

GUÍA OPERATIVA

ACTUACIONES CON AMONÍACO PARA BOMBEROS



V1 - 2019

Autores © 2019

Miguel Albaladejo Pomares
Mario Núñez Sanz
Lluís Domingo de Barberá
Borja González Amarante
Carlos Jesús Artero César
Carlos Castro Mera

S.E.I.. Ayuntamiento de Leganés.
S.C.I. Ayuntamiento de Albacete.
Bombers Generalitat de Catalunya.
S.C.I.S. Ayuntamiento de Torrelavega.
C.E.I.S. Levante Almeriense.
S.P.E.I.S. Ayuntamiento de Narón.

Colaboradores:

José Antonio Marín Ayala
Enrique Martínez Pavón

Consorcio de Bomberos Región de Murcia.
Bomberos Ciudad de Madrid

Este trabajo es el resultado del GT11 en la que se han elaborado la Guía Operativa de intervenciones con cloro para bomberos y la Guía Operativa de intervenciones con amoníaco para bomberos.

Agradecimientos:

A todos los grupos de trabajo del WS de Riesgos Tecnológicos por sus opiniones, comentarios y aportaciones



PRÓLOGO

A fines del Siglo XX, durante una conferencia relacionada emergencias químicas en una Universidad Latinoamericana, con la presencia de estudiantes, académicos y autoridades municipales, se provocó una preocupación en el Sr. Alcalde de la ciudad cuando mencioné los riesgos asociados a los productos químicos que transitaban con mayor frecuencia por las calles de la ciudad.

Al final de la conferencia, el Sr. Alcalde se me acercó y me pidió más información de los químicos para poder dictar un decreto que prohibiese el tránsito de materiales peligrosos por su ciudad. En ese momento me disculpé con el Sr. Alcalde y le expliqué que no me había entendido. Que la intención de mi conferencia no era vetar el tránsito de productos químicos en la ciudad, sino que crear consciencia de la importancia que tiene el conocer los riesgos asociados a cada familia de productos químicos, las medidas de prevención recomendadas y por supuesto, el saber qué hacer cuando el producto pierde su contención e inicia su interacción con el ambiente y las personas. Mi conversación con el Sr. Alcalde terminó cuando le acabé de explicar que era imposible prohibir el tránsito y la utilización de productos químicos en las ciudades sin afectar gravemente a la comunidad.

... “¿Acaso el Sr. Alcalde estaría dispuesto a abastecer su vehículo con combustible afuera de la ciudad? ¿Y qué hay del gas licuado que utiliza para cocinar? ¿el hipoclorito de sodio que utiliza para lavar? ¿El oxígeno de los hospitales? ”...

Entendí en ese momento la importancia de difundir conocimientos en el tema químico, no solamente a quienes producen, manipulan, transportan, transfieren y responden a emergencias con materiales peligrosos, sino también a aquellos que, de una u otra forma, tienen relación con aspectos legislativos, regulatorios, administrativos, logísticos, de control, fiscalización, etc.

Conocí a Miguel Albadalejo Pomares, uno de los autores de la *Guía para Actuaciones con Amoniaco para Bomberos*, durante unas jornadas de entrenamiento intenso. Compartimos un par de semanas en Paulinia y otra en La Haya, donde trabajamos en un esfuerzo común en términos de prepararnos para atender emergencias con productos químicos.

La Guía para Actuaciones con Amoniaco para Bomberos, ofrece importante información que ayuda a entender aspectos de utilización industrial del producto, el comportamiento del Amoniaco Anhidro cuando se libera al ambiente, el riesgo potencial que representa para las personas, las medidas de protección química y respiratoria que se deben utilizar de acuerdo con la concentración del producto en el ambiente, interesantes consideraciones relacionadas con el almacenamiento seguro del producto, sistemas de detección y monitoreo, procedimientos de intervención y muchos otros aspectos interesantes que, definitivamente, son un aporte importante para el trabajo de respuesta a emergencia de Bomberos y una contribución relevante para la comunidad de emergencia químicas de habla hispana.

Jorge A. Carrasco
Director de Operaciones Suatrans

CONTENIDOS.

	<i>Página.</i>
1. INTRODUCCIÓN.	6
2. CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES.	10
3. PRODUCCIÓN INDUSTRIAL DE AMONÍACO .	27
4. ALMACENAMIENTO.	34
4.1. Depósitos y recipientes fijos.	35
4.2. Botellas.	46
4.3. Bidones a presión.	49
5. TRANSPORTE.	52
5.1. Transporte por carretera en cisternas.	53
5.2. Transporte por carretera en bidones a presión.	58
5.3. Transporte por ferrocarril.	59
6. USO DEL AMONÍACO COMO REFRIGERANTE R-7171.	65
6.1. Instalación de refrigeración básica de amoníaco.	66
6.2. Normativa de uso de refrigerantes.	68
6.3. Clasificación del amoníaco dentro de la normativa.	69
6.4. Requisitos de una instalación de amoníaco de interés para bomberos.	70
6.5. Diseño de la instalación.	71
6.6. Marcaje de tuberías en instalaciones de refrigeración.	80
7. SEÑALIZACIÓN E IDENTIFICACIÓN.	81
7.1. Sistema Globalmente Armonizado.	82
7.2. Identificación de botellas de gas para el transporte.	84
7.3. Identificación de tuberías.	85
7.4. Identificación y señalización durante el transporte por carretera y ferrocarril.	86
8. SISTEMAS DE DETECCIÓN DE AMONÍACO EN LAS INTERVENCIONES.	88
8.1. Tubos colorimétricos.	92
8.2. Sensores electroquímicos.	92
8.3. Sensores catalíticos.	93
8.4. Detector de fotoionización.	94

9. GENERALIDADES SOBRE INTERVENCIONES CON AMONIACO.	95
9.1. <i>Fenómenos térmicos.</i>	96
9.2. <i>Fenómenos mecánicos.</i>	97
9.3. <i>Fenómenos químicos.</i>	97
9.4. <i>Dardo de fuego.</i>	102
9.5. <i>Incendios de charco y nubes explosivas.</i>	104
9.6. <i>Bola de fuego.</i>	105
9.7. <i>Nube tóxica.</i>	110
10. TÉCNICAS DE INTERVENCIÓN CON AMONIACO.	115
10.1. <i>Protección personal.</i>	116
10.2. <i>Técnicas de intervención.</i>	119
10.2.1. <i>Actuaciones sobre el contenido.</i>	119
10.2.1.1. <i>Dilución con agua.</i>	119
10.2.1.2. <i>Cortinas de agua.</i>	120
10.2.1.3. <i>Supresión de vapor.</i>	122
10.2.1.4. <i>Venteo/dispersión.</i>	122
10.2.1.5. <i>Colocación de barreras.</i>	123
10.2.1.6. <i>Relicuaación.</i>	124
10.2.1.7. <i>Absorción.</i>	124
10.2.1.8. <i>Neutralización.</i>	124
10.2.2. <i>Actuaciones sobre el continente</i>	124
10.2.2.1. <i>Enfriamiento</i>	124
10.2.2.2. <i>Cubrición.</i>	125
10.2.2.3. <i>Taponamiento.</i>	125
10.2.3. <i>Actuaciones generales sobre cisternas.</i>	127
10.2.3.1. <i>Trasvase.</i>	131
10.3. <i>Descontaminación.</i>	141
10.4. <i>Primeros auxilios.</i>	144
11. BIBLIOGRAFÍA.	147

1 INTRODUCCIÓN



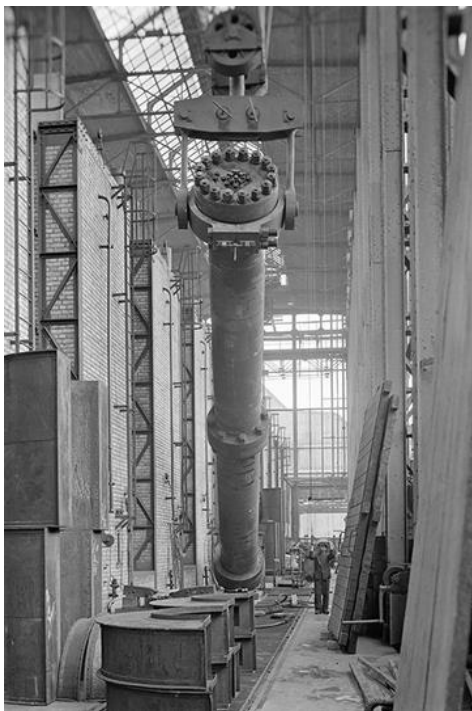
1. INTRODUCCIÓN.

El amoniaco, y especialmente el cloruro de amonio, ya eran conocidos por los antiguos egipcios cuyos sacerdotes le dieron este nombre probablemente debido al dios Amon-Ra. Los alquimistas medievales obtenían amoniaco calentando pezuñas y cuernos de animales recogiendo el gas desprendido, al que llamaban “*espíritu de asta de ciervo*”; otros, lo obtenían calentando orina con sal común y tratando el producto obtenido con álcalis; en este caso al gas desprendido lo denominaban “*espíritu volátil*”. No fue hasta 1785 cuando Berthollet demostró que el amoniaco era un compuesto formado por nitrógeno e hidrógeno.

El nitrógeno, base fundamental del amoniaco, es un elemento químico peculiar; es el cuarto más abundante en la materia biológica, después del oxígeno, el carbono y el hidrógeno, y aunque es tremendamente abundante en nuestra atmósfera no es fácil hacer uso de él. En el aire está presente en forma molecular, N_2 , que difícilmente interactúa con otros átomos. Sin embargo, la corteza terrestre también contiene algo de nitrógeno en forma de sales que pueden ser asimiladas por las plantas y permitir su crecimiento. La fijación de nitrógeno atmosférico era el gran reto que se ofrecía a los científicos para cubrir la gran demanda de nitrógeno que había; hasta entonces, la mayor parte del nitrógeno se obtenía de los fertilizantes orgánicos de los organismos vivos que lo contenían. El rey Carlos I de Inglaterra, en 1626, ordenó a sus súbditos recolectar la orina que acumularan durante el año y donarla para la producción de nitrato de potasio, una sal rica en nitrógeno. También se obtenía de la rotación de cultivos, de modo que cada cierto tiempo era importante plantar legumbres cuyas raíces alojaban colonias de bacterias capaces de fijar el nitrógeno atmosférico.

Durante las primeras décadas del siglo XX el “*Nitrato de Chile*” fue la gran fuente de nitrógeno, llegando a representar las 2/3 partes del consumo mundial; pero, aun así, no era suficiente para la inmensa demanda que había, lo que llevó a los científicos a buscar métodos alternativos que permitiesen fijar el que había en la atmósfera para tener una fuente de nitrógeno “inagotable”.

En el año 1900, una de las compañías químicas más importantes de Alemania, BASF, tenía a cargo de sus investigaciones con nitrógeno al ingeniero Carl Bosch; uno de sus objetivos era el desarrollo de abonos sintéticos que sustituyeran al “*Nitrato de Chile*” debido al bloqueo militar de Bolivia y Chile por parte de la armada británica durante la Primera Guerra Mundial. El trabajo de Fritz Haber, profesor de química en la universidad de Karlsruhe y Berlín, sugería que la síntesis técnica de amoniaco, a partir del nitrógeno y el hidrógeno, podía ser posible. El proceso requería de altas temperaturas, alta presión y catalizadores; es entonces cuando BASF comienza la realización de una intensa investigación bajo la dirección de Carl Bosch.



Planta de producción de Amoníaco
Fuente: BASF

Un año después de la innovación, la primera planta de síntesis de amoníaco entra en servicio en Oppau, en 1913, tres kilómetros al norte de la planta de Ludwigshafen. La producción anual inicialmente fue de 9.000 toneladas de amoníaco para ser procesado en 36.000 toneladas de sulfato de amonio.

El cuerpo de bomberos de la planta de Oppau se fundó como un servicio de bomberos profesionales para las localidades de Ludwigshafen y Oppau. Además de la lucha contra incendios, sus funciones incluían la protección frente a escapes de gas y la asistencia en caso de interrupciones operativas e incidentes en la planta, así como ambulancias y servicio de primeros auxilios.

En la actualidad, y esto es algo que se viene arrastrando del pasado, la gran producción a nivel industrial de amoníaco está asociada al uso de fertilizantes que proporcionen nitrógeno al terreno, ya que éste se ve aminorado tras cada cultivo; sin embargo, y como se menciona en el artículo *“How a century of ammonia synthesis changed the world”*, lo que sirvió y está sirviendo para hacer crecer el mundo y aumentar los cultivos se está convirtiendo hoy en día en un problema ambiental por la contaminación del terreno.

Aunque cerca del 80% del amoníaco consumido en la actualidad se utiliza para la producción de fertilizantes como fuente de nitrógeno, el amoníaco se utiliza en otras muchas aplicaciones, como en la industria química: síntesis de urea, hidracina, fertilizantes, ácido nítrico, etc.; en la petroquímica, en la neutralización del petróleo y síntesis de catalizadores; en la industria metalúrgica, para atmósferas de tratamiento térmico; en la industria agropecuaria, para la fertilización de tierras y el tratamiento de la paja; en la industria papelera, para la eliminación del calcio; en la industria del frío, como refrigerante; en la industria del caucho, para la eliminación de la coagulación del látex; en la industria textil, como disolvente; o en la industria electrónica como tratamiento de superficies.

La refrigeración con amoníaco se utiliza también de manera amplia desde hace más de 150 años y continúa siendo la técnica más utilizada en sistemas de refrigeración industrial para procesar y conservar la mayoría de los alimentos y bebidas. Más recientemente, ha demostrado también ser una alternativa natural para grandes instalaciones frigoríficas como fábricas de hielo, almacenes refrigerados y sistemas de aire acondicionado. Aunque no es viable su uso para la refrigeración comercial, las ventajas que presenta como refrigerante industrial lo convierten en una gran alternativa de futuro. Es uno de los

refrigerantes industriales más seguros, económicos y eficientes. Además, no destruye la capa de ozono y no contribuye al efecto invernadero asociado al calentamiento global porque al ser un gas biodegradable permanece poco tiempo en la atmósfera.

Es precisamente este gran uso del amoníaco en diversos procesos y aplicaciones lo que hace que los accidentes que implican este gas se multipliquen hoy en día, pudiendo verse con mucha frecuencia noticias en los diarios de accidentes/incidentes con amoníaco en instalaciones habituales de refrigeración, almacenamiento, transporte o uso habitual de limpieza.

SER ÁVILA

SUCESOS

Once heridos tras una fuga de amoníaco en Avilaves

Muere una mujer intoxicada con amoníaco mientras limpiaba la cocina de su casa, en San Blas

La víctima empezó a encontrarse mal y avisó a Emergencias, pero cuando llegaron los bomberos la encontraron muerta

CAT ESCAPE AMONÍACO

Un escape de amoníaco obliga a evacuar empresa La Menorquina en Palau-solità



REDACCIÓN
25/06/2018 21:22

Barcelona, 25 jun (EFE).- Un escape de gas amoníaco ha obligado a

EL PAÍS

MADRID

20 operarios son evacuados por una fuga de amoníaco en Tres Cantos



Leganes Comunicación



Añadir Comentario

ACTUALIDAD - SUCESOS

Escape de amoníaco al romperse una válvula en el Auditorio Padre Soler de la UC3M en Leganés

28/09/2017 - 4.500 Votos - 2 Tiempo de Lectura

Actualización 29/09/17

Retirarán 10.000 litros de amoníaco en el incendio de la panificadora de Mercadona para evitar vapor tóxico

NOTICIAS SOCIEDAD INTOXICACIÓN EN GRANADA CAPITAL

Cuatro trabajadores, ocho bomberos y un policía, afectados por una fuga de amoníaco en la cervecera Alhambra

Descarrila un tren cargado de amoníaco en Huelva con destino a Badajoz

El incidente se ha registrado a un kilómetro del apeadero de La Nava y a cuatro kilómetros de la población

Alarma por un escape de amoníaco en la Cooperativa de Guissona

REDACCIÓ | GUISSONA Actualizada 31/07/2018 a las 17:14

IZASKUN GIL DE MURO PROFESORA DE QUÍMICA UPV

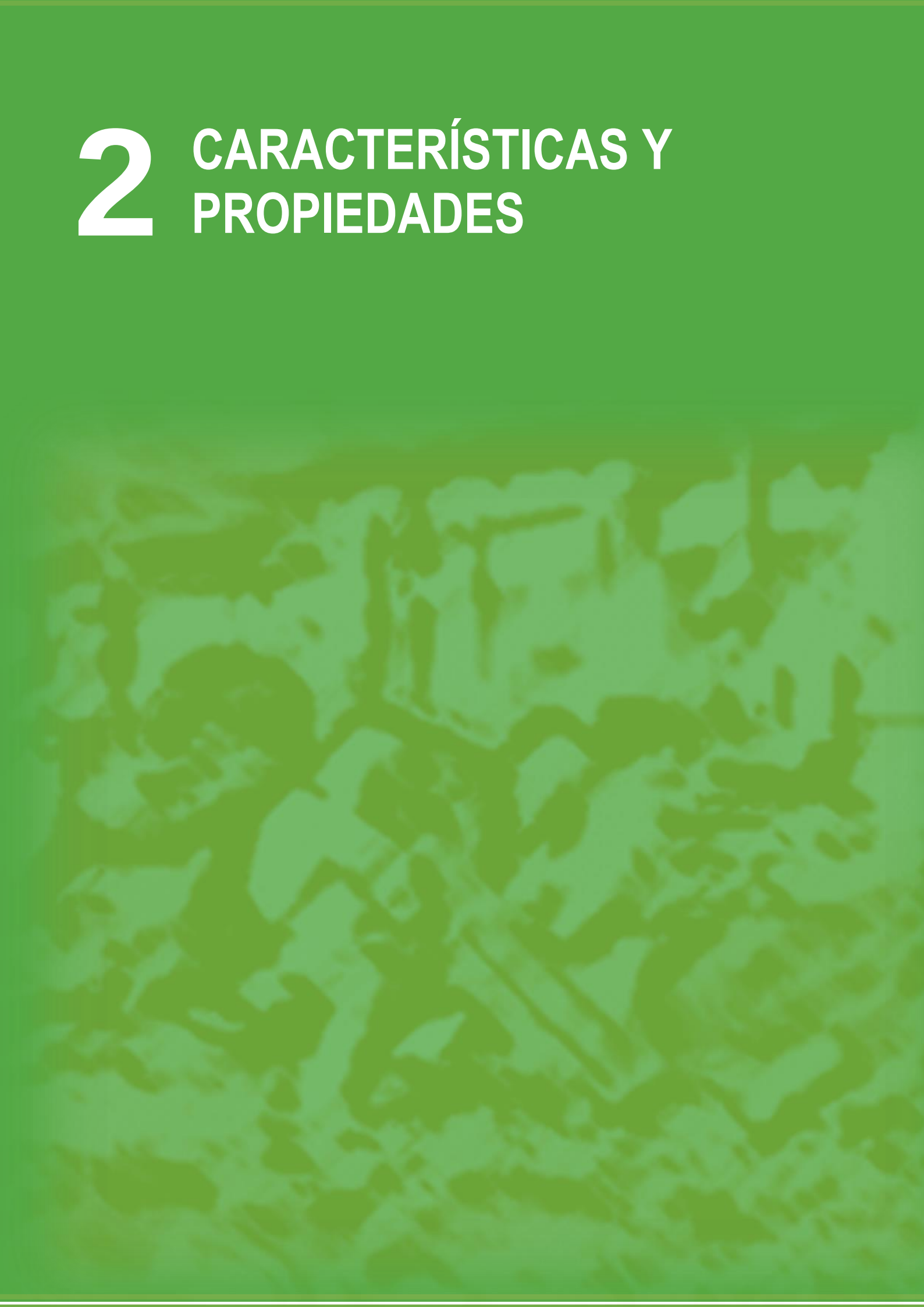
“Un derrame de amoníaco podría generar una explosión al mezclarse con el aire”

“Los compuestos químicos pueden ser peligrosos, pero normalmente suelen estar bien protegidos y no explotan tan fácilmente”, asegura la profesora de la UPV/EHU

ARANTZA RODRÍGUEZ - Martes, 15 de Marzo de 2016 - Actualizado a las 07:36h

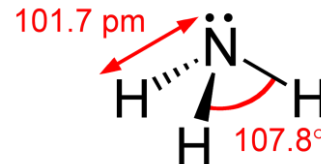
Nuestra tarea como equipos de primera intervención debe ser conocer este producto y sus formas de almacenamiento, transporte y comportamiento para poder manejarlo de la mejor manera posible en las intervenciones y minimizar las consecuencias del accidente.

2 CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES



2. CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES.

El amoníaco anhidro es una molécula polinuclear formada por un átomo de nitrógeno y tres átomos de hidrógeno mediante enlaces de tipo covalente, con una estructura triangular piramidal cuyos ángulos entre enlaces es de $107,8^\circ$ y la distancia del enlace N-H es de 101,7 pm. Su peso molecular es el resultado de sumar los pesos atómicos correspondientes a los tres átomos de hidrógeno y el del nitrógeno ($17,031 \text{ u}^1$).



El enlace entre el átomo de nitrógeno y los átomos de hidrógeno es de tipo covalente², lo que resulta interesante porque va a condicionar tanto propiedades físicas como la temperatura de fusión, temperatura de ebullición, conductividad eléctrica, solubilidad, etc., así como las reacciones químicas que se van a dar con el amoníaco, pues al fin y al cabo las reacciones químicas consisten esencialmente en la ruptura de enlaces y la formación de otros nuevos.

En el caso del amoníaco los electrones que forman el enlace no están compartidos por igual entre el átomo de hidrógeno y el de nitrógeno, ya que ambos presentan electronegatividades³ diferentes. Un enlace covalente es *polar* si los átomos unidos tienen diferente electronegatividad; y es *no polar* si atraen por igual el par de electrones compartido. El momento dipolar del amoníaco es la suma vectorial de los momentos dipolares de cada uno de los enlaces N-H, y toma el valor de 1.48μ .

