a una emergencia. Esta válvula se debe considerar como una “válvula de parada de emergencia”.
- c. Si no se utiliza una válvula de cierre automático es necesario que en la tarea participen a lo menos dos personas que utilicen equipos de protección personal. (Véase el punto 5.4 de esta guía)
- d. Independiente del uso de una válvula de cierre automático el operador no debe desatender la tarea mientras dure el drenaje.
- e. Mientras se realiza la tarea, si corresponde, mantenga el sistema de ventilación en funcionamiento.
- f. El aceite drenado debe llevarse a un estanque o vasija cubierta que contenga agua. Es recomendable que esto se haga a través de una manguera transparente para observar el paso del aceite.

- Reparaciones y mantenencias

Se deben tener procedimientos escritos para hacer reparaciones en el sistema. Solo personal calificado en los riesgos y familiarizado con los procedimientos de trabajo seguro debe supervisar los trabajos de reparación.

El sistema debe ser detenido si el trabajo representa un riesgo de fuga de amoníaco. El tramo ha ser reparado debe ser aislado del sistema y el amoníaco vaciado o purgado totalmente.

4.5. Recomendaciones de Protección de las Instalaciones

- En áreas donde circulen grúas de horquilla u otros vehículos, utilice barreras para proteger del impacto, estanques, cañerías, válvulas, condensadores, evaporadores, etc.
- Por ejemplo se pueden utilizar señalizaciones de peligro, bloquear accesos adyacentes a partes del sistema de refrigeración para impedir se dejen pallet con producto, instalar soleras de concreto y/o estructuras metálicas, etc.



4.6. Inspecciones y Detección de Fugas

- Mantenga su planta libre de fugas: Se debe investigar, informar y reparar inmediatamente cualquier fuente de olor a amoníaco.
- Realice test de detección de fugas a todo el sistema por lo menos 4 veces al año. Para detectar las fugas se puede utilizar papel pH o detectores portátiles. No se recomienda el uso de papel impregnado en azufre porque utiliza llama y el amoníaco es inflamable en concentraciones que se pueden producir principalmente en los tramos en que se encuentra como líquido.
- De acuerdo a los antecedentes sobre las fugas se deben revisar cuidadosamente las uniones y acoples de ductos.

En el Anexo 2 se presentan dos ejemplos de procedimientos para detectar y controlar fugas de pequeña magnitud.

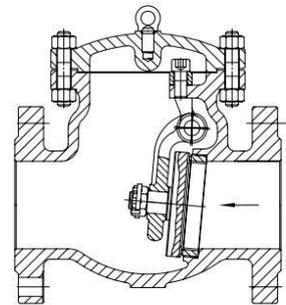
- Periódicamente revise los ductos para detectar aislación en mal estado, desgaste, oxidación y/o corrosión.
- Reemplace con prontitud los tramos de ducto deteriorados.
- Proteja los ductos sin aislación de la corrosión y oxidación con un pintado o recubrimiento adecuado.

4.7. Válvulas Necesarias

- Válvulas de Retención

Este tipo de válvula se instala en la línea de carga de amoníaco ubicada cerca de la válvula principal de control, para prevenir que cualquier problema en ésta derrame amoníaco desde la línea de carga.

También se instala este tipo de válvulas en las descargas de compresores y bombas.



- Válvulas Solenoide

Se recomienda instalar este tipo de válvulas en la línea donde se encuentra la válvula de corte general, cerca del estanque receptor; su operación debe ser mediante un interruptor manual ubicado en el exterior de la sala de máquinas, en un lugar visible y conocido para el personal que participa en el control de emergencias.



- Válvulas de Alivio

Estas válvulas se utilizan para evitar la sobre presión y se instalan preferentemente en la descarga de compresores y bombas y en estanques.

Se recomienda instalar un sistema dual como el de la Figura 3 para facilitar la mantención, reemplazo o prueba en línea de estas válvulas. Esta configuración permite mantener o reemplazar una válvula sin necesidad de detener el sistema.