Es importante hacer la diferenciación entre amoníaco anhidro y amoníaco en disolución, ya que en el primer caso se trata de amoníaco 100% puro, y en el segundo se trata de una solución corrosiva de amoníaco en agua que normalmente tiene una concentración entre el 10-35%. El ADR⁴ contempla para el transporte que el amoníaco anhidro (Nº ONU 1005), el amoníaco en solución acuosa con un contenido superior al 50% de amoníaco (Nº ONU 3318) y el amoníaco en solución acuosa con un contenido superior al 35% y un máximo del 50% de amoníaco (Nº ONU 2073), son materias de la clase 2 (gases), mientras que el amoníaco en solución conteniendo entre un 10% y un 35% de amoníaco (Nº ONU 2672) es una materia de la clase 8, no estando sometidas a las disposiciones del ADR las soluciones de amoníaco con un máximo del 10% de amoníaco.

El amoníaco, en función de la temperatura y la presión, se puede encontrar como un gas incoloro, un líquido incoloro e incluso como un sólido blanco. En condiciones ambientales normales es un gas incoloro y picante, con un punto normal de ebullición de $-33,5^\circ\text{C}$ y un punto de congelación de $-77,7^\circ\text{C}$. La densidad de los vapores es menor que la del aire ($d_{rel} 0,6$), por lo que tenderá a desplazarse y disiparse en la atmósfera a medida que se eleva, pero factores como la humedad, la temperatura y el lugar donde se produce la fuga, pueden hacer que la nube alcance zonas bajas; del mismo modo, la densidad del líquido es

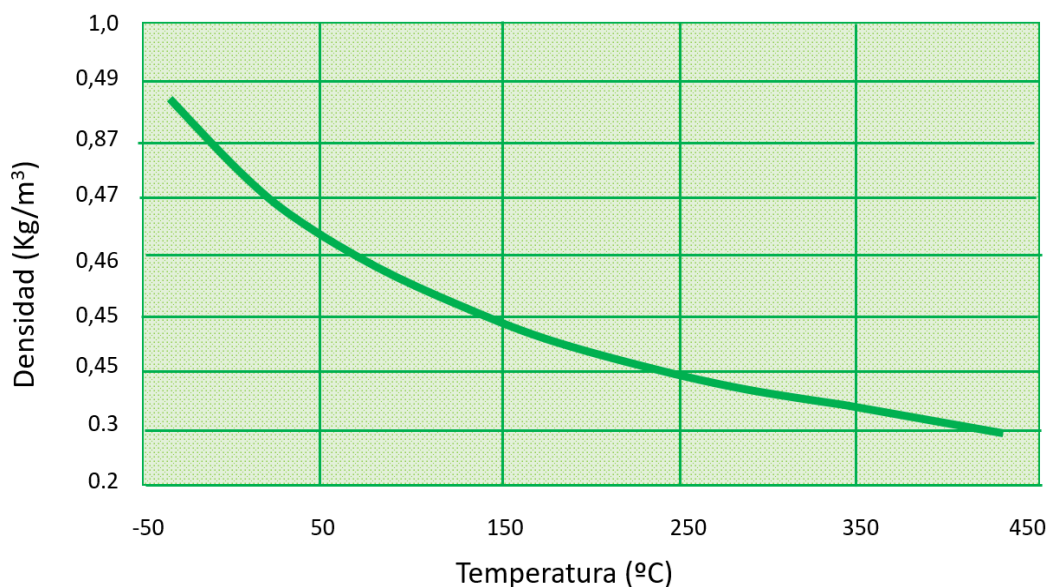
¹ u: Unidad de Masa Atómica

² Tipo de enlace en el que existe una compartición de electrones de valencia entre los átomos.

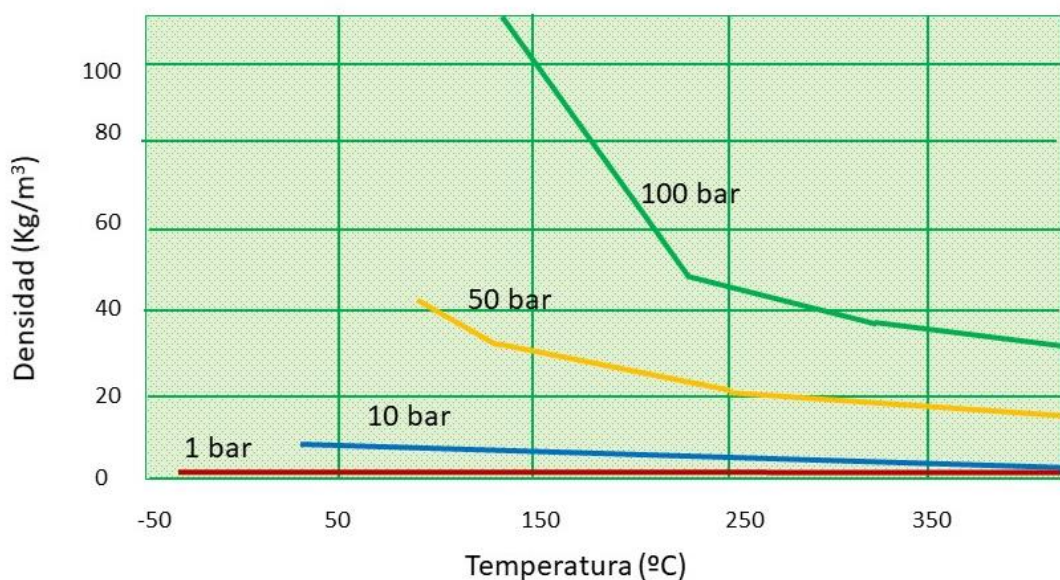
³ Tendencia relativa que muestran los átomos entrelazados para atraer electrones hacia sí

⁴ ADR: Acuerdo Europeo sobre Transporte Internacional de Mercancías Peligrosas por Carretera"

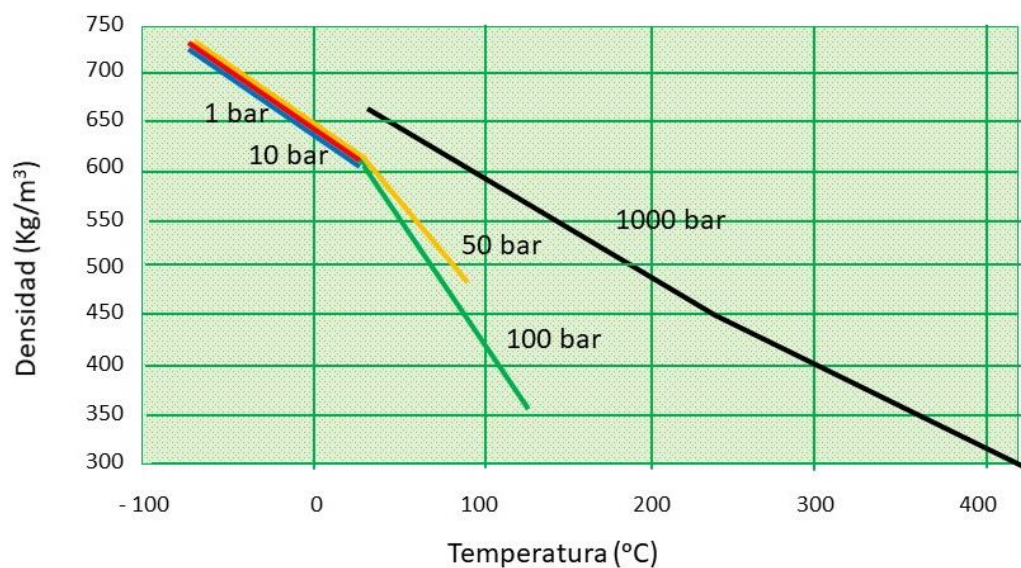
menor que la del agua, por lo que técnicamente flotará sobre ésta; sin embargo, debido a su alta solubilidad, hará que se disuelva uniformemente por toda ella.



Densidad del amoníaco gas en función de la Tª a 1 atm
Fuente: Enginnering ToolBox. Ilustr. M. Albaladejo

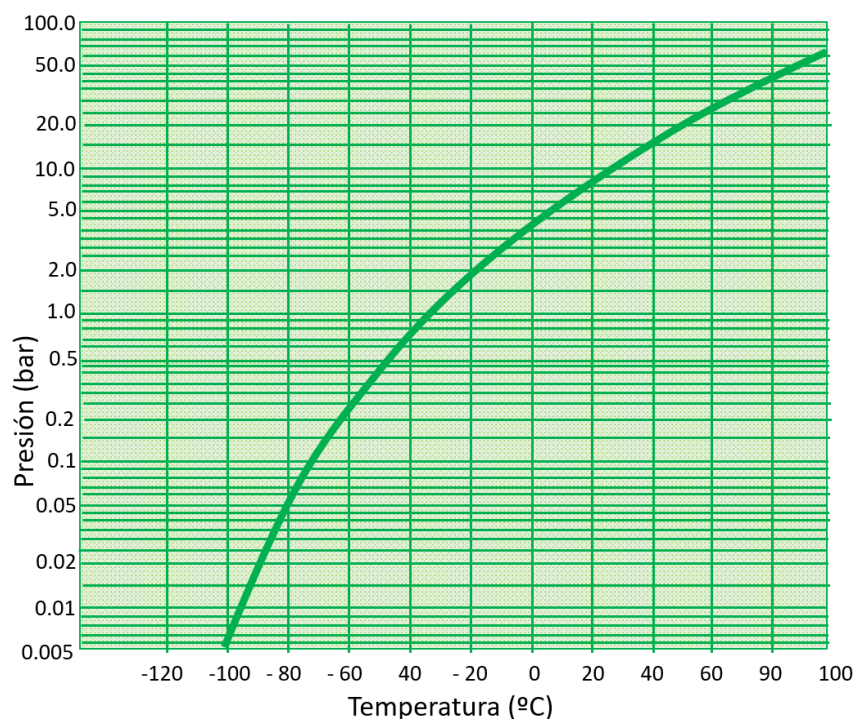


Densidad del amoníaco gas en función de la Tª y la Presión
Fuente: Enginnering ToolBox. Ilustr. M. Albaladejo



Densidad del amoníaco líquido en función de la Tª y la Presión
Fuente: Enginering ToolBox. Ilustr. M. Albaladejo

Cuando el amoníaco anhidro se almacena en un tanque, depósito o cisterna donde hay fase gas y fase líquida, la presión del almacenamiento estará en función de la temperatura del líquido; así, a temperatura ambiente (25°C), el amoníaco se almacena en fase líquida a una presión aproximada de 8,5 bar. Para poder almacenar amoníaco en estado líquido hay que tener presente que tiene un alto coeficiente de expansión (1:850), por lo que los depósitos deben tener un límite de llenado máximo del 85%.

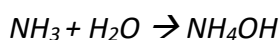


Curva Presión de vapor del amoníaco

El amoníaco anhidro líquido posee un gran calor de evaporación ($1,37\text{KJ}^{-1}$ a $-33,5^{\circ}\text{C}$)⁵ y tiene un comportamiento físico parecido al del agua debido a su polaridad, pero posee una reactividad más baja que ésta con respecto a los metales electropositivos (sodio, potasio, cesio, etc.) ya que estos reaccionan de inmediato con el agua para desprender hidrógeno, mientras que con el amoníaco anhidro líquido muchos se disuelven para dar soluciones azuladas también con desprendimiento de hidrógeno.



En ausencia de humedad se le puede considerar una sustancia relativamente no corrosiva, aunque en presencia de agua se eleva al formarse una base moderada con un pH superior a 11.



El amoníaco, al ser gas a temperatura ambiente, posee una gran fluidez, compresibilidad y tendencia a expandirse, siendo las fuerzas de cohesión entre sus moléculas prácticamente nulas.

En general, el estado de una masa gaseosa depende de tres variables principalmente: presión, volumen y temperatura, que no son independientes entre sí, sino que cada una de ellas es siempre función de las otras dos. El estudio experimental de los gases condujo a una serie de leyes que relacionan dichas tres variables, leyes que sólo cumplen los denominados gases ideales o perfectos cuando:

- El volumen de sus partículas es nulo⁶
- No existen fuerzas atractivas entre ellas

Es evidente que el amoníaco no satisface estas dos condiciones, pero su comportamiento se aproxima al de los gases ideales o perfectos si la presión es muy baja y la temperatura es alta (condiciones muy alejadas de la licuación), pudiéndose hablar en este caso de leyes límite⁷.

Ley de Boyle- Mariotte: En todo proceso a temperatura constante (isotérmico) y en el que no hay intercambio de energía con el exterior (adiabático), el producto de la presión que ejerce una determinada masa gaseosa por el volumen que ocupa es constante.

$$P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2$$

Ley de Charles Gay-Lussac: En todo proceso a presión constante (isobaro), la variación del volumen de una determinada masa gaseosa con la temperatura es directamente proporcional al incremento de la misma y al volumen inicial del gas.

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

⁵ Cotton and Wilkinson 4ª Ed.

⁶ M.R.Fernández & J.F.Fidalgo. Química General

⁷ J.Catalá. Física General 1976.

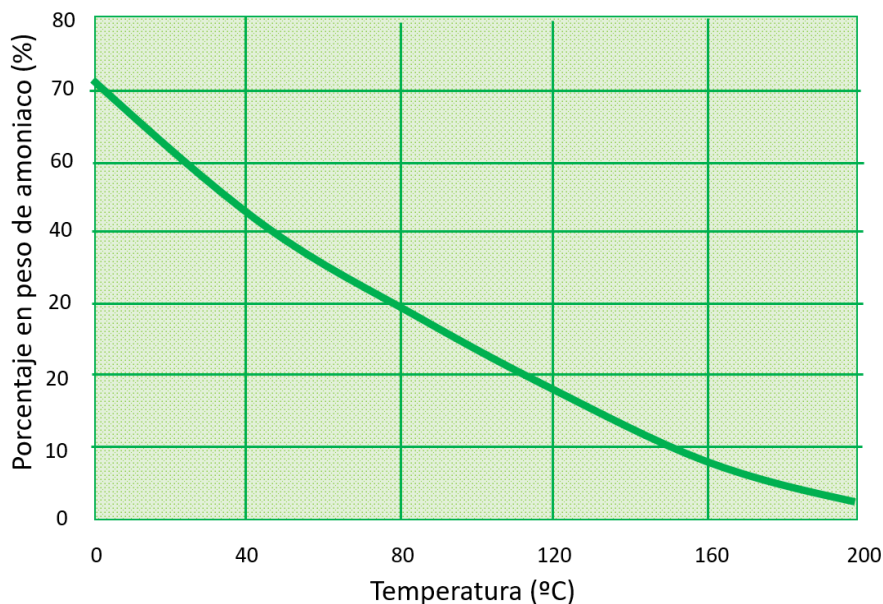
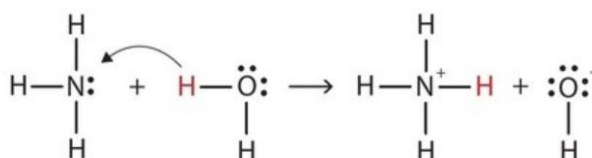
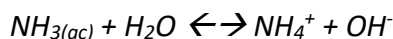
Ecuación de estado de los gases ideales o perfectos: Para n moles⁸ de un gas ideal, inicialmente en condiciones normales ($P_0 = 1 \text{ atm}$; $T_0 = 0^\circ\text{C} = 273 \text{ K}$).

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

donde R , representa la constante de los gases perfectos y cuyo valor es:

$$R = 0,0821 \frac{\text{atm} \cdot \text{l}}{\text{K} \cdot \text{mol}} = 62,4 \frac{\text{mmHg} \cdot \text{l}}{\text{K} \cdot \text{mol}} = 8,3114 \frac{\text{J}}{\text{K} \cdot \text{mol}} = 1,9872 \frac{\text{cal}}{\text{K} \cdot \text{mol}}$$

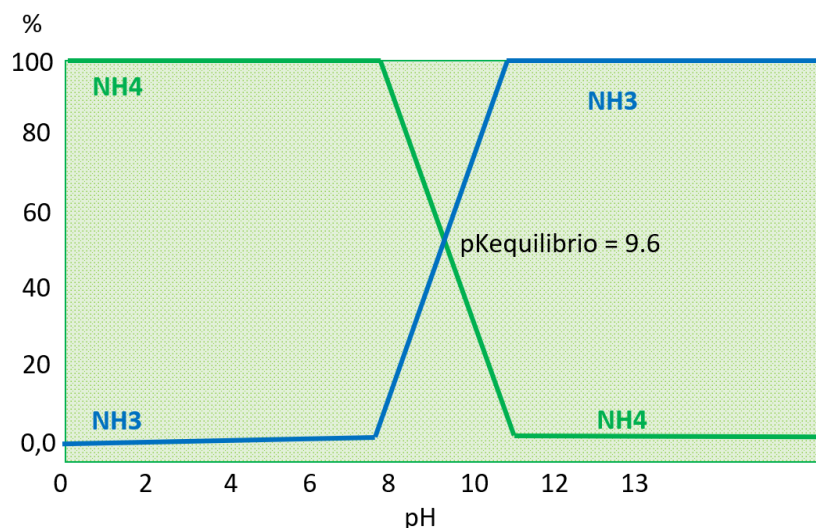
El amoníaco es sumamente soluble en agua, y a bajas temperaturas forma hidratos cristalinos. Aunque es muy común referirse a las soluciones acuosas como soluciones de base débil de NH_4OH , llamada comúnmente “hidróxido de amonio”, es más correcto hablar de soluciones de amoníaco $\text{NH}_{3(\text{ac})}$.



Solubilidad del amoníaco en agua

Cuando el amoníaco anhidro se disuelve en agua para formar una solución acuosa se produce la liberación de calor (reacción exotérmica). El valor de pH de una disolución de amoníaco estará en función de la concentración de iones NH_4^+ presentes en la misma.

⁸ Mol: Unidad de sustancia en el Sistema Internacional de medida equivalente a $6,02214076 \times 10^{23}$ unidades elementales, según IUPAC.



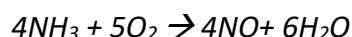
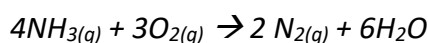
Valor de PH en función de la concentración de iones amonio

El amoníaco líquido es un valioso disolvente, mejor que el agua para algunas sustancias orgánicas. Es mal conductor de la corriente eléctrica, pues está muy débilmente ionizado en NH_4^+ y OH^- .

A pesar de ser un gas relativamente estable, reacciona con otras muchas sustancias de manera peligrosa, como pueden ser⁹: Acetaldehído, acroleína, boro, bromo, cloro, flúor, ácido nítrico, etc.

Aunque el amoníaco está considerado como un gas no inflamable por Naciones Unidas, sí lo es en determinadas concentraciones. Su inflamabilidad se encuentra dificultada porque las concentraciones que necesita son muy altas y su difusión en el aire es muy rápida, pero **en ambientes cerrados resulta realmente peligroso**. Su rango de inflamabilidad se encuentra entre 15-28%¹⁰, un rango demasiado alto y a su vez demasiado estrecho para producir atmósferas inflamables, pues una concentración de amoníaco del 16%, equivalente a 160.000 ppm, no son muy habituales; sin embargo, sí es un factor para considerar en fugas que se produzcan en recintos cerrados.

La combustión normal en el aire genera nitrógeno; sin embargo, aunque esta reacción es muy favorable desde el punto de vista termodinámico, también se puede hacer reaccionar el amoníaco con oxígeno para obtener unos vapores de color pardo que indican la presencia de NO. Si hay un exceso de oxígeno se produciría NO_2 .



En caso de fuga de un depósito que contenga amoníaco anhidro, la relación de expansión entre la fase líquida y la gaseosa es de 1:850, casi el doble de la que se produce en el caso del cloro, por lo que la fuga será considerablemente diferente si se produce en la zona superior del depósito donde se encuentra la fase gas o si tiene lugar en la zona inferior

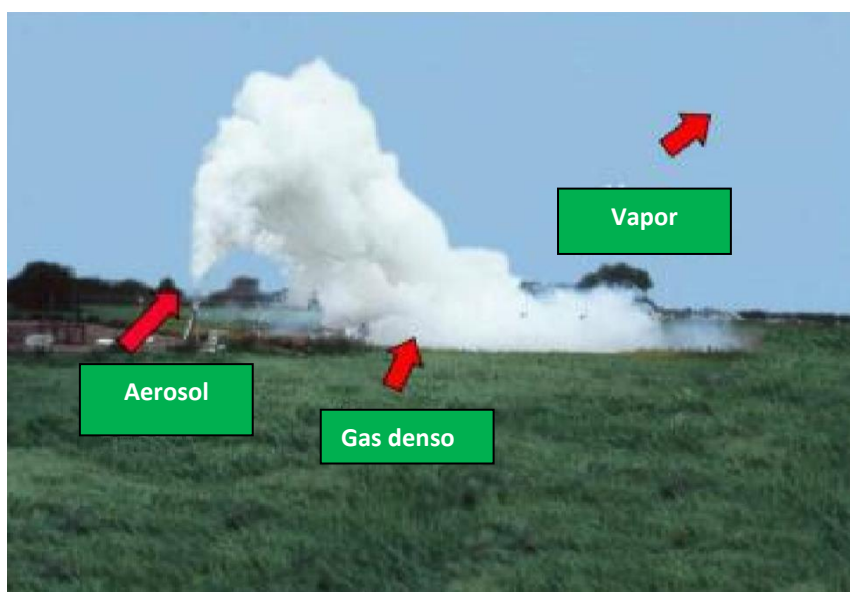
⁹ NFPA-Fire protection guide to hazardous materials

¹⁰ NIOSH

donde se encuentra la fase líquida. Aunque ya se ha comentado que la densidad relativa de los vapores y del amoníaco anhidro líquido son menores que la del aire o agua respectivamente, esta densidad varía con la temperatura y la presión, factores que van a condicionar también su dispersión en la atmósfera. En la dispersión de la nube también va a influir la viscosidad que, para el caso del amoníaco, tanto líquido como gas, no es muy diferente a la media del resto de fluidos.

Las fases que se siguen en un escape de amoníaco son principalmente tres:

- **Aerosol:** Es el generado en el punto más próximo al foco de la fuga. La mayor parte de este aerosol se va a mezclar con la humedad del ambiente dando lugar a una nube de color blanco.
- **Aumento de la densidad del gas:** Cuando se produce la fuga, el amoníaco anhidro se mezcla con la humedad del aire formando una nube de hidróxido de amonio más pesada que el aire; esta nube será más densa cuanto mayor sea la humedad del aire. Si el vertido fuera en fase líquida, el amoníaco comenzará a hervir, pasando de fase líquida a fase gas, creando un aerosol y una nube densa de gas.
- **Fase vapor:** Es el estadio final, donde el amoníaco comienza a mezclarse y disiparse en el aire.



Fases de fuga anhidro de amoníaco en fase gas.
Fuente: Transcaer

En la secuencia de imágenes que se muestra a continuación se observa un escape de amoníaco líquido por la parte inferior de un tanque; en un primer instante comenzará a evaporarse de manera inmediata, y debido a su alto ratio de expansión comenzará a ocupar un gran volumen que se irá elevando y dispersando en la atmósfera debido a su menor densidad. A medida que se produce la fuga se mezcla con la humedad existente en el aire, creando una nube densa blanquecina. Parte de los vapores, los más fríos, permanecerán en las zonas bajas hasta que vaya aumentando su temperatura y comiencen a ascender. Se hace una comparación con el gas cloro, que tiene un valor de densidad de sus gases más pesado que el aire y posee una ratio de expansión cerca de la mitad que el

del amoniac. A pesar de ser el amoniac un gas incoloro, a pequeñas concentraciones y con una ligera presencia de humedad es capaz de formar la nube blanquecina característica.



Fuga de Amoniac (dcha) y cloro (izda)



En un primer momento se observa que la dispersión del amoniac es más rápida que la del cloro, tendiendo a elevarse y dispersarse debido a su densidad y a la presión de salida del producto desde el recipiente. A pesar de ser el amoniac incoloro, con una poca masa de fuga y una mínima humedad en el aire se puede observar el color blanco de la nube.



Fuga de Amoniac (dcha) y cloro (izda)



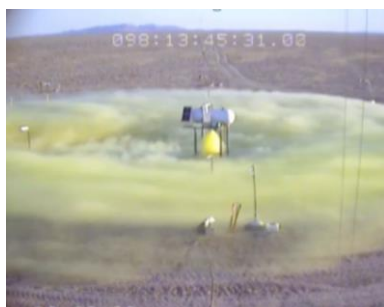
Rápidamente los vapores de amoniac comienzan a dispersarse en la atmósfera y a alcanzar mayores distancias que otros gases más pesados como el cloro.



Fuga de Amoniac (dcha) y cloro (izda)



En condiciones ambientales de estabilidad atmosférica y relativamente poca humedad, se observa el diferente comportamiento entre la nube de cloro y la de amoniac. La del cloro es una nube delgada y a ras de suelo, mientras que la del amoniac es muy voluminosa y se dispersa rápidamente en todas direcciones.



Fuga de Amoniac (dcha) y cloro (izda)



En puntos alejados del origen, la nube de cloro pierde coloración, aunque sigue siendo tóxica, mientras que la de amoniac permanece blanquecina (coloreada) a más distancia.

En las fugas de amoniaco líquido el comportamiento va a estar influenciado por diferentes parámetros: la temperatura previa a la fuga, la velocidad con que el líquido puede absorber calor del entorno, la cantidad de superficie libre para llevarse a cabo la evaporación del amoniaco, cantidad y forma de moverse del aire sobre la superficie del charco, etc.

Si la fuga se produce en fase gas, y además hay cierta humedad en el ambiente, el amoniaco se hidratará, siendo entonces la nube formada más densa que el aire y tendiendo a ocupar las zonas bajas.



Fuga de amoniaco en fase gas en ambiente con cierta humedad
Fuente: MN Departament of agriculture

Tanto el amoniaco anhidro en fase gas como líquido tiene una conductividad térmica y una capacidad calorífica alta comparada con otras muchas sustancias, lo que le confiere muy buenas propiedades de transferencia de calor; por eso es usado como un muy buen refrigerante, al absorber gran cantidad de calor cuando hierve.

Desde un punto de vista ácido-base se trata de una sustancia básica que tiene un valor de $\text{pH} > 13$; por tanto, puede producir quemaduras químicas debido a la corrosividad; en caso de contacto con la piel, la corrosividad se ve incrementada debido a su alta solubilidad en agua.

Aunque el amoniaco se considera un producto relativamente estable, no significa que no pueda dar lugar o participar en algunas reacciones peligrosas o potencialmente peligrosas; de hecho, el amoniaco reacciona de manera peligrosa con productos como el cloro, flúor, bromo, mercurio e hipocloritos, con los que puede formar compuestos explosivos. También reacciona de manera peligrosa con productos como el sodio, potasio, ácido nítrico, óxido de etileno, acroleína, acetaldehído, etc.

La compatibilidad con los elastómeros utilizados en equipos de protección, taponamiento, juntas de válvulas, etc., es muy variada, no siendo recomendado el contacto con Caucho natural, Nitrilo, Poliuretano, Vitón o Silicona a bajas temperaturas. En determinados rangos de temperatura es aceptable su uso con Neopreno (-40°C y 80°C), Butil (-54°C y 149°C), Silicona (entre -20°C y 204°C). El Teflón, aunque técnicamente no es un elastómero, es compatible con el amoníaco¹¹.

Se puede decir que el amoníaco tiene la “gran ventaja” de tener un umbral de olor muy bajo (2-5 ppm), lo que permite que sea detectable por el olfato mucho antes de que la concentración alcance valores peligrosos (PEL¹² 50 ppm, OSHA). Este hecho, por otro lado, resulta ser un inconveniente, pues en caso de fuga se crea una alarma social por el fuerte olor que posee.

A continuación, se muestran las propiedades físico-químicas más características del amoníaco anhidro¹³:

PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS			
Peso molecular	17,03	Calor de formación	-10,96 Kcal/mol (25°C)
Color	incolore	Energía libre de formación	-3,903 Kcal/mol (25°C)
Estado	Gas (Tª ambiente)	Constante dieléctrica	16,9 (25°C, líquido)
Punto fusión	-78°C (1 atm)	Momento dipolar	1,3x10 ⁻¹⁸ e.s.u
Punto ebullición	-33,3°C (1atm)	Potencial de ionización	11,2 voltios
Presión crítica	11,410 KPa	Calor de combustión	8001 Btu/lb
Presión de vapor	8600 mbar (20°C)	Solubilidad	51 g/100ml (20°C) Altamente soluble
Temperatura crítica	133°C	Densidad gas	0.73 kg/m ³ (1.013 bar; 15 °C)
Gravedad específica vapor	0,596 (1 atm)	Densidad del líquido	682 kg/m ³ (1.013 bar; -33.5 °C)
Gravedad específica líquido	0,62	Conductividad térmica	22.19 mW/(m K) (1 bar; 0 °C)
Volumen específico	1.3 m ³ /Kg (1 atm)	Temperatura autoignición	651°C
LSI	25-28%	pH	11,6 (21°C)
LII	15-16%	Umbral olfativo	5-50 ppm

¹¹ IAAR Ammonia data book

¹² Límite de Exposición Permisible

¹³ IAAR Ammonia data book

Los vapores de amoniaco¹⁴ producen irritación sobre los ojos y el tracto respiratorio. Concentraciones elevadas pueden producir conjuntivitis, laringitis y edema pulmonar, acompañado con un estado de sofoco¹⁵. En contacto con la piel puede provocar quemaduras y ampollas. Los ojos son especialmente sensibles a los productos alcalinos. El amoniaco reacciona con la humedad en los ojos y las membranas mucosas para formar hidróxido de amonio, sustancia que causa la saponificación y la licuefacción de las superficies epiteliales húmedas expuestas del ojo y puede penetrar fácilmente en la córnea y dañar el iris y la lente¹⁶. La exposición por inhalación de amoniaco puede dar lugar a un aumento de la presión arterial sistémica. MacEwen y Vernot (1972) describieron el edema pulmonar como la causa más frecuente de muerte en humanos expuestos al amoniaco.

En estudios¹⁷ realizados sobre personal expuesto a concentraciones de amoniaco de 500 ppm durante 30 minutos, llevando por protección respiratoria una mascarilla buco-nasal, mostraron que todos tenían irritación del tracto respiratorio superior, considerándose severa en dos de ellos. Sólo dos personas pudieron continuar con la respiración nasal durante los 30 minutos de exposición. Las reacciones incluyeron irritación de la nariz y garganta, hipoestesia¹⁸ de la piel expuesta y lagrimeo. En dos personas, la irritación nasofaríngea persistió durante 24 horas después de la exposición.

Industrial Bio-Test Laboratories evaluó a diez personas para determinar el umbral de irritación tras la exposición de cinco minutos a cuatro concentraciones diferentes: 32, 50, 72 y 134 ppm (23, 36, 51 y 95 mg/m³). Se observó que la irritación era una molestia para los ojos, la nariz, la boca, la garganta o el tórax y que persistía durante un período de exposición de 5 minutos. A 72 ppm, tres personas experimentaron irritación ocular, dos tuvieron irritación nasal y tres tuvieron irritación de la garganta. A 134 ppm, cinco de los diez sujetos experimentaron lagrimeo e irritación ocular, siete se quejaron de irritación nasal, ocho tuvieron irritación de garganta y uno experimentó irritación de tórax.

Los límites de exposición laboral para el amoniaco¹⁹ son VLA-ED 20 ppm (14 mg/m³) y VLA-EC 50 ppm (36 mg/m³), donde VLA es el valor límite ambiental del agente químico; se trata de un valor de referencia para la concentración de agente químico en el aire y representa condiciones a las cuales se cree que la mayoría de los trabajadores pueden estar expuestos día tras día, durante toda su vida laboral sin sufrir efectos adversos para la salud. Si a este valor de VLA se le añade la referencia ED, se habla de una exposición diaria, y representa las condiciones a las cuales el trabajador puede estar expuestos 8 horas al día, 40 horas a la semana durante toda su vida laboral sin sufrir efectos adversos para la salud. Si al VLA le acompaña la referencia EC, nos estamos refiriendo a exposiciones diarias de corta duración

¹⁴ Appendix D.2 Acute RELs and toxicity summaries using the previous version of the Hot Spots Risk Assessment guidelines (OEHHA 1999)

¹⁵ OSHA, 1989

¹⁶ CCOHS, 1988; Way *et al.*, 1992

¹⁷ Silverman and co-workers (1949)

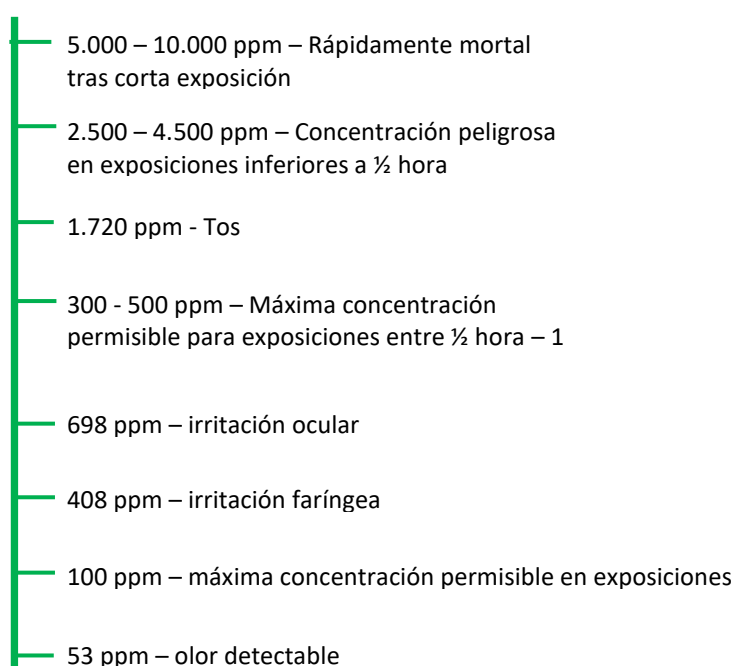
¹⁸ Disminución patológica de la sensibilidad

¹⁹ Límites de exposición laboral para agentes químicos en España 2018. INSHT

(15 minutos) que no deben sobrepasarse en ningún momento durante la jornada de trabajo. Estos valores son referenciales para la evaluación y control de riesgos, no suponiendo en ningún caso una barrera definida entre situaciones seguras y peligrosas²⁰.

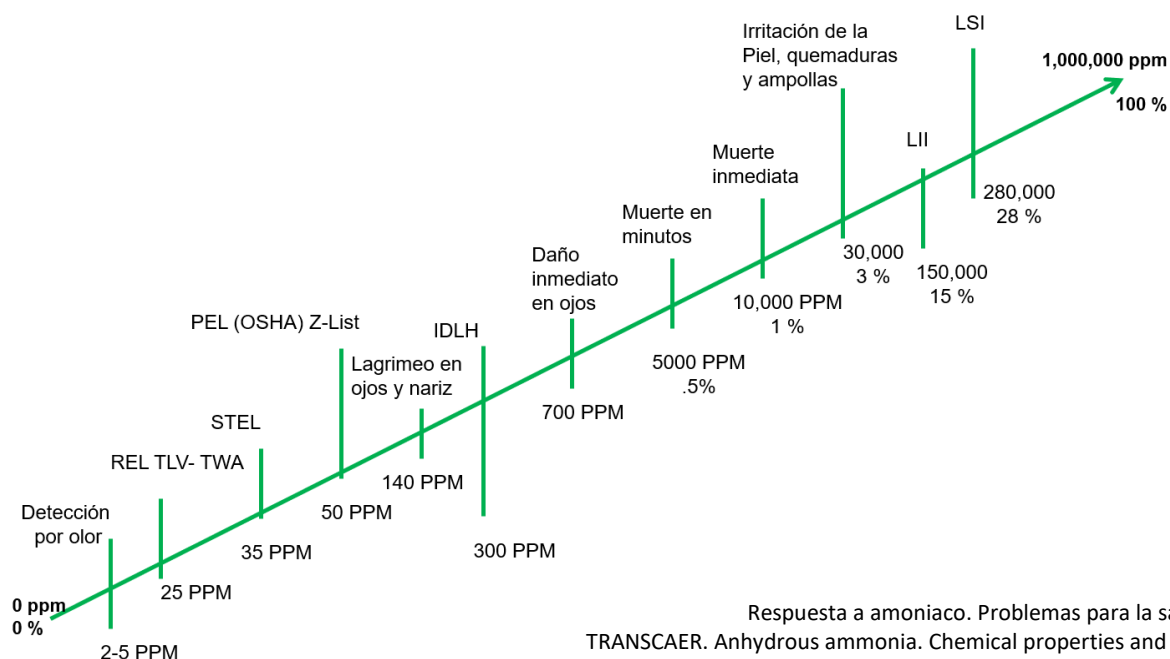
Desde un punto de vista toxicológico, al margen de las consideraciones laborales, el rango de toxicidad del amoniaco anhidro es:

- Exposición mínima letal: Exposiciones a concentraciones de 2.500 a 4.500 ppm durante 30 minutos pueden ser mortales.
- Exposición máxima tolerada: Las reacciones fisiológicas frente a distintas concentraciones de la sustancia:



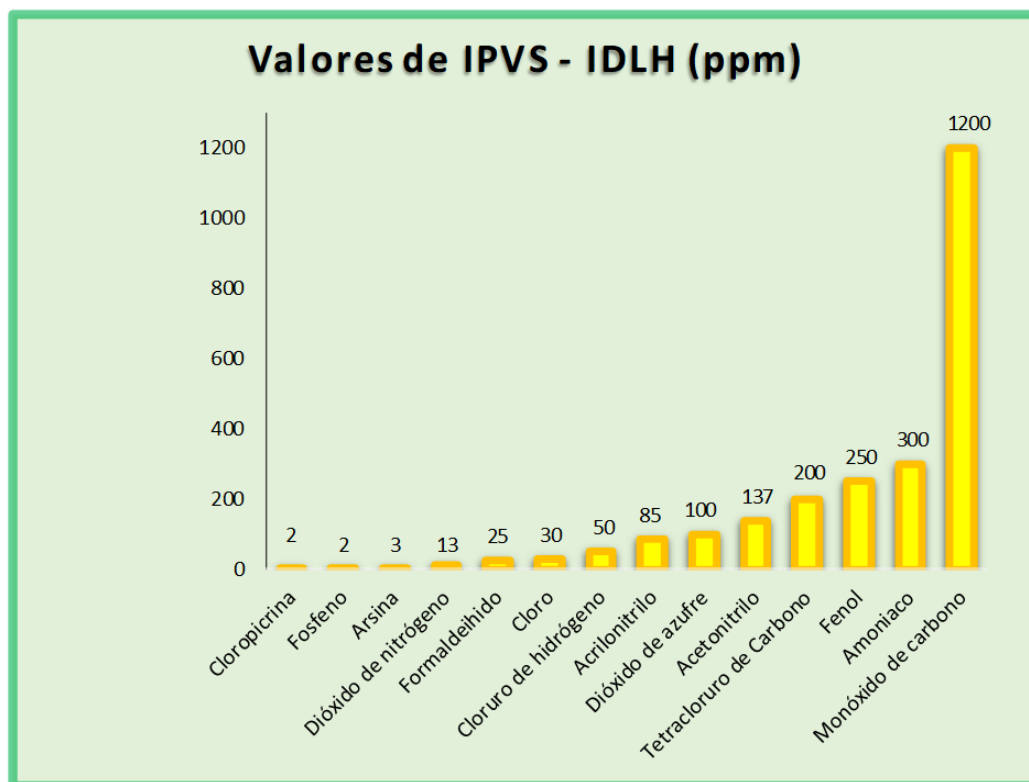
²⁰ Ministerio de Justicia. Servicio de Información Toxicológica. Ref.00317/03

Hay que tener en cuenta que la gravedad de los síntomas, además de la duración de la exposición, también puede verse influida por el estado físico de la persona y si existen antecedentes. En general, cuanto mayor sea la concentración, peores son los síntomas, incluidas las posibles dosis letales. Teniendo en cuenta que estos valores no dejan de tener una cierta subjetividad, *TRANSCAER* por su parte establece unos valores de efectos sobre la salud.



Valor	10 min	30 min	1 h	4 h	8 h
EEGL (NRC)			100 ppm		100 ppm (24 h)
PEL-TWA (OSHA)					50 ppm
IDLH (NIOSH)		300 ppm			
REL-TWA (NIOSH)					25 ppm
MAK (Germany)					20
IDLH		300 ppm			
OELV (Sweden) (Dutch)	50 ppm (15 min)				25 ppm
SMAC			20 ppm		14 ppm (24 h)
VLA-ED (INSHT)					20 ppm
VLA-EC (INSHT)	50 ppm (15 min)				

Si se hace una comparativa entre los valores de IPVS-IDLH de algunas sustancias tóxicas, se observa que el amoníaco presenta uno de los mayores valores, aunque muy lejos del valor del monóxido de carbono; aquí hay que tener en cuenta que cuanto más bajo sea el valor de toxicidad de la sustancia, más peligrosa es.



AEGL 1					AEGL 2					AEGL 3				
10 min	30 min	1 h	4 h	8h	10 min	30 min	1 h	4 h	8h	10 min	30 min	1 h	4 h	8h
30 ppm					220 ppm		160 ppm	110 ppm	110 ppm	2700 ppm	1600 ppm	1100 ppm	550 ppm	390 ppm
Concentración a/o por encima de la cual se predice que la población general, incluyendo individuos susceptibles, pero excluyendo los hipersusceptibles, puede experimentar una incomodidad notable. Concentraciones por debajo del AEGL 1 representan niveles de exposición que producen ligero olor, sabor u otra irritación sensorial leve.					Concentración a/o por encima de la cual se predice que la población general, incluyendo individuos susceptibles, pero excluyendo los hipersusceptibles, puede experimentar efectos a largo plazo serios o irreversibles o ver impedida su capacidad para escapar. Concentraciones por debajo del AEGL 2 pero por encima del AEGL 1 representan niveles de exposición que pueden causar notable malestar.					Es la concentración a/o por encima de la cual se predice que la población general, incluyendo individuos susceptibles, pero excluyendo los hipersusceptibles, podría experimentar efectos amenazantes para la vida o la muerte. Concentraciones por debajo de AEGL 3 pero por encima de AEGL 2 representan niveles de exposición que pueden causar efectos a largo plazo, serios o irreversibles o impedir la capacidad de escapar.				
ERPG 1					ERPG 2					ERPG 3				
25 ppm (1 h)					150 ppm (1 h)					750 ppm (1 h)				
Es la máxima concentración en aire por debajo de la cual se cree que casi todos los individuos pueden estar expuestos hasta una hora experimentando solo efectos adversos ligeros y transitorios o percibiendo un olor claramente definido.					Es la máxima concentración en aire por debajo de la cual se cree que casi todos los individuos pueden estar expuestos hasta una hora sin experimentar o desarrollar efectos serios o irreversibles o síntomas que pudieran impedir la posibilidad de llevar a cabo acciones de protección.					Es la máxima concentración en aire por debajo de la cual se cree que casi todos los individuos pueden estar expuestos hasta una hora sin experimentar o desarrollar efectos que amenacen su vida. No obstante, pueden sufrir efectos serios o irreversibles y síntomas que impidan la posibilidad de llevar a cabo acciones de protección.				
TEEL 1					TEEL 2					TEEL 3				
20,9 mg/m ³					11 mg/m ³					766 mg/m ³				
Máxima concentración en aire por debajo de la cual se cree que casi todos los individuos experimentarían efectos ligeros y transitorios sobre la salud o percibirían un olor claramente definido.					Máxima concentración en aire por debajo de la cual se cree que casi todos los individuos podrían estar expuestos sin experimentar o desarrollar efectos sobre la salud serios o irreversibles, o síntomas que pudieran impedir la posibilidad de llevar a cabo acciones de protección.					Máxima concentración en aire por debajo de la cual se cree que casi todos los individuos podrían estar expuestos sin experimentar o desarrollar efectos amenazantes para la vida. No obstante, pueden sufrir efectos serios o irreversibles y síntomas que impidan la posibilidad de llevar a cabo acciones de protección.				