Figura 3

5.2. Ventilación Sala Máquinas

- En nuestro país no existe una normativa específica que regule la ventilación de salas de máquinas de sistemas de refrigeración. A continuación, se entregan recomendaciones de norma ASHRAE 15 (2004) [8], que se consideran aplicables:
 - a. Las salas de máquinas que se ubiquen a más de 6,1 m de la planta o edificio y se encuentren cercadas por una estructura relativamente abierta (por ejemplo cobertizo), pueden ser ventiladas en forma natural o por medios mecánicos mediante ventiladores.
 - b. Para la ventilación normal de la sala se debe movilizar a lo menos un caudal de 2,54 l/min por m² de superficie (0,5 pie³/min por pie²).
 - c. Para ventilación de emergencia, la cantidad de refrigerante en el recipiente de mayor tamaño determina la superficie total abierta que es necesaria para ventilación natural, o el caudal de ventilación, que se debe movilizar con ventilación mecánica. *En el anexo 3 se reproducen las ecuaciones que entrega la norma para calcular estos parámetros.*
 - d. En caso de ser utilizada ventilación mecánica, además, se indica lo siguiente:
 - Se pueden utilizar uno o más ventiladores para extraer como mínimo los caudales que se obtienen al aplicar la ecuación del anexo 3.
 - Se deben dejar entradas de aire para reemplazar el que se extrae, las cuales se deben ubicar de manera que no se recircule el contaminante.
 - El sistema debe ser exclusivo para la sala de máquinas.
 - La descarga del aire extraído se debe hacer al exterior cumpliendo con los requerimientos legales.
- Es recomendable instalar interruptores manuales que permitan activar la ventilación en forma remota. Deben estar fuera de la sala de máquinas y en un lugar visible y conocido para el personal que actúa en emergencias.
- Las chimeneas de los ventiladores deberían tener como mínimo una altura que supere en 3 metros el nivel más alto de los techos circundantes de la sala de máquinas. En caso de ser necesaria una protección contra la

lluvia, se recomienda instalar un tramo de ducto concéntrico al de la chimenea, como el indicado en la Figura 4.

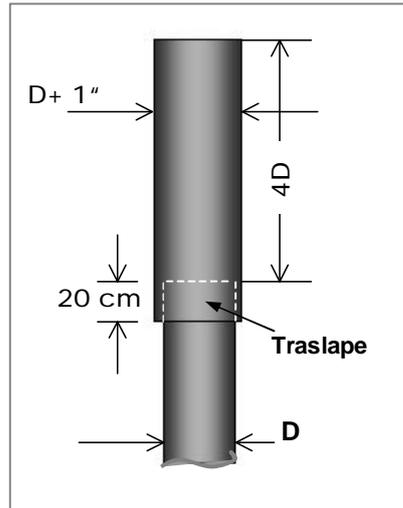


Figura 4: Dispositivo protección contra agua lluvia alternativo a sombrero, cuya ventaja es que no obstruye la salida del aire.

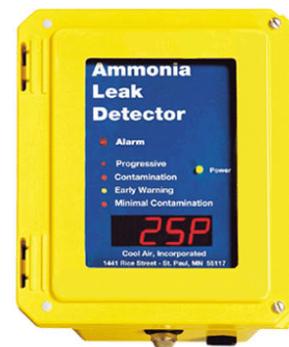
En caso de la ventilación natural, **además de las recomendaciones que entrega la norma**, es necesario tener presente lo siguiente:

-La ventilación natural es variable. No es posible asegurar un caudal o renovación de aire constante dado que depende de la diferencia entre las temperaturas externa e interna y principalmente de la velocidad del viento, la cual puede cambiar en pocos minutos, tanto de dirección como magnitud.

-Ubicación de la Sala. Como la ventilación natural está determinada por el viento, no es aceptable que la sala se ubique en un lugar donde las edificaciones vecinas desvíen o bloqueen las corrientes de aire preferenciales.

5.3. Detectores de Amoniaco

- La Sala de Máquinas debe tener detectores ubicados en los sectores donde se espera que se concentre el contaminante liberado en una fuga. Normalmente en la parte alta, cerca de compresores, bombas y estanques.



Model LBW-420

- También se deben instalar detectores en lugares donde no concurre el personal habitualmente.
- La operación y calibración de los detectores debe ser realizada en forma regular como parte del programa de mantenimiento (ver 4.3).
- Se recomienda verificar la calibración de los detectores cada seis meses.
- Los detectores debe accionar una alarma y hacer partir los ventiladores de emergencia.
- Los detectores deberían encontrarse calibrados para los siguientes niveles:
 - a. Entregar un primer nivel de alarma cuando se alcancen concentraciones del orden de 35 ppm, valor que corresponde al LPT. Esta alarma debería poner en funcionamiento los ventiladores de emergencia y activar un plan de emergencia, que contemple medidas de control de la fuga y de evacuación del personal en caso de que la ventilación no logre bajar la concentración por debajo de los 30 ppm.
 - b. Un segundo nivel de alarma podría ser calibrado en el orden de 200 ppm, que señale a los participantes que existe riesgo de daños irreversibles de la salud.
 - c. Un tercer nivel podría ser a 1,6% (16000 ppm) que corresponde al 10 % del limite inferior de inflamabilidad y por lo tanto debería indicar la posibilidad que se presente una atmósfera explosiva.