El factor de conversión del amoniaco de mg/m³ a ppm, a 20°C y 1 atm de presión, es de 0,71 mg/m³ = 1 ppm²¹. Este dato hay que tenerlo en cuenta a la hora de realizar los cálculos, pues la fórmula general de conversión está indicada para 25°C y 1 atmósfera:

$$\text{Valor en mg/m}^3 = \frac{(\text{Peso Molecular de la Sustancia}) \times (\text{Valor en ppm})}{24,45}$$

$$\text{Valor en ppm} = \frac{24,45 \times (\text{Valor en mg/m}^3)}{\text{Peso Molecular de la sustancia}}$$

El valor de 24,45 corresponde al volumen (litros) de un mol de un gas o vapor a 1 atmósfera de presión y a 25°C. Si se quiere obtener el valor real de conversión a cualquier temperatura, habría que operar sobre la fórmula anterior para 1 mol de cualquier gas:

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T, \text{ donde } n = 1$$

$$V = \frac{(R \cdot T)}{P}, \text{ donde}$$

R es la constante ideal de los gases, $62,4 \frac{\text{mmHg} \cdot \text{l}}{\text{K} \cdot \text{mol}}$

T es la temperatura en grados K

P es la presión en mmHg

$$\text{Valor en mg/m}^3 = \frac{(\text{Valor de Presión}) \times (\text{Peso Molecular}) \times (\text{Valor en ppm})}{62,4 \times (\text{Valor de Temperatura} + 273,15)}$$

$$\text{Valor en ppm} = \frac{62,4 \times (\text{Valor de Temperatura} + 273,15) \times (\text{Valor en mg/m}^3)}{(\text{Peso Molecular de la sustancia}) \times (\text{Valor de Presión})}$$

²¹ INSHT DLEP56. 2011

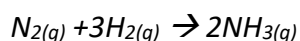
3 PRODUCCIÓN INDUSTRIAL DE AMONIACO



3. PRODUCCIÓN INDUSTRIAL DE AMONIACO

La gran importancia del amoniaco, tanto para sus aplicaciones directas en la industria del frío como por ser materia prima básica en la fabricación de abonos, ácido nítrico, etc., justifica que su obtención sintética ofrezca un gran interés industrial.

La síntesis de amoniaco a nivel industrial está basada en los trabajos realizados por Haber y Bosh en el denominado *proceso Haber-Bosch* mediante el cual se hace reaccionar nitrógeno e hidrógeno en estado gas para obtener amoniaco en fase gaseosa.



La reacción se ha de llevar a cabo en presencia de un catalizador, a presiones comprendidas entre 100-1000 atm y temperaturas del orden de 400-500°C. Aunque el equilibrio de la reacción es más favorable a temperaturas bajas se requiere, aun con los mejores catalizadores, temperaturas elevadas para obtener una velocidad de conversión satisfactoria.

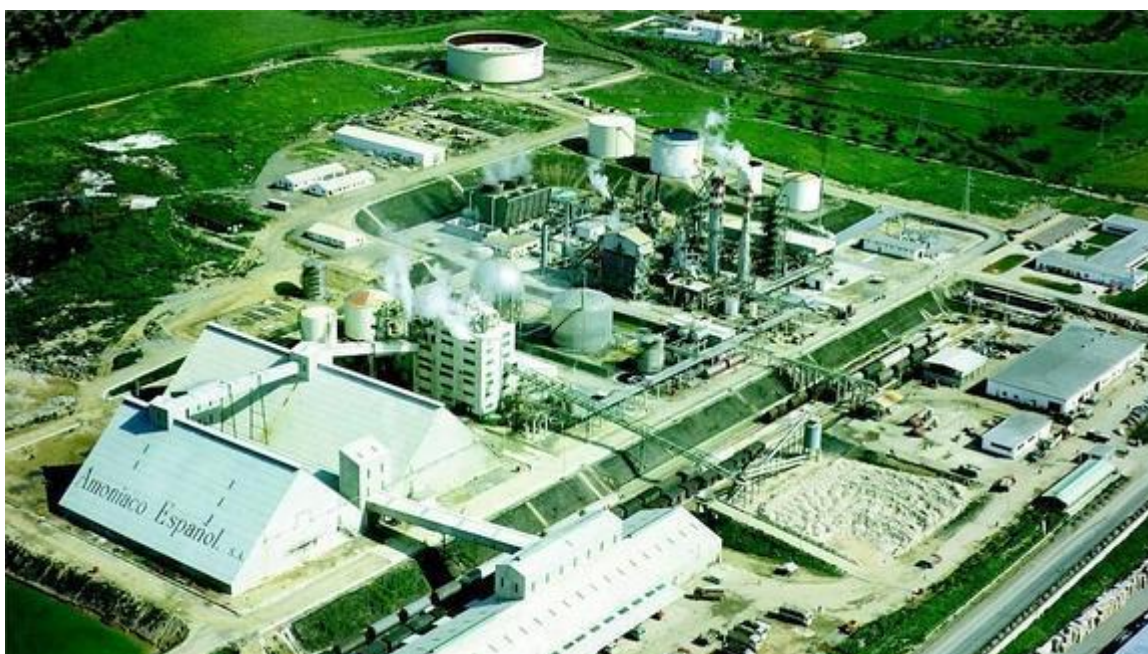
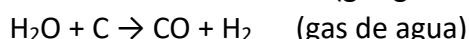
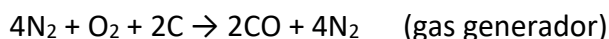


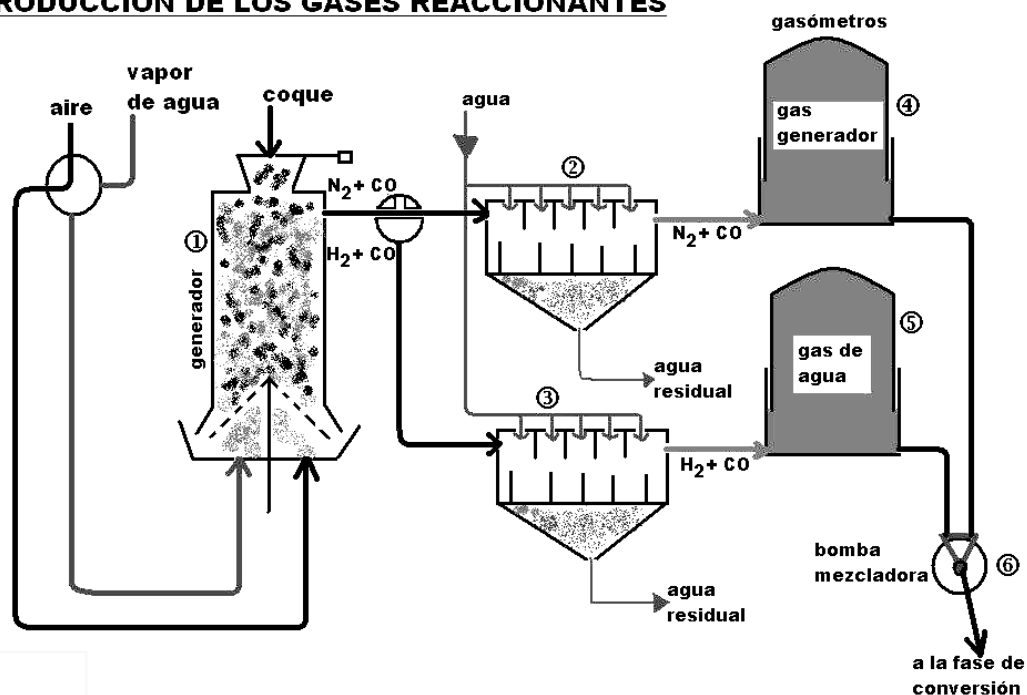
Imagen de la primera planta de amoniaco en España, Amóniaco Español, fundada en 1064 por ESSO en Málaga y actualmente cerrada desde 1990. Fue la primera fábrica de España que utilizó la técnica de transformar la nafta para producir hidrógeno y posibilitar la obtención de nitrógeno directamente del aire para la síntesis de amoniaco.

El “*método clásico*” de Haber-Bosch se puede dividir en cuatro etapas, donde el objetivo fundamental del proceso en sus tres primeras etapas es la obtención del llamado “*gas de síntesis*”: una mezcla de gran pureza y con proporciones estequiométricas de nitrógeno e hidrógeno.

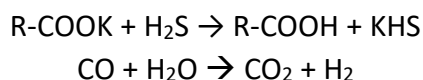
- Producción de gases reaccionantes. En esta fase lo que se obtiene es monóxido de carbono (CO) y nitrógeno (N₂), en lo que se denomina “*gas generador*” y “*gas de agua*”: una mezcla de monóxido de carbono (CO) e hidrógeno (H₂).



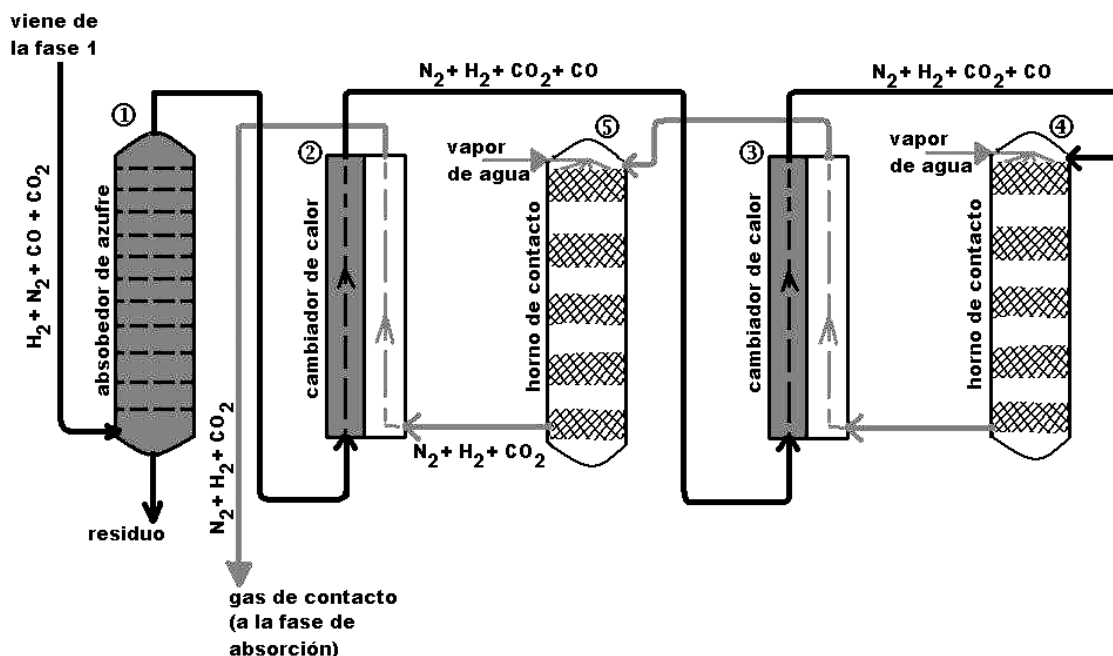
PRODUCCIÓN DE LOS GASES REACCIONANTES



- Conversión del monóxido de carbono. El monóxido de carbono contenido en el gas generador y en el gas de agua debe ser eliminado previa conversión de éste en dióxido de carbono, al igual que se deben eliminar impurezas de gases sulfurados. Por medio de este proceso se elimina de la mezcla gaseosa la mayor parte del CO, produciéndose al mismo tiempo más H₂ (necesario para la formación del amoníaco). El gas que sale del cambiador de calor se llama ahora “*gas de contacto*” y está dispuesto para la siguiente fase de absorción y contiene alrededor de un 17% de N₂, 49% de H₂, 3% de CO, 31% de CO₂, 0,2% de CH₄ y pequeñas cantidades de compuestos de azufre (especialmente compuestos orgánicos).

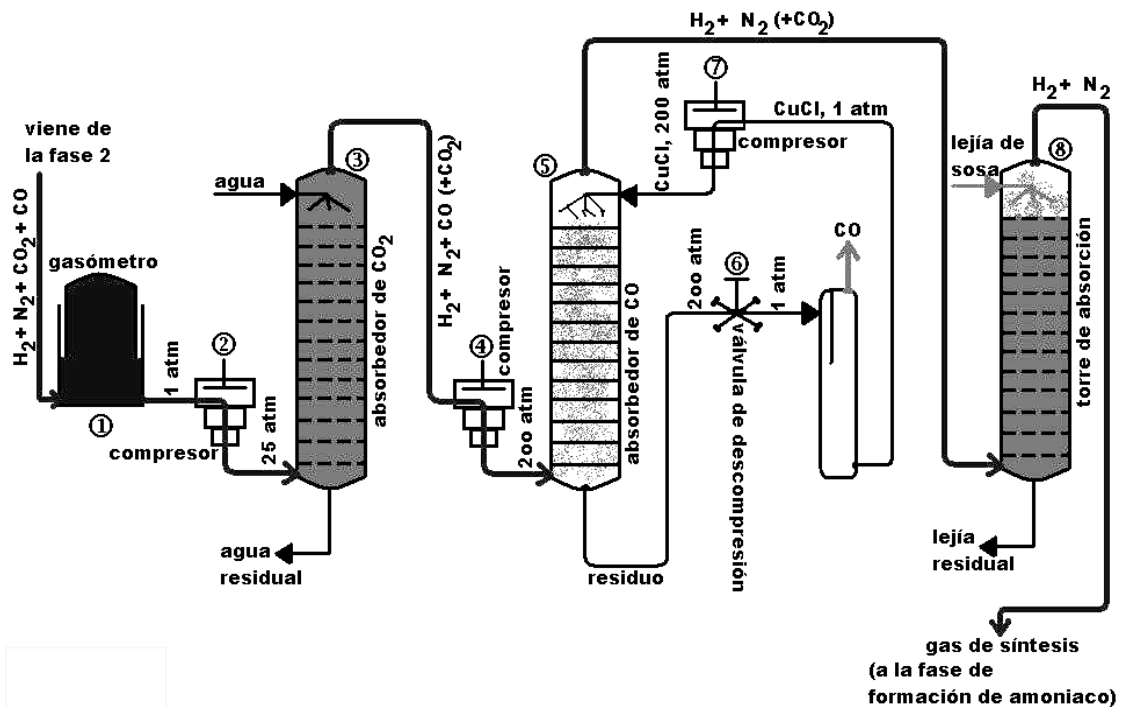


CONVERSIÓN DEL MONÓXIDO DE CARBONO



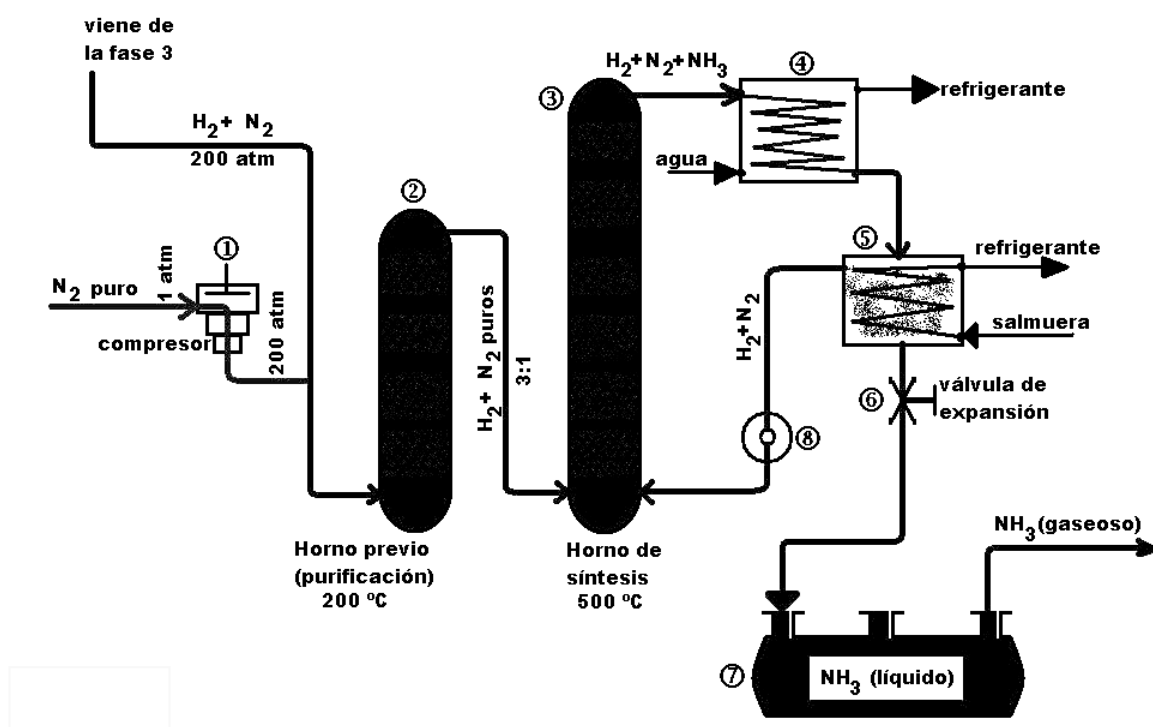
- Absorción de monóxido y dióxido de carbono. En esta fase se ha de eliminar el CO_2 y el CO que forman parte del gas de contacto obteniendo así una mezcla que contiene solo H_2 y N_2 , llamada entonces "*gas de síntesis*". La eliminación de los restos de CO tiene lugar por la absorción de este gas a alta presión en una disolución acuosa de cloruro de cobre o en una disolución amoniacal de formiato de cobre. Antes de la absorción del gas se ha de elevar la presión a 200 atm. El gas que sale a 200 atm del absorbedor de CO se lava en otra torre de absorción con lejía de sosa para eliminar las últimas trazas de CO_2 . Se obtiene así el llamado "*gas de síntesis*", que contiene fundamentalmente nitrógeno e hidrógeno y algunos restos de compuestos de azufre y de CO .

ABSORCIÓN DEL MONÓXIDO Y DIÓXIDO DE CARBONO



- **Formación de amoníaco.** Para conseguir la necesaria relación de volumen 3:1 entre el hidrógeno y el nitrógeno, se añade nitrógeno puro mediante un compresor que trabaja 2-200 atm. Para evitar que el catalizador (un fundido solidificado de hierro con pequeñas cantidades de Al_2O_3 , K_2O y CaO) se envenene por posibles restos de gases, se introduce el gas de síntesis en un primer horno a 200°C . El gas de síntesis purificado entra a continuación en el horno de síntesis a $400\text{-}500^\circ\text{C}$, donde se genera amoníaco de manera exotérmica y donde el exceso de calor generado hay que eliminarlo mediante refrigeración para que la reacción no revierta. El gas que sale del horno contiene de un 8 a un 12% de amoníaco que se separa del resto de gas de síntesis mediante sucesivas refrigeraciones: primero con agua y después más a fondo con salmuera como refrigerante hasta conseguir que el amoníaco se recoja líquido en un tanque. El gas de síntesis que no ha reaccionado se lleva de nuevo al horno mediante una bomba de circulación.

FORMACIÓN DE AMONIACO

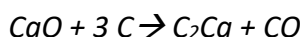


Además del proceso de Haber-Bosch, se puede obtener amoníaco industrialmente por otros procedimientos que fueron desarrollados a la par o en años posteriores al proceso Haber-Bosch. La producción de estos métodos no se puede comparar con la del proceso Haber-Bosch es comprable, tampoco son rentables y en la actualidad no son usados:

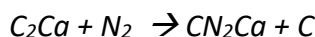
El proceso de la cianamida.

El amoníaco se prepara, como en el proceso de Haber-Bosch, a expensas del nitrógeno del aire. Fue descubierto por Frank y Caro, en Alemania, en 1895, y usado por primera vez en la industria en 1906.

Se calienta cal y coque²² conjuntamente en un horno eléctrico, formándose carburo cálcico.

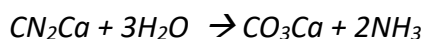


Se pasa nitrógeno, obtenido del aire líquido, sobre carburo cálcico machacado que contiene un poco de cloruro o fluoruro cálcico, y calentando a unos 1.000 °C. En la reacción se forma cianamida cálcica y carbón



²² Combustible obtenido de la calcinación o destilación seca de carbón mineral; está compuesto de carbono y tiene un alto poder calorífico.

La cianamida se agita primero con agua fría para descomponer todo el carburo cálcico no transformado y luego se trata con vapor de agua a presión en una autoclave. En estas condiciones se produce amoniaco.



Mediante cok y gas de hulla

La hulla bituminosa o blanda contiene un 1% de nitrógeno y un 7% de hidrógeno. Cuando se calienta esta hulla en retortas en las que se ha desalojado el aire, se produce una destilación y se desprende nitrógeno en forma de amoniaco. Este sale mezclado con otras sustancias y se disuelve en agua o en ácido sulfúrico. Tratando con cal la disolución resultante se obtiene amoniaco puro, que se absorbe en ácido sulfúrico o clorhídrico para formar sulfato o cloruro amónico.

Método Cavendish

En este proceso el nitrógeno y el oxígeno se activan mediante chispas eléctricas para formar óxidos de nitrógeno, a partir de los cuales se podría preparar el ácido nítrico. Pero industrialmente un proceso como éste requiere temperaturas extremadamente altas (2.000-3.000°C) y, por tanto, una cantidad de electricidad que no lo hace rentable.

4 ALMACENAMIENTO



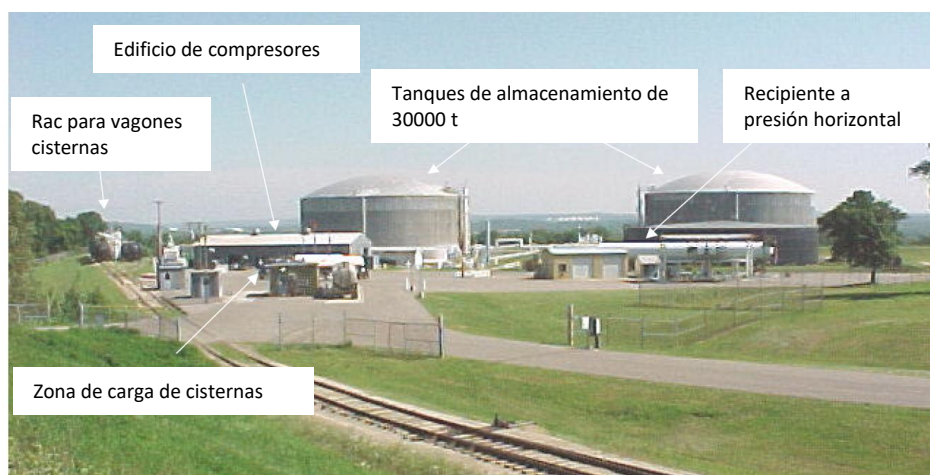
4. ALMACENAMIENTO

4.1. Depósitos y recipientes fijos

Como se ha comentado en apartados anteriores, el amoníaco (NH_3) es un gas tóxico, corrosivo e inflamable que se almacena como *gas licuado*, bien por refrigeración y a presión atmosférica, o próxima a la atmosférica, o bien a temperatura ambiente y presión relativamente elevada (en torno a 8-10 bares, según temperatura de almacenamiento). En España, los almacenamientos de amoníaco en recipientes fijos se encuentran regulados por la ITC MIE APQ 4, recogida en el Reglamento de almacenamiento de productos químicos (RD 656/2017, de 23 de junio):

- Almacenamiento refrigerado: Es aquel en el cual la temperatura del amoníaco anhidro es aproximadamente -33°C , con presión prácticamente igual a la atmosférica.
- Almacenamiento semirrefrigerado: Es aquel en el cual la temperatura del amoníaco es sensiblemente superior a -33°C , pero inferior a la temperatura ambiente, con presión superior a la atmosférica.
- Almacenamiento no refrigerado: Es aquel en el cual la temperatura máxima que puede alcanzar el amoníaco anhidro es igual a la máxima temperatura ambiente, con presión muy superior a la atmosférica

Los tanques²³ y recipientes a presión²⁴ tendrán siempre una presión de diseño superior a la de servicio y esta última se calculará de acuerdo con las presiones y temperaturas más desfavorables que puedan producirse durante el servicio y en prueba. Para los recipientes no refrigerados la presión de diseño será, como mínimo, de 22 bar.



Área de almacenamiento y manipulación de amoníaco a gran escala.

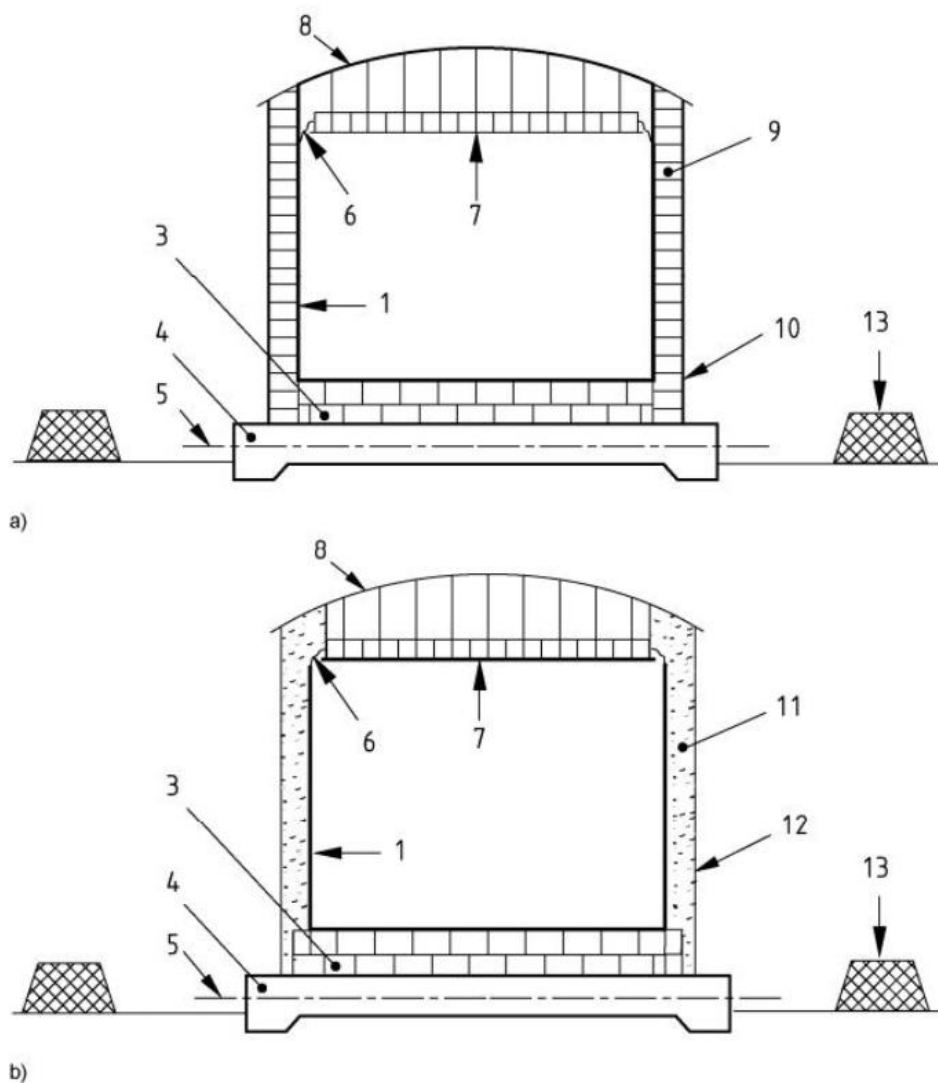
Fuente: Dann Webb. MGR., ENG. & TECH. SVCS. CF INDUSTRIES, INC. LONG GROVE, IL

²³ Tanque: Recipiente cerrado diseñado para soportar una presión interna manométrica no superior a 0,5 bar, generalmente de forma cilíndrica de eje vertical

²⁴ Recipiente a presión: Recipiente diseñado para soportar una presión interna manométrica superior a 0,5 bar

Ejemplo tipos de tanques de almacenamiento para gases licuados refrigerados²⁵

De pared simple.

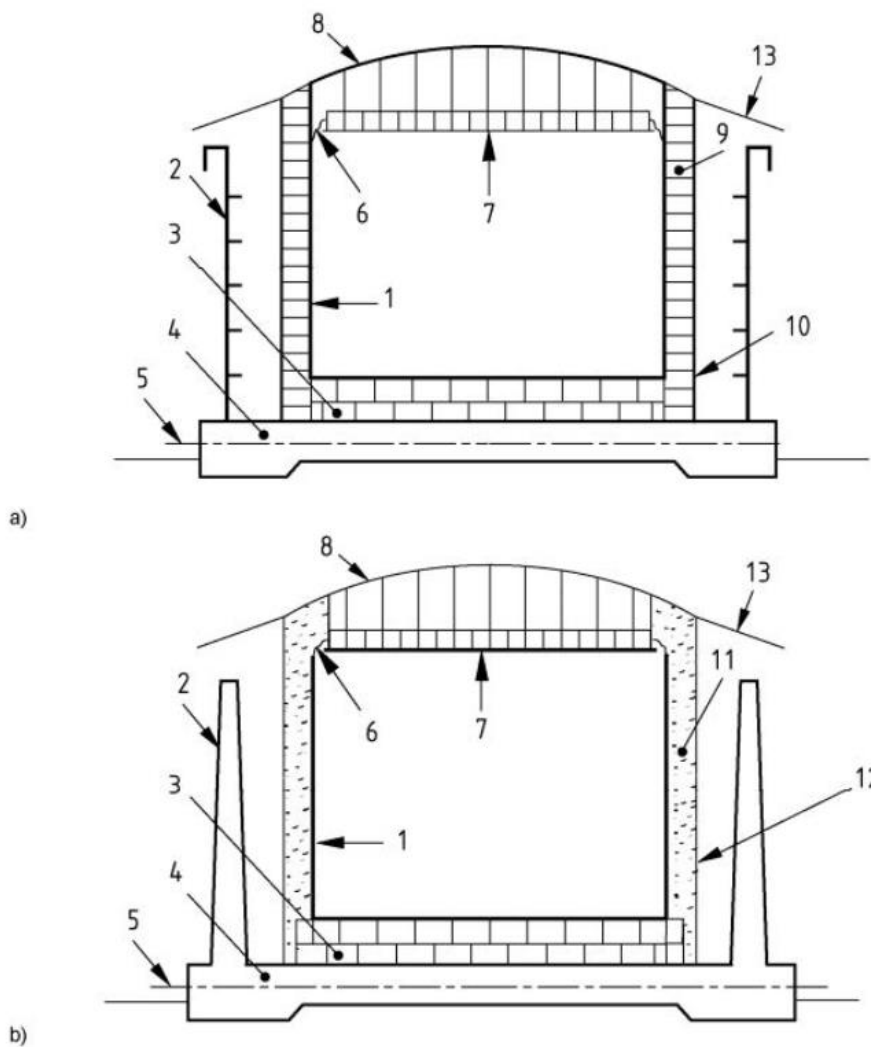


Leyenda

- | | | | |
|---|--|----|--|
| 1 | Cuba primaria (acero) | 8 | Cubierta (acero) |
| 3 | Aislamiento del fondo de la cuba | 9 | Aislamiento exterior |
| 4 | Cimentación | 10 | Protección exterior contra la intemperie |
| 5 | Cimentación del sistema de calentamiento | 11 | Relleno de aislante ajustable |
| 6 | Junta aislante flexible | 12 | Virola exterior de acero (no puede retener el líquido) |
| 7 | Techo suspendido (aislado) | 13 | Muro de retención |

²⁵ UNE-EN 14620-1

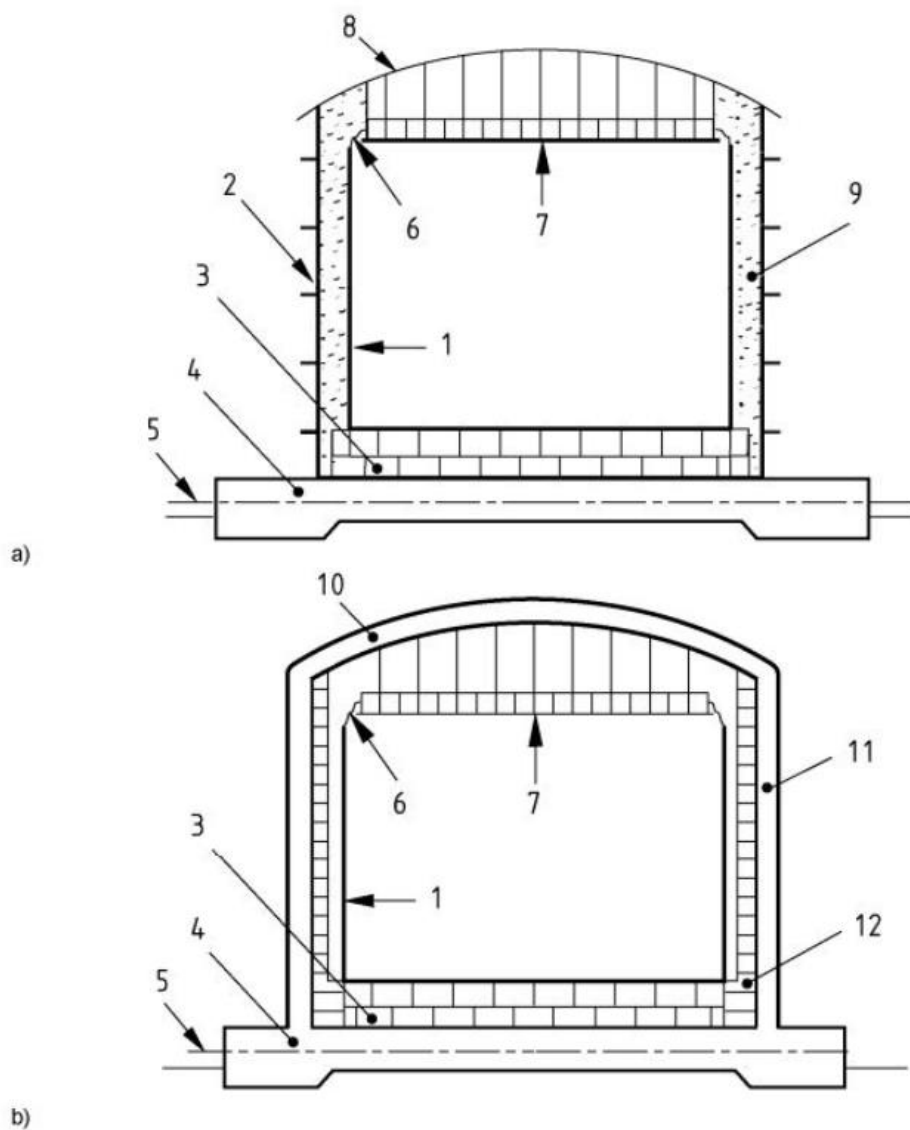
De pared doble.



Leyenda

- | | | | |
|---|--|----|---|
| 1 | Cuba primaria (acero) | 8 | Cubierta (acero) |
| 2 | Cuba secundaria (acero u hormigón) | 9 | Aislamiento exterior |
| 3 | Aislamiento del fondo de la cuba | 10 | Protección exterior contra la intemperie |
| 4 | Cimentación | 11 | Relleno de aislante ajustable |
| 5 | Cimentación del sistema de calentamiento | 12 | Virola exterior (no puede retener el líquido) |
| 6 | Junta aislante flexible | 13 | Cornisa vierteaguas (protección contra la lluvia) |
| 7 | Techo suspendido (aislado) | | |

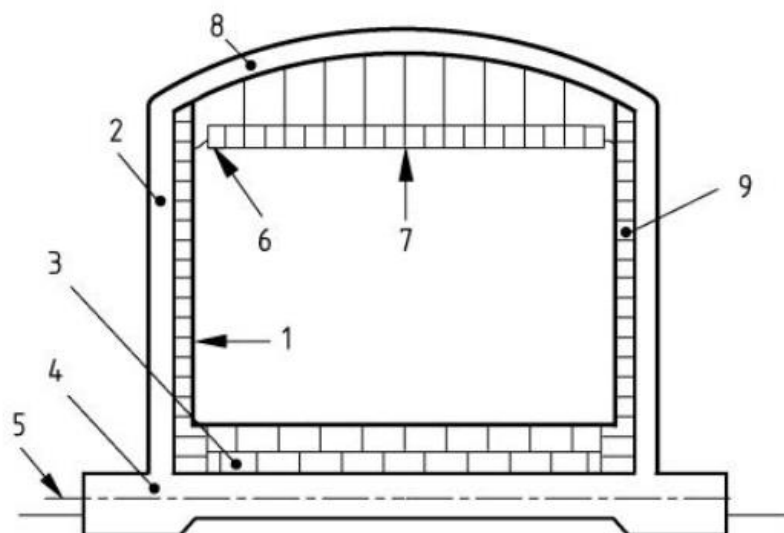
De pared integrada



Leyenda

- | | | | |
|---|--|----|--|
| 1 | Cuba primaria (acero) | 7 | Techo suspendido (aislado) |
| 2 | Cuba secundaria (acero) | 8 | Cubierta (acero) |
| 3 | Aislamiento del fondo de la cuba | 9 | Relleno de aislante ajustable |
| 4 | Cimentación | 10 | Cubierta de hormigón |
| 5 | Cimentación del sistema de calentamiento | 11 | Cuba exterior de hormigón pretensado (cuba secundaria) |
| 6 | Junta aislante flexible | 12 | Aislamiento sobre la pared interna de la cuba externa de hormigón pretensado |

De membrana



Leyenda

- 1 Cuba primaria (membrana)
- 2 Cuba secundaria (hormigón)
- 3 Aislamiento del fondo de la cuba
- 4 Cimentación
- 5 Cimentación de sistema de calentamiento

- 6 Junta aislante flexible
- 7 Techo suspendido (aislado)
- 8 Cubierta de hormigón
- 9 Aislamiento sobre la pared interna de la cuba externa de hormigón pretensado

4.1.1. Formas de cimentación para los almacenamientos.

Según el tipo de almacenamiento empleado, la ITC MIE-APQ4 permite distintas formas de cimentación sobre la que han de descansar:

- Para los *tanques* establece que la cimentación será preferentemente sobre un anillo de hormigón según el perímetro del tanque, con material de relleno compactado en el interior. Si el terreno no lo permite, se construirá una losa de hormigón armado sobre pilotes. Entre el fondo y cimentación se deberá colocar un aislamiento resistente, así como un sistema de calefacción bajo el aislamiento del fondo que impida la formación de hielo.
- En los *recipientes a presión* se construirán cimentaciones de hormigón armado. En aquellos que sean cilíndricos de eje horizontal se podrá cimentar sobre zapatas aisladas, mientras que en los recipientes a presión de forma esférica se podrá optar por un anillo rígido o por zapatas aisladas rigidizadas entre sí.

Antes de la puesta en servicio de los almacenamientos se deberá realizar una prueba para controlar los asentamientos de la cimentación. La prueba consiste básicamente en ir llenando el depósito a una cuarta parte de la capacidad, posteriormente a la mitad, tres

cuartas partes y lleno, comprobando en cada uno que los asentamientos que se producen se encuentran dentro de lo permitido.



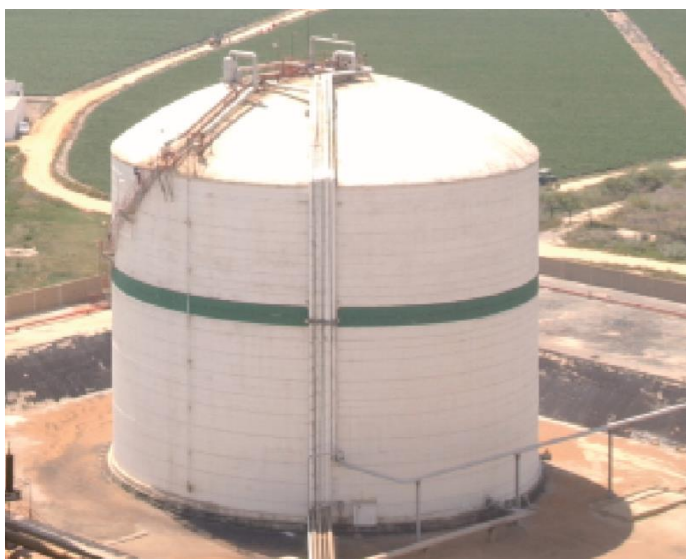
Tanque atmosférico refrigerado, de pared interior de acero, rodeado por muro de hormigón.

Fuente: EFMA



Tanque atmosférico refrigerado, de pared interior y exterior de acero, con techos separados.

Fuente: EFMA



Tanque atmosférico refrigerado, de pared sencilla de acero y cubeto de tierra.

Fuente: EFMA

4.1.2. Cubetos²⁶.

Los tanques o depósitos a presión que almacenan amoníaco deberán situarse dentro de un cubeto que permita la recogida de producto que se vierta accidentalmente. Dentro de un mismo cubeto podrán situarse varios depósitos o tanques de almacenamiento de amoníaco, si bien no se permitirá que en el mismo cubeto se encuentren tanques o depósitos que contengan cualquier sustancia distinta del amoníaco. Las paredes del cubeto podrán ser realizadas con tierra, fábrica de ladrillo, acero u hormigón, asegurando que son estancas e impermeables al producto y, obviamente, calculados para soportar la presión hidrostática prevista. Deben tener una pendiente mínima del 1% hacia un pozo de drenaje, a fin de extraer el agua de lluvia mediante un dispositivo que impida mezclarse con el amoníaco. Para reducir la evaporación del amoníaco, la superficie total del cubeto debe ser la mínima posible.

En cuanto a la capacidad del cubeto cuando los tanques son refrigerados, deberá ser suficiente para contener el amoníaco líquido que se calcule que no se evapora de manera inmediata en caso de rotura del tanque de mayor volumen de los contenidos en el cubeto. Si los dispositivos de almacenamiento contenidos en el cubeto no son refrigerados, el cubeto será capaz de retener el 50% del amoníaco contenido en el recipiente de mayor tamaño.

Para facilitar la circulación de la maquinaria de mantenimiento deben estar rodeados en al menos un 25% de su perímetro por viales de acceso de una anchura mínima de 2,5 m y de la altura libre necesaria.

4.1.3. Diseño

El grado máximo de llenado en el diseño de los tanques o recipientes a presión de almacenamiento de amoníaco debe ser tal que la cantidad de amoníaco anhidro en estado líquido no ocupe más del 95% del volumen total, tras haberse dilatado en su temperatura máxima de servicio.

Los grados máximos de llenado expresados en kg de amoníaco por litro de volumen serán los siguientes:

- Almacenamiento refrigerado: 0,64
- Almacenamiento semirefrigerado, con temperatura máxima en servicio inferior a 5° C: 0,60
- Almacenamiento no refrigerado: 0,53

²⁶ Cavidad capaz de retener los productos contenidos en los elementos de almacenamiento en caso de vertido o fuga de los mismos

Estos grados máximos se determinan multiplicando el grado máximo de llenado (0,95) por la densidad de la fase líquida a la máxima temperatura de servicio. Es fácil intuir el mayor riesgo de ruptura por sobrepresión, o incluso BLEVE, en los recipientes refrigerados en caso de fallo del sistema de enfriamiento y/o aislamiento del tanque, en comparación con los almacenamientos a presión no refrigerados.

En el diseño se han de tener en cuenta todas las cargas y fuerzas esperadas a las que se vaya a someter el recipiente, y en particular se ha de tener en cuenta:

- Presión y depresión interior, la presión estática y la masa de la sustancia contenida.
- Temperatura ambiente y temperatura de servicio.
- Cargas por viento y acciones sísmicas.
- Fuerzas y momentos de reacción derivados de los soportes, los dispositivos de montaje, las tuberías, etc.
- Corrosión, erosión, fatiga, etc.

Para soportar las condiciones de almacenamiento, los tanques y depósitos han de estar contruidos con acero de límite elástico inferior a 490 N/mm^2 (50 kg/mm^2) añadiendo en todo caso, como mínimo, 1 milímetro de sobreespesor de corrosión para tanques y recipientes a presión y 2 milímetros para tubuladuras de las conexiones.