5.4. Protección Personal

- Es necesario contar con protección para las vías respiratorias, los ojos y la piel.
 - a. La protección de los ojos normalmente es necesaria para concentraciones sobre 70 ppm.
 - b. No obstante lo anterior todos los respiradores deben ser de rostro completo o ser usados con una efectiva protección de los ojos.
 - c. La protección de la piel es necesaria para los trabajadores que se expongan o deban controlar fugas de amoníaco líquido. También es necesario para trabajadores que se expongan a concentraciones



mayores a 300 ppm por varios minutos.

- d. Cuando la concentración de amoniaco es mayor a 35 ppm es necesario utilizar un respirador con pieza facial de rostro completo y filtro certificado para amoniaco. Esta protección respiratoria se considera apropiada hasta concentraciones menores a 300 ppm (límite IDLH)
- e. Para concentraciones iguales o superiores a 300 ppm se debe usar un equipo suministrador autónomo⁷.
- f. También se debe utilizar un equipo suministrador autocontenido si no se conoce la concentración.
- g. Además, para escape se debe tener un conjunto pieza bucal (dispositivo sellado contra los labios conectado a un purificador de aire o filtro) que cuente con pinzas para evitar la respiración por la nariz.
- h. Los operadores no deben usar barba para que la pieza facial quede bien ajustada y sellada contra su rostro.
- i. La siguiente tabla se puede usar como guía para seleccionar los equipos de protección respiratoria.



Tabla Adaptada de referencia [7]

Situación	Concentración amoniaco	Protección Respiratoria
Trabajo rutinario con amoniaco en sala y ocurre una fuga.	Desconocida, se debe salir de la sala inmediatamente.	Equipo de escape
Tarea con probabilidad de fuga de amoniaco. (Ej. Purgas aceite)	Desconocida, se debe salir de la sala inmediatamente si ocurre una fuga.	Respirador con pieza facial de rostro completo y filtro certificado
Ocurrió una fuga y se ingresa a controlarla	35 -300 ppm	Respirador con pieza facial de rostro completo y filtro certificado
	300 ppm o más*	Respirador suministro autónomo.
	Desconocida.	Respirador suministro autónomo.

*Concentraciones sobre 300 ppm también requieren protección de la piel.

⁷ Ver NCh 2175 of 94 y NCh 2177 of 94

5.5. Aislación de la Sala de Máquinas

- La sala de máquinas debe ser sellada del resto de las instalaciones. No debe tener comunicación a través del entretecho o ventanas.
- Todas las pasadas de ductos a través de paredes, cielo o pisos deben ser selladas.
- Las puertas de la sala de máquina que se comunican con el interior del edificio o nave deben ser de cierre automático y hermético.
- Las salas de máquinas de más de 60 m² deben tener por lo menos dos puertas de salida para asegurar una ruta escape.
- Las vías de escape deben estar libres, no bloqueadas, y al menos una de las salidas debe comunicar al patio exterior.
- Las puertas de salida deben abrir hacia afuera y estar equipadas con barras anti pánico.

5.6. Planes de Emergencia para Caso de Fugas

- Se deben tener planes de emergencia con procedimientos escritos respecto de la acción del personal en caso de una fuga.
- El personal debe conocer su rol en estos planes y estar entrenado, de lo cual es necesario dejar registros.
- En los planes de emergencia debido a fugas se recomienda incluir los siguientes aspectos:
 - a. Ubicación e identificación de las zonas de seguridad considerando la dirección del viento.
 - b. Instalar en lugar visible de la planta una veleta que indique la dirección del viento.
 - c. Realizar simulación de fugas más probables y peor caso para determinar en ambos escenarios los radios críticos⁸.



⁸ Ver metodología propuesta por EPA en referencia [6]

- d. Ubicar las instalaciones públicas que se encuentran dentro de los radios críticos determinados en la simulación. Son importantes lugares como colegios, hospitales, poblaciones, etc. Considerar esta información dentro de los planes de emergencia.
- e. El personal de emergencia debe conocer el equipo de protección personal que es necesario utilizar y su localización.
- f. El procedimiento debe incluir un método de verificación de que todo el personal ha sido evacuado.
- g. Considerar la notificación y coordinación con las autoridades, policía, bomberos, hospitales y otras instituciones de emergencia.
- h. También es recomendable avisar al vecindario.