En los tanques se han de colocar alarmas ópticas y acústicas de alta y baja presión. Será necesario colocar dos tomas a tierra, como mínimo, tanto en tanques como en recipientes a presión.

Todas las conexiones de tanques y recipientes a presión, excepto las de válvulas de seguridad, deben tener válvulas de cierre instaladas lo más cerca posible del punto de conexión y, en el caso de conexiones utilizadas para trasiego de líquido, situadas por debajo del máximo nivel de llenado, deben tener también válvulas de bloqueo con accionamiento a distancia o de retención en conexiones de llenado o de cierre por exceso de caudal.



1. Recipiente a presión de amoníaco en interior de cubeto, realizando mantenimiento en las válvulas de seguridad.
 2. Indicador de nivel en el depósito de amoníaco
 3. Bocas y tubos de carga descarga fase líquida y gas
- Foto: M.Albaladejo

Los tanques disponen de, como mínimo:

- dos válvulas de seguridad de vacío,
- indicador de nivel del líquido,
- indicador de nivel máximo,
- alarmas de alta y baja presión,
- toma de tierra.

Las válvulas son del tipo de “acción por disparo”, que se abren ligeramente cuando el exceso de presión es moderado, llevando la pérdida del producto a un mínimo; cuando la presión se incrementa más allá del límite establecido, las válvulas se abren a su máxima capacidad de descarga disipando el exceso de presión, segura y rápidamente. Estas válvulas están equipadas con asiento de material sintético que provee un cierre hermético.



Cada tanque o recipiente a presión dispondrá, como mínimo, de dos válvulas de seguridad de presión, excepto los recipientes a presión de capacidad inferior a 100 m³ que podrán tener una.



Dispositivo soporte multiválvulas de seguridad para recipiente de NH₃.
Foto: M.Albaladejo



Válvulas de seguridad sobre soporte multiválvula.
Foto: UNIONSUD

La galga rotativa es un tipo de nivel que se utiliza indistintamente en recipientes a presión fijos o móviles (cisternas) de 0,50 m hasta 3,50 m de diámetro que almacenen gas licuado; para ello se proveen con distintos largos del vástago del tubo indicador. Cumple la función de establecer porcentualmente la cantidad de líquido y/o gas contenidos en los recipientes. Porcentualmente se establece la cantidad de líquido y/o gas contenido en el recipiente y por medio de un diagrama de corrección, grabado en su dial, se puede determinar el límite máximo de llenado de los tanques. Al girar el brazo del dial, en el orificio de purga se aprecia físicamente la diferencia de estado del contenido determinando de este modo el nivel del líquido. La posterior lectura directa en el dial indica el porcentaje de líquido en el recipiente.



Indicador de nivel mediante galga rotativa en recipiente a presión.
Foto: M.Albaladejo

La ubicación de este tipo de niveles debe ser a lo largo de la línea central del depósito; su posición puede estar en el fondo o en el lateral del depósito. En caso de colocarse lateralmente su distancia mínima al extremo del tanque debe ser igual al radio de este. En los depósitos móviles, debido a posibles desniveles, es aconsejable ubicarlo lateralmente y en el centro, obteniéndose así mayor exactitud



Galga rotativa
Fuente: UNIONSUD

4.1.4. Medidas de seguridad

Como cualquier otro almacenamiento de productos químicos, se deben respetar unas determinadas distancias de seguridad respecto a vías de comunicación, viviendas, locales de pública concurrencia, otros productos inflamables, etc.; distancias estas que se pueden reducir si se toman medidas adicionales de seguridad.

Distancia de tanques ²⁷ o depósitos a presión ²⁸ de amoniaco anhidro a:	Distancia mínima
Vía de comunicación pública de circulación rápida	20 m
Vía de comunicación pública de tráfico denso y con posibilidad de retenciones	75 m
Lugar de concentración de personal de la propia factoría (edificio administrativo, comedor, vestuario)	50 m
Lugar de concentración del personal de establecimiento industrial ajeno a la propia factoría	100 m
Agrupamiento de viviendas:	200 m
Local de pública concurrencia	500 m
Tanque o depósito de producto inflamable de las clases A o B, según MIE-APQ-1, de capacidad superior a 100 m ³	Diámetro del tanque o depósito de producto inflamable (mínimo 25 metros).
Tanque de producto combustible de la clase C, según MIE-APQ-1, de capacidad superior a 100 m ³	Radio del tanque de producto combustible (mínimo 10 metros).

Los almacenamientos de amoniaco, de no encontrarse dentro del recinto de una factoría, deberán estar cercados mediante una valla de una altura mínima de 2,5 metros y dos puertas practicables en caso de emergencia situadas en lados opuestos. Se deberá colocar, tanto en el almacenamiento y alrededores, una señalización mediante rótulos normalizados que muestren el peligro existente y la prohibición expresa de fumar o encender fuego.

²⁷ Tanque: Recipiente cerrado diseñado para soportar una presión interna manométrica no superior a 0,5 bar, generalmente de forma cilíndrica de eje vertical

²⁸ Recipiente a presión: Recipiente diseñado para soportar una presión interna manométrica superior a 0,5 bar

Alrededor de todo el almacenamiento deberá existir una red de hidrantes, ubicados de tal forma que puedan ser usados con independencia de la dirección del viento. La presión, caudal y equipo disponible se diseñará de forma que sean adecuados a las emergencias que puedan producirse. Además, aquellos almacenamientos que se encuentren a menos de 30 metros de tanques o recipientes a presión de más de 100 m³ dispondrán de sistemas fijos de agua pulverizada. La protección contra incendios consistirá en la refrigeración uniforme con un caudal de 3 lpm/m² de las superficies siguientes:

- Tanques: la superficie lateral, no siendo necesario refrigerar la tercera parte de esta superficie opuesta al riesgo.
- Recipientes a presión esféricos: la superficie del hemisferio superior, no siendo necesario refrigerar la tercera parte de esta superficie opuesta al riesgo.
- Recipientes a presión cilíndricos horizontales: superficie de la mitad superior.

Para conocer la dirección y sentido del viento en caso de una fuga se deben instalar indicadores de sentido y dirección de viento que han de estar iluminados también por la noche.

Para proteger a las tuberías y equipos de posibles golpes se colocarán, en aquellas zonas donde se puedan realizar maniobras de vehículos o maquinaria, dispositivos de protección (barreras parachoques).



Indicador de viento
Fuente: M.Albaladejo

4.2. Botellas

El almacenamiento de amoniaco en botellas y bidones está regulado por la MIE APQ-5 “*almacenamiento de gases en recipientes a presión móviles*”; según las cantidades almacenadas, los almacenamientos se clasifican en categorías que van desde 1 ($Q \leq 150$ Kg) hasta 5 ($Q > 2500$ kg). Se trata de almacenamientos que pueden ser abiertos²⁹, cerrados³⁰ o semiabiertos³¹, respetando siempre las distancias de seguridad establecidas respecto de otros gases que presenten propiedades diferentes, así como a instalaciones y

²⁹ Almacenamiento abierto: Aquel que ocupa un espacio abierto, destinado al depósito de recipientes a presión, que puede estar total o parcialmente cubierto y alguna de cuyas fachadas carece totalmente de cerramiento, no siendo posible la acumulación de gases, vapores peligrosos, así como humos y calor en caso de un incendio. Corresponden con los tipos D y E del RSCIEI

³⁰ Almacenamiento cerrado: Aquel limitado periféricamente por paredes o muros y con cubierta destinado al depósito de recipientes a presión en su interior. Corresponden con las configuraciones tipo A, B y C del RSCIEI. Las paredes o muros tienen una EI según lo establecido para cada tipo de almacenamiento, no pudiendo ser menor de EI 30 y con resistencia al impacto de una botella a presión. La altura mínima es 2,5 m

³¹ Almacenamiento semiabierto: La cubierta con simple techado, cerrada con paredes en un 75 % como máximo de su perímetro y abierta en uno de sus lados, como mínimo

vías de circulación; en cualquier caso, estas distancias se pueden reducir si se establecen medidas de seguridad adicionales contempladas en la Instrucción Técnica.

Cuando las botellas y/o bidones a presión se encuentren vacíos deben estar almacenados en lugares diferentes de los llenos, y en todo caso siempre han de estar señalizados con el tipo de gas que se encuentra almacenado en ese lugar.

El ADR y la ITC-EP6³² definen a la botella como un recipiente a presión transportable de una capacidad no superior a 150 litros. El amoniaco anhidro en el interior de estos recipientes se almacena en estado líquido a temperatura ambiente y a una presión aproximada de 8,5 bares, con una masa máxima de llenado de 0,53 Kg de amoniaco por litro de capacidad.



Almacenamiento de botellas de amoniaco
Foto: M.Albaladejo

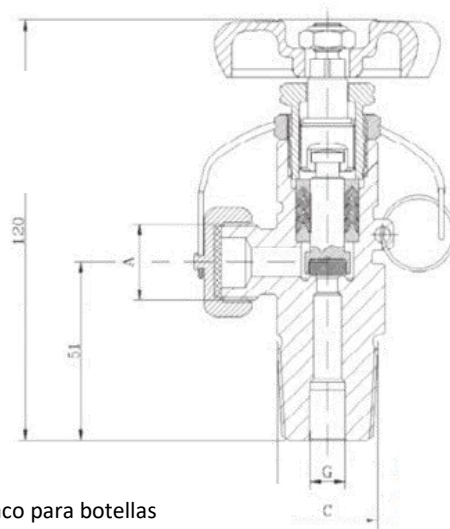
Las partes con la que cuenta una botella son: el cuerpo; la ojiva, donde se instala la válvula y se coloca el sistema de identificación del gas que contiene mediante un código de colores y la etiqueta correspondiente; la válvula; la caperuza de protección y el soporte o pie de la botella que permite que pueda estar en posición vertical. Aunque la caperuza de protección no es obligatoria durante su uso, sí lo es durante el transporte o almacenamiento.

Las botellas están fabricadas en acero y disponen de una única válvula con un tubo sonda de corta longitud; trabajan en posición vertical, por lo que está pensada para que la válvula trabaje en fase gaseosa. El tipo de válvula con la que cuenta es macho W 21,7x1/14”(derechas) ITC-EP-6, Tipo C.

³² Instrucción Técnica Complementaria 6 “Equipos a presión transportables” del Real Decreto 2060/2008, de 12 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de equipos a presión y sus instrucciones técnicas complementarias



Válvulas de amoníaco para botellas
Fuente: MAFRA



La válvula tiene³³ una presión de servicio máxima de 45 bares y un rango de temperatura de trabajo entre -20°C y 70°C; suele disponer de un vástago de dos piezas, estando el cuerpo fabricado en acero y las empaquetaduras y asiento con PTFE y PVDF.

La válvula cuenta con tres conexiones: una a la botella (C); una al tubo sonda; y otra de salida de gas (A), disponiendo de un tapón de protección y seguridad en la conexión de salida de gas. Las dimensiones de las conexiones son:

- Tubo sonda (G), de diámetro 10 mm.
- Conexión a la botella (C), 28,8x1/4"-DIN477.
- Conexión de salida de gas (A), W 21,7 x 1/14" (derechas).

Como referencia, las botellas de 10 litros de capacidad tienen un diámetro aproximado de 140 mm y una altura cercana a 1.000 mm, con un contenido de 5,3 kg de amoníaco, presentando un peso de cerca de 18 kg cuando están llenas.

La señalización y etiquetado de estos recipientes se realiza conforme al reglamento CLP³⁴ y la norma UN-EN 1089-3 (Real Decreto 2060/2008) que se verá en capítulos posteriores.

Sobre la ojiva de la botella se coloca el marcado de la misa, que debe contener:

- Nombre del propietario.
- Nombre del fabricante.
- Número de identificación.
- Símbolo de botella templada.
- Fecha de la prueba hidráulica.
- Contraste de la identidad.

³³ Datos para la válvula MAFRA 0140.

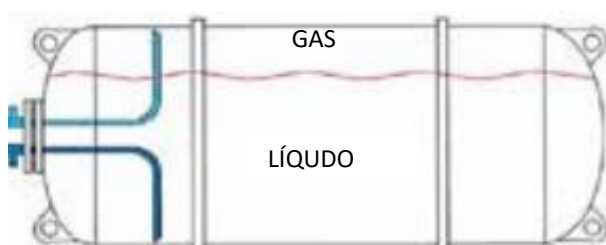
³⁴ Reglamento sobre clasificación, etiquetado, envasado de sustancias químicas y mezclas.

- Tara de la botella.
- Capacidad geométrica.
- Número de la botella.
- Presión de trabajo.
- Presión de Prueba.
- Gas contenido.

4.3. Bidones a presión.

El ADR y la ITC-EP6 definen el bidón a presión como un recipiente a presión, transportable soldado, de capacidad superior a 150 litros y menor de 1.000 litros.

Los bidones a presión tipo TT trabajan en posición horizontal, están fabricados en acero y disponen de dos salidas gemelas líquido/gas. Suelen contar con unas bandas de rodadura que protegen al cuerpo del bidón mientras son movidas, almacenadas o transportadas en posición horizontal. En sus extremos, disponen de unos asideros para su manipulación, carga o descarga.



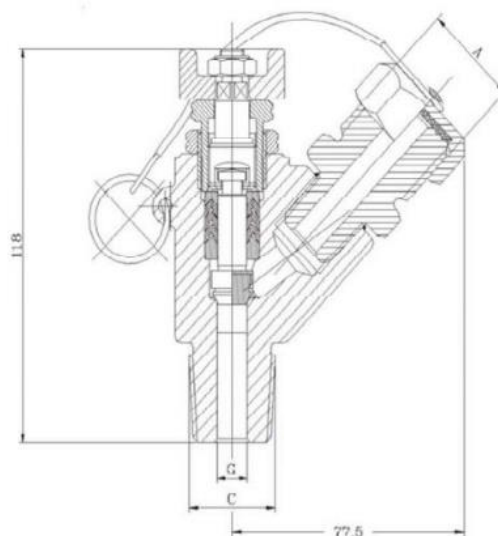
Las válvulas que quedan en uno de sus lados (posición horizontal) están conectadas con un tubo sonda, de latón o acero inoxidable, que comunica con el interior del recipiente. La posición del bidón debe ser tal que siempre quede una válvula por encima de la otra, de forma que la que está en la parte superior corresponde a la fase gas y la de la parte superior a la fase líquida. Al ser las válvulas idénticas, un simple giro del bidón hará que se intercambien sus funciones.



Marcado en botella de amoníaco.
Foto: M.Albaladejo.



1. Almacenamiento de bidón de amoníaco
 2. Tubos sonda en bidón de amoníaco
- Foto: M.Albaladejo



Válvulas de amoníaco para bidón
Fuente: MAFRA

Las válvulas disponen de tres conexiones:

- **C:** Conexión a la botella, que será del tipo C - 28,8x1/4"-DIN477.
- **G:** Conexión al tubo sonda, de diámetro 10 mm.
- **A:** Conexión de salida, W 21,7 x 1/14"(derechas).

Disponen de un cuadradillo de maniobra en su parte superior y un tapón de seguridad en la conexión de salida de gas, siendo su presión máxima de servicio de 30 bares y con un rango de temperatura de trabajo entre -20°C y 70°C³⁵.

Los cilindros de 84 litros de capacidad tienen un diámetro aproximado de 300 mm y una altura cercana a 1.500 mm, con un contenido de 44 kg de amoníaco, presentando un peso en torno a los 85 kg cuando están llenos. Contenedores más grandes de 900 litros de capacidad tienen un diámetro aproximado de 840 mm y una altura cercana a 2200 mm, con un contenido de 477 Kg de amoníaco, haciendo un peso de casi 1 tonelada cuando están llenos.

Deberán disponer de una placa identificativa propia en la que se indique, al menos:

- Fabricante.
- Propietario.
- Año de fabricación.
- Año de construcción.
- Volumen.
- Presión de prueba.

³⁵ Datos para la válvula MAFRA 0143

- Presión de servicio.
- Recocido.
- Peso en vacío.
- Contenido.
- Carga máxima.
- Entidad de control.



Marcado en bidón de amoniaco
Foto: M.Albaladejo

La señalización y etiquetado de estos recipientes se realiza conforme al reglamento CLP y la norma UN-EN 1089-3 (Real Decreto 2060/2008) que se verá en capítulos posteriores.

5 TRANSPORTE



5. TRANSPORTE.

Dentro de una instalación industrial el amoníaco se suele transportar por tubería, tanto en fase gas como en fase líquida. En cambio, cuando se destina al transporte con fines comerciales se suele hacer en cisternas (carretera o ferrocarril) desde las plantas de producción hasta los centros de almacenamiento, y en botellas o bidones desde estos últimos hasta los puntos de consumo.

5.1. Transporte por carretera en cisternas.

El transporte de amoníaco, como mercancía peligrosa por carretera, está regulado mediante el ADR. El origen de las siglas ADR se encuentra en su denominación en inglés : *European Agreement concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road*; o en francés : *Accord Européen Relatif au Transport des Marchandises Dangereuses par Route*.

Este acuerdo se revisa cada dos años por el grupo de trabajo WP.15 del Comité de Transportes Interiores de la Comisión Económica para Europa (CEPE / UNECE). Con estas revisiones se busca introducir en la normativa los avances técnicos, evitar accidentes e incidentes en el que se vean implicadas materias peligrosas y aclarar aspectos dudosos de anteriores ediciones.

El ADR enumera las mercancías peligrosas que pueden ser objeto de un transporte nacional e internacional. Es de aplicación a todo transporte internacional de mercancías peligrosas por carretera, así como las actividades implicadas (embalaje, carga, descarga...), entre los países adheridos al acuerdo.



Cisterna con parasol realizando operaciones de descarga.
Foto: M.Albaladejo

Según el ADR, el amoníaco anhidro se clasifica como una sustancia 2TC (gas, tóxico, corrosivo). Como ya se comentó en los capítulos previos, el ADR contempla que el amoníaco anhidro (N° ONU 1005), el amoníaco en solución acuosa con un contenido superior al 50% (N° ONU 3318) y el amoníaco en solución acuosa con un contenido superior al 35% y un máximo del 50% de amoníaco (N° ONU 2073), son sustancias de la clase 2 (gases), mientras que el amoníaco en solución conteniendo entre un 10% y un 35% de amoníaco (N° ONU 2672) es una materia de la clase 8, no estando sometidas a las disposiciones del ADR las soluciones de amoníaco con un máximo del 10% de amoníaco.

El amoníaco anhidro y amoníaco en solución acuosa en las concentraciones comentadas anteriormente se transportan en cisternas como un gas licuado a presión. Esta es la razón por la cual comparte un gran número de similitudes en cuanto a tipología de cisternas y técnicas de intervención y trasvase que utilizamos para las cisternas de los gases licuados del petróleo. Sin embargo, existe un factor diferencial entre las dos familias de productos en cuanto a características químicas y riesgos asociados; y respecto al amoníaco en todo momento hay que tener en cuenta su elevada toxicidad, su corrosividad y también, aunque en menor medida la posibilidad de cierto riesgo de inflamabilidad en determinados escenarios y condiciones.

Nº ONU	Nº PELIGRO	Producto	Cisterna CON aislamiento térmico (con parasol)		Cisterna SIN aislamiento térmico (sin parasol)	
			Presión Servicio	Presión diseño/prueba	Presión Servicio	Presión diseño/prueba
1005	268	Amoníaco Anhidro	19,7 bar	26,00 bar	22,00 bar	29,00 bar
2073	20	Amoníaco en solución acuosa con contenido superior al 35% y máximo. del 40% de amoníaco.	7,69 bar	10,00 bar	7,69 bar	10,00 bar
2073	20	Amoníaco en solución acuosa con contenido superior al 40% y máximo. del 50% de amoníaco.	9,23 bar	12,00 bar	9,23 bar	12,00 bar

El transporte en grandes volúmenes se realiza en cisternas herméticas fabricadas en acero al carbono de gran espesor (10-12 mm) y tratadas de manera específica para evitar las tensiones térmicas. No son cisternas compartimentadas ni se están calorifugadas. Se clasifican como PXBH(M)³⁶, tomando X el valor de la presión mínima de prueba. El grado máximo de llenado es de 0,53 Kg por litro de capacidad de la cisterna. Son cisternas cuya capacidad volumétrica puede alcanzar 42 m³, aunque existen algunas de capacidades superiores pero que en la actualidad no operan en España.

Para proteger a las cisternas térmicamente pueden, aunque no es obligatorio, disponer de algún tipo de protección para este fin, que deberá estar formado bien por:

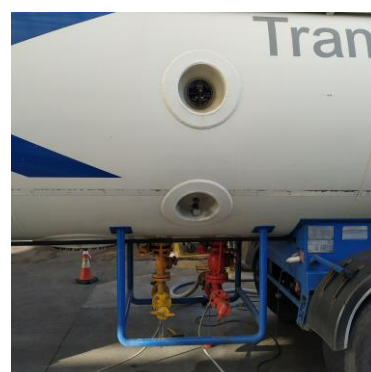
- una pantalla parasol, aplicada al menos en el tercio superior y, como máximo, en la mitad superior de la cisterna y separada del depósito por una cámara de aire de un espesor mínimo de 4 cm.
- o un revestimiento completo de materiales aislantes, de un espesor adecuado

Las cisternas que no estén divididas en secciones de una capacidad máxima de 7.500 litros por medio de tabiques de separación o de rompeolas, deberán llenarse como mínimo al 80% de su capacidad hasta el grado de llenado máximo aplicable a cada materia. En caso de transportarse vacías y sin limpiar o con carga residual, su volumen no excederá del 20% de su capacidad.

La presión máxima admisible de la cisterna va a estar en función del tipo de que se trate, así:

- Cisternas pequeñas: 29 bares.
- Cisterna: 25,7 bares.
- Cisterna con parasol: 22 bares.
- Cisterna con aislamiento térmico: 19,7 bares.

La presión mínima de prueba (bar) se establece en función de si la cisterna dispone o no de aislamiento térmico, así:

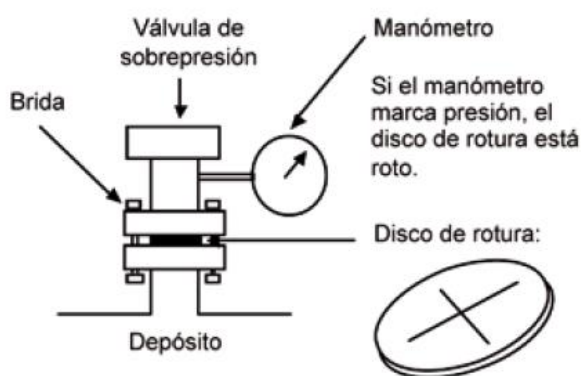


1. Galga rotativa.
2. Boca de hombre.
3. Vista de manómetro, galga rotativa y válvulas gas y líquido de carga/descarga.
Foto: M.Albaladejo.

³⁶ Código de cisternas según apartado 4.3 de ADR

- Cisterna con aislamiento térmico: 26 bares.
- Cisterna sin aislamiento térmico: 29 bares.

Las cisternas podrán estar provistas de válvulas de seguridad de muelle que se deben poder abrir automáticamente bajo una presión comprendida entre 0,9 y 1,0 vez la presión de prueba de la cisterna en la cual estén montadas, no estando permitidas que se monten las que funcionen por gravedad o contrapeso. En el caso de que disponga de válvula de seguridad, estas deben ir precedidas de un disco de ruptura y se deben observar las condiciones siguientes:



- La colocación del disco de ruptura y de la válvula de seguridad deben satisfacer los requisitos de la autoridad competente.
- Debe instalarse un manómetro u otro indicador apropiado en el espacio entre el disco de ruptura y la válvula de seguridad para permitir detectar una rotura, una perforación o una fuga del disco que puedan perjudicar la eficacia de la válvula de seguridad.

Cuando las cisternas estén destinadas a su transporte por mar no se prohibirá el montaje de válvulas de seguridad, de acuerdo con el Código IMDG.

Este tipo de cisternas permiten la existencia de aberturas por debajo del nivel de líquido; de hecho, la valvulería, boca de hombre, indicadores, equipos, etc., se encuentran en la parte inferior de la cisterna, estando los equipos dispuestos de modo que estén protegidos del riesgo de ser arrancados durante el transporte o durante su manipulación. La cisterna dispone en su parte central de una galga rotativa que indica el nivel del líquido en el interior de la misma; éste consta de un tubo en forma de "L" que al girarlo libera amoníaco líquido y en el momento que comienza a liberar gas marca en un dial el nivel de llenado de la cisterna. También cuenta con un manómetro, de forma que se pueda conocer en todo momento el valor de presión interna que tiene la cisterna en cada momento.

Dispone de dos tuberías de carga y descarga (fase gas, amarilla; y fase líquida, roja), pudiéndose cerrar por medio de una brida ciega o con cualquier otro dispositivo que

ofrezca igual garantía. Las tuberías deben estar diseñadas, fabricadas e instaladas de forma que se evite cualquier riesgo de daños debidos a la dilatación y a la contracción térmica, choques mecánicos o vibraciones.

Todas las aberturas situadas en la parte inferior y que sirven para el llenado o vaciado de las cisternas están equipadas, como mínimo, con tres cierres montados en serie e independientes entre sí, y que constarán de un obturador interno, es decir:

- un obturador montado en el interior del depósito o en una brida soldada o su contrabrida. Conocido como válvula de fondo. Puede ser manual, neumática o hidráulica.
- un obturador externo o un dispositivo equivalente situado en el extremo de cada tubo. Llave de paso manual de volante o de bola.
- un dispositivo de cierre, en el extremo de cada tubo, que puede ser un tapón roscado, una brida ciega o un dispositivo equivalente. Este dispositivo de cierre debe ser lo suficientemente estanco para que no haya fuga del contenido.

El obturador interno y todas las aberturas de llenado y vaciado de las cisternas de capacidad superior a 1 m³ son de cierre instantáneo que, en caso de un desplazamiento inesperado de la cisterna o en caso de incendio, se cerrarán automáticamente pudiendo también accionarse el obturador interno a distancia.

De acuerdo con lo que establece la disposición especial TT8 del ADR, las cisternas que transportan amoníaco anhidro y construidas con acero de grano fino, con un límite de elasticidad superior a 400 N/mm² conforme a la norma sobre el material, se tienen que someter en cada prueba periódica a una inspección por partículas magnéticas para detectar fisuras superficiales. Además, en las inspecciones se debe controlar, en la parte inferior de cada depósito, las soldaduras circulares y longitudinales en al menos el 20% de su longitud, todas las soldaduras de las tubuladuras y todas las zonas reparadas o esmeriladas.



La masa máxima admisible de amoníaco por litro de capacidad es de 0,53 Kg.

De manera general, la cisterna irá provista de:

- Boca de hombre.
- Válvula de seguridad (no obligatoria).
- Aislamiento térmico (no obligatorio).
- Galga rotativa (indicador de nivel).
- Manómetro de presión.
- Válvula y tubos de carga/descarga.

5.2. Transporte por carretera en botellas y bidones.



Botellas y bidones de amoníaco.
Foto: M.Albaladejo.

El transporte de amoníaco en botellas y bidones también está regulado por el Acuerdo Europeo en relación con el Transporte Internacional de Mercancías Peligrosas por Carretera (ADR). Incluso cuando las normas ADR no se aplican (por ejemplo, para el transporte de gases a título privado y para el uso exclusivamente doméstico o cuando los límites superiores a las cantidades no son excedidos) se deben cumplir una serie de aspectos para garantizar la seguridad.

Este tipo de transporte se considera como un vehículo que transporta “bultos” y como tal debe ser identificado conforme a los preceptos marcados por el ADR, estando a su vez las botellas y bidones etiquetados conforme al reglamento CLP y la norma EN1089-3.

Las disposiciones del ADR no se aplicarán a cuando la cantidad máxima total de amoníaco que se puede transportar en bultos, por unidad de transporte, sea de 50 Kg; entendiendo por "cantidad máxima total por unidad de transporte" el contenido nominal del recipiente en litros.³⁷

Las botellas y bidones de amoníaco deben transportarse preferiblemente en vehículos abiertos o camiones de plataforma con paredes laterales, siendo las botellas transportadas en posición vertical y los bidones colocados de forma horizontal sobre unas bancadas específicas que impidan el movimiento durante el transporte.

Aunque no es muy habitual, el ADR permite transportar el amoníaco, además de en botellas y bidones, en tubos y bloques de botellas. Los tubos son recipientes a presión transportable, sin soldaduras o de construcción compuesta, de una capacidad superior a 150 litros y no superior a 3.000 litros. Los bloques de botellas se definen como el conjunto de botellas unidas entre sí mediante una tubería colectora y transportada como un conjunto indisociable. La capacidad total no puede sobrepasar 3.000 litros; para los bloques destinados a transportar gases tóxicos de la clase 2 (grupos que comienzan por la letra T), esta capacidad está limitada a 1.000 litros.

³⁷ Apartado 1.1.3. ADR 2017

En todos los casos (botellas, bidones, tubos y bloques de botellas), la presión de prueba de los recipientes en el caso del amoniaco anhidro (UN 1005) será de, al menos, 29 bar, la cual se corresponde, aproximadamente, con la PV (Presión de Vapor) a 65°C. La periodicidad de la prueba será de 5 años y el grado máximo de llenado de estos recipientes es de 0,54 kg de amoniaco anhidro por litro de volumen del recipiente.

5.3. Transporte por ferrocarril.

El transporte de amoniaco por ferrocarril está regulado por el apéndice C del *Convenio relativo a los transportes internacionales por ferrocarril*, de 9 de mayo de 1980, según la redacción que figura en el Protocolo de modificación de 3 de junio de 1999 (COTIF), más conocido como RID. Una Comisión de expertos trabaja continuamente en su actualización técnica y cada dos años (los años impares), se publica esa actualización en forma de enmiendas al RID.



Vagón cisterna de amoniaco
Foto: Javier López

La última actualización del RID, vigente desde 2017, estará en vigor hasta que la sustituya el RID 2019. La entrada en vigor del RID 2017 se produjo el 1 de enero de 2017, y durante un periodo transitorio de 6 meses desde esa fecha las empresas aún podrán realizar el transporte conforme al RID 2015.

El RID no sólo se aplica en España a los transportes internacionales de mercancías peligrosas por ferrocarril, que es su objeto natural, sino que también se aplica al transporte nacional de dichas mercancías. Y esto es así porque el artículo 1 del Real Decreto 412/2001, de 20 de abril, por el que se regulan diversos aspectos relacionados con el transporte de mercancías peligrosas por ferrocarril, declaró aplicables las disposiciones del RID a los transportes (ferroviarios) “que se realicen íntegramente dentro del territorio nacional”.

Asimismo, la Unión Europea ha adoptado el RID a través de la Directiva 2008/68/CE sobre el transporte terrestre de mercancías peligrosas y las Directivas 2010/61/UE, 2012/45/UE, 2014/103/UE y 2016/2309/UE por la que se adaptan al progreso científico y técnico los anexos de la Directiva 2008/68/CE, de forma que el mismo constituye el marco de la reglamentación del transporte de mercancías peligrosas por ferrocarril, tanto en el transporte nacional como internacional en los Estados miembros

Los vagones cisternas que el RID establece para el transporte de amoníaco son del tipo PXBH, siendo X la presión máxima admisible, con especial indicación TM6, TT8 y TE25, donde:

- P define una cisterna para gases licuados o gases disueltos a presión.
- 26 es el valor mínimo de la presión de prueba, en bar.
- B, que dispone de llenado inferior o aberturas de descarga con tres cierres.
- H, herméticamente cerrada.
- TM6, donde deberá marcarse con una banda no retroreflectante continua de unos 30 cm de anchura que rodee la cisterna a media altura.
- TT8, que es una cisterna aprobada para el transporte de amoníaco anhidro N° ONU 1005; construida con acero de grano fino con un límite de elasticidad superior 400 N/mm² conforme a la norma sobre el material, y que debe someterse en cada prueba periódica a otras complementarias de controles magnetoscópicos de fisuras superficiales. Para cada cisterna se debe controlar en el fondo las soldaduras circulares y longitudinales en, al menos, el 20% de su longitud; así como las soldaduras de todos los tubos y las zonas reparadas y de pulimentado.
- TE25, significa que deberán estar protegidos para evitar el acaballamiento de los topes y el descarrilamiento; o al menos limitar los daños en los topes debidos al acaballamiento. Esto se puede conseguir tomando alguna de las siguientes prevenciones:
 - Medidas para evitar el acaballamiento:
 - Dispositivos antiacaballamiento en los topes.
 - Medidas para limitar el daño cuando hay acaballamiento:
 - Incrementar el espesor de la pared del fondo de la cisterna o usar otros materiales con mayor capacidad de absorción de la energía. El espesor de la pared, en este caso, deberá ser de al menos 12 mm.

- Disponer de una cubierta tipo sándwich para los fondos de la cisterna con una resiliencia específica de, al menos, 22KJ (correspondiente a un espesor de pared de 8 mm).
- Placas de protección a cada lado frontal del vagón.
- Placa de protección a cada uno de los extremos de los vagones equipados con acoplamiento automático.

El volumen habitual de estos vagones cisterna oscila entre los 50 y 110 m³, estando contruidos con material y espesores de las paredes en función del grado mínimo-máximo de llenado y de la temperatura de trabajo.

En función de las condiciones de diseño de la cisterna, esta puede o no disponer de válvula de seguridad. En el caso de llevarla es preceptivo que disponga de un disco de ruptura antes de la válvula, disponiendo entonces de un manómetro u otro indicador apropiado en el espacio entre el disco de ruptura y la válvula de seguridad para permitir detectar una ruptura, una perforación o una fuga del disco que pueda perjudicar la eficacia de la válvula de seguridad. Esto es parte del código establecido para la cisterna P26BH (H, herméticamente cerrada)

Para proteger la cisterna frente a posibles riesgos de deformación, como consecuencia de la depresión interna (vacío) deben, además de estar contruidas con material y espesor adecuado, resistir (sin deformación aparente) una presión exterior superior en al menos 0,21 KPa (0,21 bar) a la presión interna. Si no disponen de válvula de alivio deben resistir (sin deformación aparente) una presión exterior superior en al menos 40 KPa (0,4 bar) a la presión interna.

En el caso que la cisterna tuviera un aislamiento térmico, este debe consistir:

- bien en una pantalla parasol, aplicada como mínimo sobre el tercio superior y como máximo sobre la mitad de la cisterna y separada del depósito por una capa de aire de 4 cm de espesor como mínimo,
- o bien por un revestimiento completo, de espesor adecuado, de materiales aislantes.

El agrietamiento debido a la corrosión de elementos o estructuras bajo tensión es un fenómeno que puede darse en metales expuestos a una combinación de esfuerzos tensionales y ambientes corrosivos, como es el caso de las cisternas de amoniaco; de hecho, el amoniaco en presencia de oxígeno puede provocar este fenómeno en el acero al carbono, por lo que debe evitarse a toda costa la entrada de oxígeno en el interior de la cisterna, debiendo purgarse con nitrógeno cuando se pongan en servicio para el transporte. Por ello, deberán construirse con materiales metálicos adecuados que, siempre que no se haya previsto otros intervalos de temperaturas, deberán ser insensibles a la rotura frágil y a la corrosión por fisuras bajo tensión, a una temperatura comprendida entre -20°C y +50°C.



Los materiales de construcción, incluidos los recubrimientos, válvulas, accesorios, juntas, etc., deben ser adecuados para el amoniaco anhidro, evitando cualquier elemento de cobre o que contenga este metal.

Las cisternas disponen de válvulas internas, para la fase gas y líquida, y conexiones para la carga y descarga del amoniaco a ambos lados de la misma, estando las bridas de conexión y tuberías protegidas frente a cualquier daño que puedan sufrir. Cada abertura por la parte de abajo para este llenado o vaciado debe estar equipada con, al menos, tres cierres montados en serie e independientes entre sí:

- Un obturador interno; es decir, montado en el interior del depósito o en una brida soldada o en su contrabrida.
- Un obturador externo o un dispositivo equivalente, situado en el extremo de cada tubo
- Un dispositivo de cierre, en el extremo de cada tubo, que puede ser un tapón roscado, una brida ciega o un dispositivo equivalente, pero debe ser suficientemente estanco para contener el amoniaco sin que haya pérdidas.



Válvula y bridas de conexión para carga y descarga.
Fuene: Guidance for transporting ammonia by rail

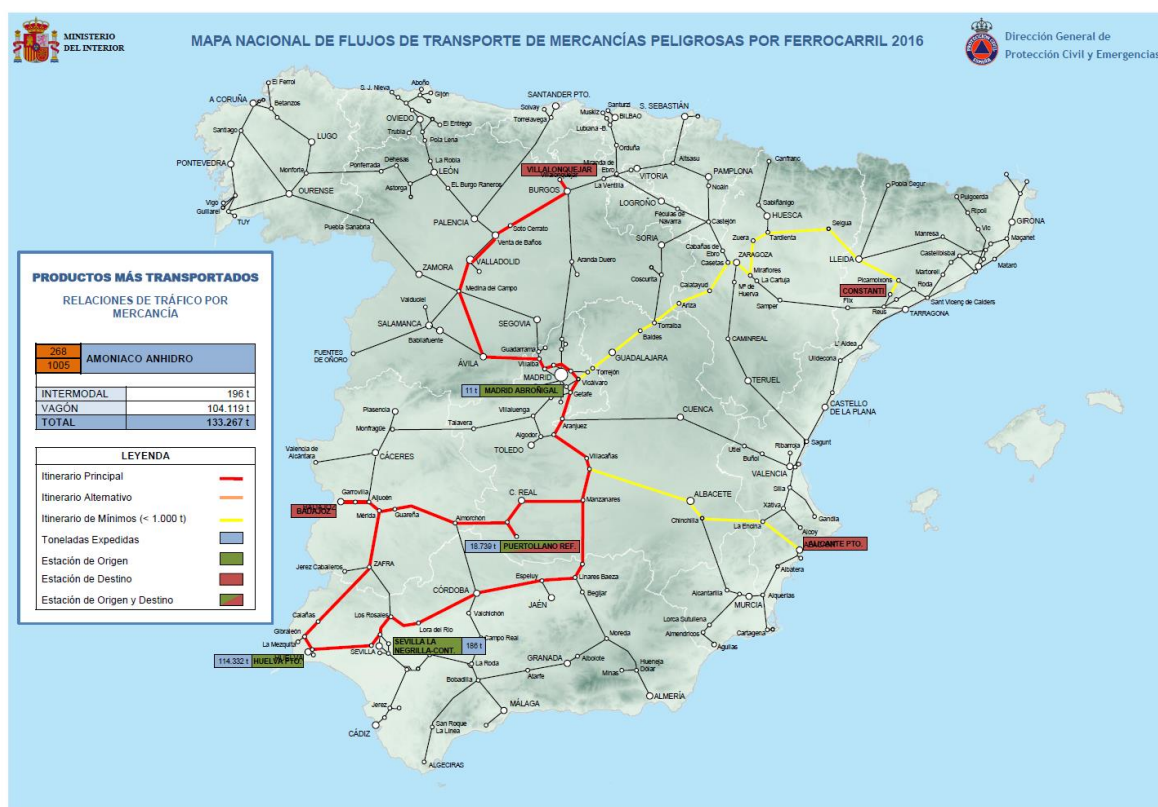
Los tipos de acoplamiento que se pueden utilizar son varios, aunque los más utilizados son los de rosca tipo WECO®- ACME y los acoplamientos mediante bridas; éstos deben, además de estar cerradas por la válvula correspondiente, estar también cerrados por tapa roscadas, bridas ciegas u otro elemento equivalente, disponiendo a su vez de una protección que evite cualquier apertura involuntaria.



- 1 y 2. Acoplamiento de rosca tipo WECO.
3. Brida de conexión con dispositivo de emergencia.
4. Brida con tapa roscada y dispositivo de protección frente a apertura involuntaria.
Fuente: Guidance for transporting ammonia by rail

Al igual que en el caso del transporte por carretera, el RID también permite transportar amoníaco en botellas, bidones a presión, tubos y bloques de botellas, siendo la presión de prueba de estos recipientes, igual que en el caso del transporte de carretera, de 29 bares. Y un grado de llenado de 0,54.

Según datos de la Dirección General de Protección Civil y Emergencias del Ministerio del Interior, en 2016 se transportaron en ferrocarril por todo el territorio nacional 133.267 toneladas de amoníaco anhidro; esto supuso un aumento de un 7,45% respecto al año anterior, donde se transportaron 124.132 toneladas de amoníaco por el mismo medio. La imagen muestra el mapa de flujos del amoníaco anhidro transportado por FFCC en el año 2016.



Mapa de flujos de transporte de amoniaco por FFCC, 2016.

Fuente: Dirección General de Protección Civil y Emergencias. Ministerio del Interior. Gobierno de España.

6 USO DEL AMONIACO COMO REFRIGERANTE R-717



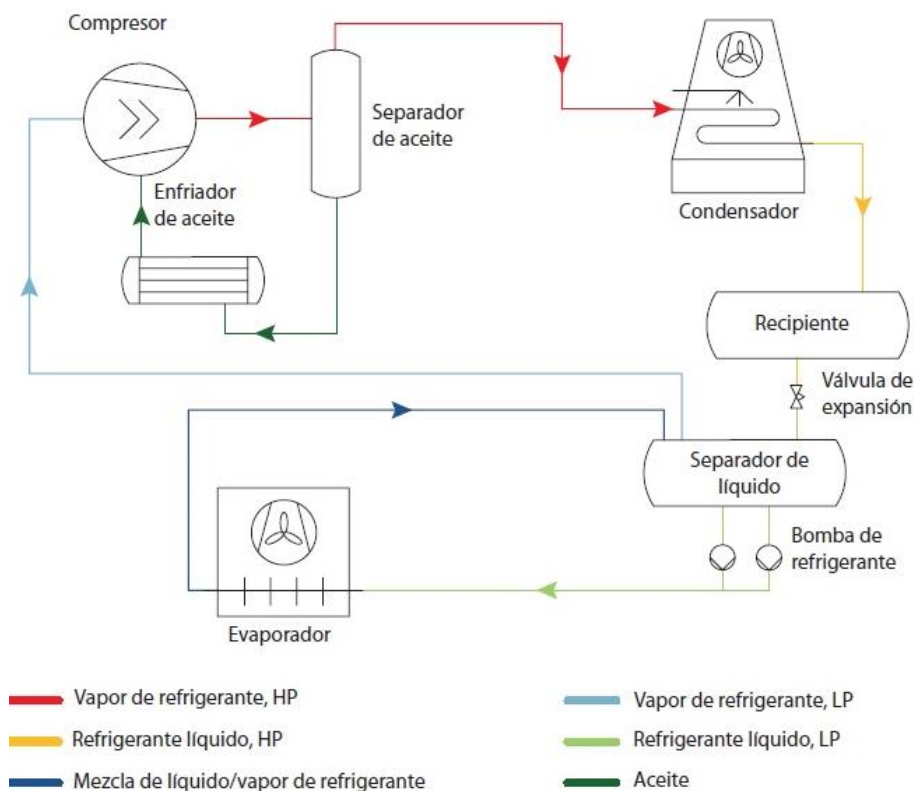
6. USO DEL AMONÍACO COMO REFRIGERANTE R-717

Por su baja presión de vapor, su temperatura de ebullición y otras propiedades termodinámicas, el amoníaco es un gran refrigerante y así se ha demostrado desde 1876 cuando Karl Von Linde lo aplicó por primera vez en una máquina de compresión de vapor. Tiene muchas ventajas frente a otros refrigerantes por lo que es muy común encontrarlo en industrias, principalmente alimentarias. En un gas natural que no tiene efectos perjudiciales para el medio ambiente (su potencial de calentamiento global GWP es cero y su potencial de agotamiento del ozono ODP también es cero), tiene una alta capacidad volumétrica, es más barato y más eficaz que los HFC/HCFC y tiene un menor coste total de vida útil.