Es recomendable contar con una estrategia de comunicación y coordinación con las autoridades e instituciones de emergencia. La realización de simulacros con la participación de estas entidades debería ayudar a la empresa a mantener el control sobre las acciones del plan emergencia y la información que trasciende a los medios de comunicación, en caso de ocurrir una fuga.

5.7. Indicadores

- Utilizar indicadores de gestión y resultados para mantener la seguridad del sistema de refrigeración dentro los estándares requeridos.
- Por ejemplo se recomiendan los siguientes:
 - Días sin Fugas de Amoníaco – mes
 - Cantidad de Simulacros – Año
 - Personal afectado por amoníaco – mes

Estos indicadores están relacionados con la seguridad industrial de la planta y es recomendable que cada empresa los analice junto con el balance mensual de gestión de la producción.

Bibliografía

- [1] Rodrigo García Valdez; Evaluación Óptima en el Mantenimiento de un Compresor Tipo Tornillo, en el Sistema de Refrigeración por Amoníaco, en la Industria Alimenticia. Tesis de Titulación. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- [2] Accident Prevention and Manual for Anhdrous Ammonia Refrigeration System Operators. U.S. Environmental Protection Agency Region 7.EPA-907-B-06-001 March 2006. www.epa.gov/region07/toxics/arpp.htm
- [3] Giovanni Torres. Indisem Refrigeración Ltda.
- [4] Hazards of Ammonia Releases at Ammonia Refrigeration Facilities (Update). EPA 550-F-01-009 August 2001 www.epa.gov/ceppo
- [5] ANSI/ASHRAE 15 (1994) Section 11.2.2
- [6] Model Risk Management Program and Plan for Ammonia Refrigeration. Prepared by Science Applications International Corporation Reston, V A, May 1996.
- [7] Ammonia in Refrigeration Systems. Safeguarding Machinery and Equipment: General Requirements. WorkSafeBC Offices; www.WorkSafeBC.com
- [8] Safety Standard for Refrigeration Systems. ANSI/ASHRAE 15-2004. página 12, sección 8.11.5

Anexo 1: Lista de Verificación de Condiciones de Seguridad

Materia de Control	No	Si	Observación/ Acción a Seguir
1. Capacitación del Operador			
1.1 Registra Cursos de refrigeración			
2.2 Registra cursos de seguridad			
2.3 Tiene programa capacitación			
2. Registro de Parámetros de Operación			
2.1 Temperatura salida Compresor			
2.2 Temperatura estanque Bombeo			
2.3 Temperatura estanque Recibidor			
2.4 Presión salida del Compresor			
2.5 Presión toma del Compresor			
2.6 Presión de Bombeo (Salida Bombas)			
2.7 Presión estanque Recibidor			
2.8 Nivel estanque Bombeo			
2.9 Nivel estanque Recibidor			
2.10 Nivel aceite Compresor			
2.11 Novedades (Reparaciones, purgas, etc.)			
2.12 Existe análisis tendencias (Gráficos)			
3. Documentación			
3.1 Trazado de ductos e instrumentación actualizado			
3.2 Tiene manuales de Compresores			
3.3 Tiene manuales de Condensadores			
3.4 Tiene manuales de Evaporadores			
3.6 Tiene manuales de Bombas			
4. Señalética			
4.1 Códigos de color en ductos			
4.2 Flechas de dirección de flujo			
4.3 Rótulos amoníaco			
4.4 Rótulos en válvulas de corte general y emergencia			
5. Mantenimiento Preventiva			
5.1 Compresores			
5.2 Evaporadores			
5.3 Condensadores			
5.4 Bombas			
5.5 Válvulas de Control			
5.6 Presostatos, termostatos			
5.7 Detectores de amoníaco			
5.8 Purgador de no condensables			
5.9 Equipos de emergencia (EPP, monitores, etc.)			

Lista de Verificación de Condiciones de Seguridad (Continuación)			
Materia de Control	No	Si	Observación/ Acción a Seguir
6. Procedimientos de Trabajo Seguro			
6.1 Drenaje de aceite			
6.2 Mantenimiento y reparaciones de equipos y líneas			
6.3 Detección y control de fugas			
6.4 Paradas y partidas del sistema			
7. Protección de las Instalaciones			
7.1 Barreras contra choques (grúas y otros)			
7.2 Sellado de sala máquina			
8. Inspecciones			
8.1 Revisión de fugas del sistema			
8.2 Integridad del sistema (desgaste, corrosión ,aislante)			
9. Válvulas de Seguridad			
9.1 Válvula retención en línea de carga Recibidor			
9.2 Válvula retención descarga Compresor			
9.3 Válvula alivio estanque Recibidor			
9.4 Válvula alivio estanque Bombeo			
9.5 Válvula alivio descarga Compresor			
9.6 Válvula cierre automático purgar aceite			
10. Mitigación de Consecuencias de Fugas			
10.1 Ventilación para emergencias			
10.2 Detectores amoníaco calibrados con alarmas			
10.3 Respiradores de rostro completo con filtro			
10.4 Respiradores de rostro completo autónomos			
10.5 Respirador para escape			
10.6 Sala máquinas dos puertas escape (+ 60 m ²)			
10.7 Rutas de escape libres			
10.8 Plan de emergencia en caso de fugas			
10.9 Personal entrenado para enfrentar emergencias			
10.10 Coordinación con instituciones de emergencia			
N° Respuestas conformes : N° Respuestas No conformes : N° Acciones			
Prioridad Alta :			
Prioridad Media :			
Prioridad Baja :			
Total :			

Anexo 2: Ejemplos de Procedimiento en Caso de Fugas Pequeñas

Situación 1: Se supone que el operador se encuentra realizando una tarea de rutina y ocurre una fuga pequeña. *La sala tiene detectores de amoníaco con sistema de alarmas.*

- Caso 1: Se activa la alarma.

Acciones:

El operador debe salir de la sala y seguir plan de emergencia.

- Caso 2 : La alarma no se activa (Esto debería ocurrir si la concentración de amoníaco es menor a 35 ppm)

Acciones:

- a. Colocarse protección respiratoria (ver sección 5.4)
- b. Con papel indicador o monitor de lectura directa portátil, acercarse a detectar la fuga.
- c. Una vez localizado el sector de la fuga, evaluar si la tarea de control es menor (por ejemplo apretar un flange).
- d. Antes de hacer la tarea solicite la colaboración de un segundo trabajador.
- e. Realice la tarea de mantención menor.
- f. Espere unos minutos y verifique que la fuga se detuvo
- g. Si la fuga persiste inicie la parada del sistema para seguir con el procedimiento de reparación.

Situación 2: Se supone que el operador se encuentra realizando una tarea de rutina y ocurre una fuga pequeña. *La sala **NO** tiene detectores de amoníaco.*

- a. Si se percibe el olor a amoníaco y/o se siente irritación en los ojos, salga del área.
- b. Notifique al supervisor
- c. Póngase la protección respiratoria adecuada (Sección 5.4)

- d. Con papel indicador o monitor de lectura directa portátil, acercarse a detectar la fuga.
- e. Una vez localizado el sector de la fuga, evaluar si la tarea de control es menor (por ejemplo apretar un flange).
- f. Antes de hacer la tarea solicite la colaboración de un segundo trabajador.
- g. Realice la tarea de mantención menor.
- h. Espere unos minutos y verifique que la fuga se detuvo
- i. Si la fuga persiste inicie la parada del sistema para seguir con el procedimiento de reparación.

Anexo 3: Ventilación Mecánica Sala de Maquinas [8]

Ventilación Normal

La ventilación normal de la sala de máquinas debería corresponder a un caudal de:

$$Q = 2,54A$$

Donde,

Q= el caudal de aire en (litros/segundo)

A= Superficie de la sala de máquinas en m².

Supongamos que la sala tiene aproximadamente 8,4 m de ancho por 19,0 m de largo la superficie de su planta sería:

$$A = 19 \times 8,4 = 159,6 \text{ m}^2$$

$$Q = 2,54 \times 159,6 = 405 \text{ lt/s} = 1459 \text{ m}^3/\text{h}$$

Aproximando, el caudal de ventilación normal debería ser de 1500 m³/h.

Ventilación de Emergencia

La ventilación mecánica requerida para minimizar la acumulación de refrigerante debido a una fuga o ruptura de sistema debe ser capaz de movilizar aire en la sala de máquinas en un caudal no menor al dado por la siguiente ecuación:

$$Q = 70 \times G^{0,5}$$

Donde,

Q= el caudal de aire en (litros/segundo)

G= masa de refrigerante en kilogramos (amoníaco) en el sistema más grande localizado al interior de la sala de máquinas.

Considerando por ejemplo que en la sala tenemos un estanque de bombeo con 2500 litros de líquido a T = 30 °C y P= 11,5 Kg/cm, se tiene el siguiente cálculo:

Densidad del Amoniaco Líquido = 0,595 Kg/lt

Volumen = 2500 litros

Masa en estanque = 1488 Kg

Caudal mínimo $Q = 70 \times (1488)^{0,5}$

= 2700 lite/s = 9720 m³/h

En resumen, aproximando el cálculo, en este caso sería necesario instalar un sistema de extracción para emergencias que movilice del orden de 10000 m³/h.