Todo ello suple con creces sus desventajas: es clasificado como inflamable, pero no existen requisitos ATEX, salvo en lo que respecta a la ventilación de la sala de máquinas en casos de fuga; es tóxico pero debido a su umbral de olor tan bajo las fugas son detectadas rápidamente; y por su corrosividad se deben usar tuberías y accesorios de acero inoxidable que hacen que el coste inicial sea mayor pero a su vez esto repercute en que la instalación sea mucho más resistente y duradera.

6.1. Instalación de refrigeración básica con amoníaco

La instalación común es con un bombeo mono etapa y tiene el siguiente diseño:



El compresor aspira el gas seco a la temperatura de evaporación, lo comprime a una presión determinada según la temperatura a la que se quiera refrigerar y lleva el gas de

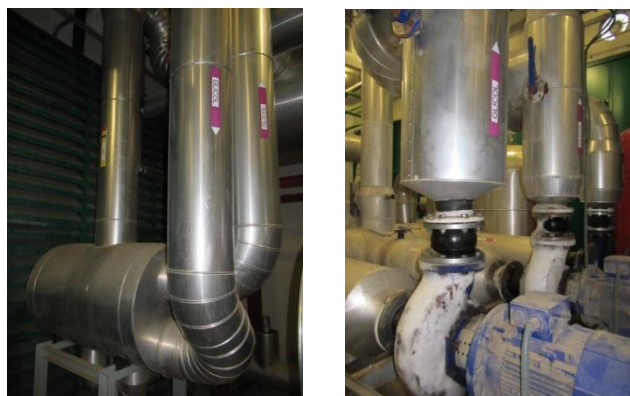
descarga recalentado hasta el condensador. El condensador licua el refrigerante a la vez que disipa el calor mediante el sistema de enfriamiento. Las instalaciones de amoníaco suelen usar condensadores evaporativos de grandes dimensiones instalados en el exterior, sobre la sala de máquinas. Desde el condensador, el líquido refrigerante llega al depósito principal de almacenamiento de amoníaco. De ahí sale hasta el dispositivo de expansión a la presión de condensación, y próximo a la temperatura de esta y se expande hasta la temperatura de evaporación y, a continuación, pasa al separador donde la fase gaseosa y la líquida se separan. El líquido refrigerante, a la temperatura y presión de evaporación, es aspirado por la bomba y enviado hasta el evaporador o intercambiador de calor donde se realiza el enfriamiento. La tasa de circulación es generalmente de 1:3; es decir, un tercio del flujo másico se evapora en el evaporador, absorbiendo la capacidad calorífica. Hasta el separador retorna una mezcla de gas y líquido; el líquido se separa del gas y el compresor puede aspirar el gas seco. De este modo se cierra el circuito. Encontraremos diferentes circuitos según las diferentes temperaturas que requieran las zonas a refrigerar.

Uso de un refrigerante secundario:

Cada vez es más común utilizar un fluido secundario como sistema indirecto de refrigeración. Lo más común es usar un glicol (hidrocarburo con dos grupos OH) diluido en agua. En el intercambiador, el amoníaco líquido se evapora retirando calor de una mezcla de agua glicolada y se bombea a los enfriadores de aire de la cámara.



Sala de máquinas con cinco circuitos de refrigeración para cinco zonas con diferentes temperaturas. Foto: C. Artero



Intercambiador NH₃/GLICOL y bombas de glicol ya refrigerado
Foto: C. Artero

Existen diferentes tipos de glicol, el más utilizado es el *propilenglicol*, también conocido como glicol alimentario. Es un compuesto químico totalmente compatible con la industria agroalimentaria, es transparente y un poco espeso además de ser inofensivo para el medio ambiente. El glicol se mezcla con agua a diferentes concentraciones según la temperatura a la que se quiera enfriar. No se suele usar a una concentración superior del 60%. Esta sustancia tiene otras muchas aplicaciones, una conocida por nosotros es la de generar humo artificial.

% Propilenglicol	Hasta °C
0	0
10	-3
20	-8
30	-14
40	-22
50	-34
60	-48
100	-59

Una instalación de refrigeración que use amoníaco y que cumpla perfectamente con la normativa será muy poco probable que ocasione una emergencia en la que debamos actuar. Por ese motivo, creemos que el principal objetivo desde el punto de vista de nuestra profesión es tener una actitud proactiva: localizar las empresas que lo usen, visitarlas, conocer a las personas al cargo y asegurarnos de que cumplan con la normativa vigente. Y al igual que se hace con las fichas de primera intervención en actuaciones con materias peligrosas, sería interesante realizar una ficha resumen de cada instalación con los datos más relevantes, esquemas, imágenes...

6.2. Normativa de uso de refrigerantes.

Real Decreto 138/2011, de 4 de febrero, por el que se aprueban el Reglamento de seguridad para instalaciones frigoríficas y sus instrucciones técnicas complementarias el cual regula las condiciones que deben cumplir las instalaciones frigoríficas en orden a garantizar la seguridad de las personas y los bienes, así como la protección del medio ambiente.

Este reglamento y sus instrucciones técnicas complementarias (IT) se aplicarán a las instalaciones frigoríficas de nueva construcción, así como a las ampliaciones, modificaciones, revisiones, inspecciones y mantenimiento de éstas y de las ya existentes.

6.3. Clasificación del amoníaco dentro de la normativa.

La normativa exige unos determinados requisitos según el tipo de refrigerante y la instalación por lo que hay que ubicar primero al amoníaco dentro de la norma:

- GRUPO DE MEDIA SEGURIDAD L2 Y B2: ligeramente inflamable y muy tóxico
- EMPLAZAMIENTO DE LA INSTALACIÓN TIPO 3: necesita de una sala de máquinas específica o estar al aire libre.
- LOCAL CATEGORÍA D: no puede haber acceso a personas no autorizadas
- INSTALACIÓN DE NIVEL 2: instalación de mayor riesgo por lo que se le exige más medidas de seguridad

Desde el punto de vista de la peligrosidad (concretamente de la toxicidad y la inflamabilidad), el amoníaco pertenece al grupo de media seguridad (L2): refrigerantes de acción tóxica, corrosiva, inflamables o explosivos mezclados con aire en un porcentaje en volumen igual o superior a 3,5%. Existen dos grupos más, de alta y de baja seguridad.

Los refrigerantes se clasifican por grupos de seguridad de acuerdo con la siguiente tabla siendo el amoníaco del GRUPO B2 por ser ligeramente inflamable y muy tóxico:

Altamente inflamable	A3	B3
Ligeramente inflamable	A2	B2
No inflamable	A1	B1
	Baja Toxicidad	Alta Toxicidad

Atendiendo a criterios de seguridad, los sistemas de refrigeración se clasifican en varios tipos según cuál sea su emplazamiento, siendo el amoníaco de TIPO 3: sistema de refrigeración con todas las partes que contienen refrigerante situado en una sala de máquinas específica o al aire libre.

Los locales (recintos, edificios o parte de edificios) en los que se ubican las instalaciones frigoríficas con amoníaco se clasifican en la categoría D: son aquellos no abiertos al público y a los que tienen acceso sólo personas autorizadas que estarán familiarizadas con las medidas de seguridad generales del establecimiento (a título meramente de ejemplo se indican los siguientes: centros de producción, industrias químicas o alimentarias, fábricas de hielo, almacenes frigoríficos o áreas restringidas de supermercados).

Las instalaciones frigoríficas se clasifican en función del riesgo potencial en dos categorías, perteneciendo el amoníaco al Nivel 2: instalaciones formadas por uno o varios sistemas frigoríficos independientes entre sí con una potencia eléctrica instalada en los compresores superior a 30 kW en alguno de los sistemas, o que la suma total de las potencias eléctricas instaladas en los compresores frigoríficos exceda de 100 kW, o que enfríen cámaras de atmósfera artificial, o que utilicen refrigerantes de media y baja seguridad (L2 y L3).

6.4. Requisitos de una instalación de amoniaco de interés para bomberos

6.4.1. Requisitos de la empresa frigorista:

Para montar, poner en servicio, mantener, reparar y desmantelar las instalaciones de amoniaco, la empresa frigorista debe ser de NIVEL 2 y deberá poseer en plantilla, como mínimo, un técnico titulado con atribuciones específicas en el ámbito competencial a que se refiere el Reglamento.

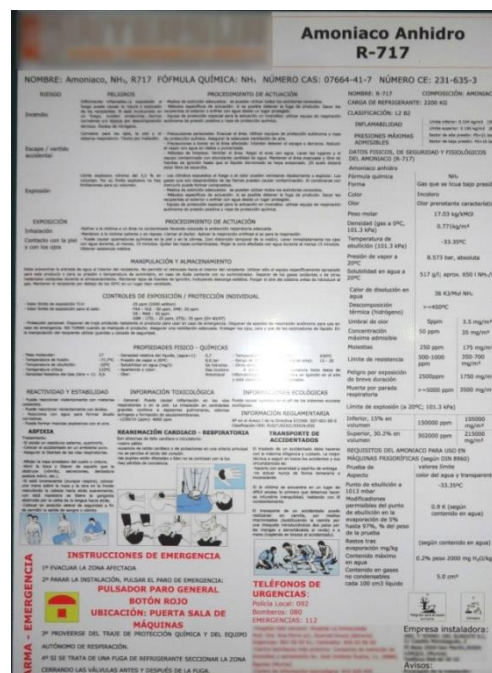
Deberá tener suscrito un seguro de responsabilidad civil profesional u otra garantía equivalente que cubra los posibles daños derivados de su actividad.

Asimismo, deberá disponer de un plan de gestión de residuos que considere la diversidad de residuos que pueda generar en su actividad y las previsiones y acuerdos para su correcta gestión ambiental, y que, si procede, contemplará su inscripción como pequeño productor de residuos peligrosos en el órgano competente de la comunidad autónoma.

Las empresas frigoristas llevarán además un registro en el que se hará constar las instalaciones realizadas, aparatos, características, emplazamiento, cliente y fecha de su terminación.

Deberá colocar en la instalación el cartel de seguridad con las siguientes indicaciones: nombre, dirección y teléfono de la empresa instaladora, el de la empresa de mantenimiento y en cualquier caso, de la persona responsable del sistema de refrigeración, así como las direcciones y números de teléfono de los bomberos, policía, hospitales y centros de quemados más cercanos y teléfono de emergencias (112). Indicará la carga en kg y el tipo de refrigerante utilizado en el sistema de refrigeración, con indicación de su fórmula química y su número de designación. También unas instrucciones para desconectar el sistema de refrigeración en caso de emergencia, las presiones máximas admisibles y detalles de inflamabilidad.

Una vez producida la puesta en marcha de la instalación frigorífica, la empresa frigorista suministrará un manual o tabla de instrucciones para su correcto servicio y actuación en caso de avería, que será conservado en buen estado para que pueda ser consultado en cualquier momento, debiendo estar en lugar visible de la sala de máquinas.



Cartel de seguridad a la entrada de la sala de máquinas. Foto: C. Artero

6.4.2. Requisitos para el titular de la instalación frigorista.

El titular de la instalación es el responsable de contratar el mantenimiento y las revisiones periódicas de las instalaciones, incluidas el control de fugas, siendo las instalaciones de Nivel 2 inspeccionadas por un Organismo de Control Autorizado al menos cada 10 años. En el caso del amoníaco deberá tener suscrito un seguro de responsabilidad civil u otra garantía equivalente que cubra los posibles daños.

La instalación frigorífica debe contar en todo momento con una persona expresamente encargada de la misma, para lo cual habrá sido previamente instruida y adiestrada por la empresa frigorista.

Esta instalación deberá contar con una placa de identificación bien legible cerca de o en el sistema de refrigeración en la que deberá aparecer la denominación alfanumérica del gas refrigerante, la carga aproximada del refrigerante (kg) y la presión máxima admisible (bar).

6.4.3. Características especiales para la sala de máquinas:

Las salas de máquinas específicas deberán servir para alojar exclusivamente los componentes de la instalación frigorífica y demás equipos técnicos auxiliares.

Se deberá evitar que las emisiones de gas refrigerante procedentes de estas salas de máquinas puedan penetrar en los recintos próximos, escaleras, patios, pasillos o canalizaciones de desagüe del edificio, debiendo ser evacuado el gas sin ningún riesgo. Toda red de tuberías y conductos que pasen a través de paredes, techos y suelos de salas de máquinas específicas deberá estar herméticamente sellada.

En caso de peligro deberá ser posible abandonar la sala de máquinas específica de forma inmediata, por lo que los pasillos estarán despejados de cualquier elemento (botellas y contenedores de refrigerantes) que impidan o dificulten la libre circulación del personal.

Deberán tener puertas que se abran hacia afuera, en un número suficiente para asegurar, en caso de emergencia, una evacuación rápida del personal. Las puertas se deberán fabricar de tal manera que se puedan abrir desde dentro (sistema antipánico).



Detalle de la salida de emergencia
Foto: C. Artero

Las puertas se deberán cerrar solas, de forma automática, si proporcionan acceso directo al edificio. Al menos una de ellas deberá comunicar directamente con el exterior o, de lo contrario, conducir a un pasillo de salida de emergencia. Las puertas que den a este pasillo de emergencia deberán llevar también un sistema antipánico.

No habrá ningún equipo productor de llama libre permanentemente instalado y en funcionamiento. Los materiales inflamables, exceptuando los refrigerantes, no deberán ser almacenados en las salas de máquinas específicas.

Fuera de la sala de máquinas y cerca de su puerta de entrada se deberá instalar un interruptor de emergencia que permita parar el sistema de refrigeración.



Pulsador de emergencia fuera de la sala de máquinas que para todo el sistema de refrigeración. Foto: C. Artero

En las entradas a la sala de máquinas deberá colocarse un cartel donde se advierta de la prohibición de entrar a las personas no autorizadas, así como la prohibición de fumar y utilizar elementos con llama o de incandescencia. Además, se deberán colocar carteles prohibiendo la manipulación del sistema a personas no autorizadas.



Carteles que debería haber en el exterior de la sala de máquinas

Las salas de máquinas específicas se airearán mediante ventilación natural, a través de ventanas, celosías u orificios de aireación o mediante ventilación forzada hacia el exterior del edificio de forma que no causen daños o supongan peligro a las personas o bienes.

Dicha ventilación será suficiente tanto para condiciones de funcionamiento normales como en casos de emergencias.

Para el amoníaco, que es más ligero que el aire, el volumen que se renueva saldrá de los puntos más altos de la sala de máquinas, por lo que la entrada de aire exterior se situará cerca del punto más bajo de la misma. No se emplazarán aberturas al exterior por debajo de las escaleras de emergencia.



Vista lateral de una sala de máquinas. Se observan las rejillas para la ventilación natural y dos ventiladores para la ventilación forzada. Y arriba tres condensadores evaporativos. Foto: C. Artero

En las salas de máquinas específicas con construcción total o parcialmente subterránea o en cualquier otra sala de máquinas específica donde no sea posible la ventilación natural se hará funcionar un sistema de ventilación forzada siempre que haya personal presente. Cuando no haya personal presente, la ventilación de emergencia se deberá controlar automáticamente mediante un detector de refrigerante. Deberá ser posible conectar o desconectar los ventiladores mediante un interruptor tanto desde dentro como desde fuera de la sala de máquinas.



Botones de arranque y parada de la ventilación forzada en el exterior de la sala. Foto: C. Artero

Los motores de aquellos ventiladores que con toda probabilidad deban funcionar en un espacio con mezclas inflamables de gas/aire deberán estar emplazados fuera del flujo de aire o bien cumplir con los requisitos para zonas con riesgo de explosión.

Está prohibido el almacenamiento en la sala de máquinas de elementos ajenos a la instalación frigorífica. La cantidad máxima de refrigerante que puede ser almacenado en su sala de máquinas es el 20% de la carga total de la instalación, con un máximo de 150 Kg. El citado refrigerante deberá almacenarse en botellas o contenedores y de conformidad con lo especificado en la ITC MIE APQ-5.

En caso necesario deberán preverse pasarelas y escaleras especiales para el montaje, funcionamiento, mantenimiento y revisión del sistema, de forma que se evite andar sobre las tuberías, conexiones, soportes, estructuras de sujeción y otros componentes.

Debido a la alta capacidad del agua para absorber los vapores de amoníaco se deberá proveer una toma de suministro de agua para que, de acuerdo con las circunstancias, sea posible la utilización de la misma sobre la zona afectada, debidamente pulverizada. Podemos encontrar una o varias BIE en el interior o un hidrante exterior con un armario con mangueras y lanzas. Se deberán adoptar medidas para asegurarse que el agua contaminada se recupere en recipientes adecuados y se elimine de forma segura.



Medios de PCI en el interior de la sala de máquinas. Foto: C. Artero

Se deberán prever interruptores para desconectar la alimentación de todos los circuitos eléctricos que acceden a la sala de máquinas (excepto los circuitos de alarma de tensión igual o inferior a 24 V, el alumbrado y a los circuitos antideflagrantes para ventilación e iluminación de emergencia). Estos interruptores deberán localizarse fuera de la sala de máquinas específica, serán automáticos y en caso de activación del segundo nivel de alarma del detector se desconectarán automáticamente. Deberán incorporar protección

diferencial y magnetotérmica por cada elemento principal (compresores, ventiladores de los condensadores, evaporadores, etc.) y por circuito de maniobra.

En las cámaras frigoríficas y locales refrigerados para procesos en los que en caso de fuga de refrigerante pueda sobrepasarse el límite práctico admisible de concentración de refrigerante, se instalará un sistema de detección de fugas que active una alarma y aisle parte del sistema de refrigeración.

En un sistema indirecto de refrigeración conteniendo una carga de amoníaco de más de 500 kg, se deberá montar un detector específico para alertar la presencia del mismo en cada uno de los circuitos secundarios que contengan agua u otros fluidos. Dicho instrumento deberá basarse en métodos que garanticen la detección rápida del amoníaco en el fluido secundario.

Los detectores de amoníaco deben ser antideflagrantes y se activarán cuando las concentraciones sobrepasen los siguientes valores:



Detector de concentración de amoníaco, Foto: C. Artero

- 380 mg/m³ (500 ppm (v/v)). Valor inferior de alarma “concentración elevada”. Se activa la primera alarma y la ventilación.
- 22.800 mg/m³ (30.000 ppm (v/v)), valor superior de alarma “concentración muy elevada”. Se activará la segunda alarma y se desconectará automáticamente el sistema de refrigeración.

Si se produce un fallo del sistema de ventilación mecánica se deberá activar una alarma en un centro de vigilancia permanente con el fin de que se puedan tomar las medidas de seguridad pertinentes.

En un sitio visible de la sala de máquinas se colocará un diagrama de las tuberías del sistema de refrigeración, mostrando los símbolos de los dispositivos de corte, mando y control.

Cuando el dispositivo de control, vía sensor, detecte que la concentración de refrigerante sobrepasa a los límites prefijados, además de sus otras funciones, activará la correspondiente alarma en el centro de vigilancia permanente para que el personal competente adopte las medidas de emergencia oportunas. La alarma podrá ser desactivada temporalmente, para fines de mantenimiento, siempre que se tomen las medidas necesarias conforme a un procedimiento preestablecido. En el caso de que sea un ordenador o sistema programable quien controle el equipo, el acceso para ajustar los parámetros de trabajo se deberá restringir sólo a las personas competentes designadas al efecto.



Programa de control que se puede visualizar en la sala de máquinas y de forma remota en un ordenador o un teléfono móvil. Foto. C.Artero

6.4.4. Medidas de prevención y de protección personal:

Serán necesarios un mínimo de 2 aparatos de respiración autónoma que se colocarán fuera de la sala de máquinas frigorífica, cerca de la puerta y guardados de forma segura y protegida. Si no hay sala de máquinas se pondrán junto al sistema frigorífico.

A cada operario se le debe entregar un aparato de protección respiratoria con filtros y con máscara completa. Cuando sean utilizados deberá anotarse el tiempo que dicho dispositivo ha sido usado. El filtro deberá ser sustituido con la frecuencia que sea necesaria. Deberá ser también anotada la fecha de adquisición de los nuevos filtros.

Los dispositivos protectores de la respiración deberán ser revisados minuciosamente al menos una vez al mes, sometiéndoles a más pruebas si fuera necesario. Estos servicios y pruebas serán realizados por el responsable de prevención de riesgos laborales de la empresa.

La revisión deberá comprender un examen visual a fondo de todos los elementos de las máscaras de protección o del aparato de respiración autónomo y sobre todo del buen estado de las correas, mascarillas, filtros y válvulas. En el caso de dispositivos protectores de la respiración que consten de botellas de aire comprimido, deberán efectuarse pruebas para comprobar el estado y eficiencia de estos elementos, así como la presión existente en



1. Armario con dos ERA completos
2. Mascara completa personal con filtro para amoniaco

las botellas. Todos los desperfectos detectados durante la revisión o las pruebas deberán ser subsanados antes de cualquier uso posterior.



Zona de entrada a la sala de máquinas
Foto. C.Artero

Se emitirá un informe de cada revisión y prueba efectuada y se reflejará en el libro de la instalación. Deberá normalmente incluir: nombre y dirección del empresario responsable del dispositivo protector de la respiración; datos del dispositivo y del número distintivo o referencia junto con una descripción suficiente para identificarlo y el nombre del fabricante; fecha de revisión, nombre y firma o identificación inequívoca de la persona que lleva a cabo la revisión o prueba; estado del dispositivo y datos de cualquier desperfecto encontrado; en el caso de máscaras de respiración con cartucho filtrante se confirmará que el filtro está sin usar; en el caso de equipos de oxígeno o aire comprimido, la presión del oxígeno o del aire, según el caso, existente en la botella de suministro.

El manual de servicio de la instalación deberá indicar las recomendaciones sobre los equipos de primeros auxilios necesarios y el protocolo de actuación. Debe haber una ducha de emergencia y un lavajojos. En aquellas instalaciones donde el agua pueda estar por debajo de 15°C se tomarán las medidas para que el agua no produzca choque térmico al usuario.

Cada sala de máquinas específica deberá disponer, como mínimo, de dos extintores portátiles de polvo polivalentes ABC, uno de ellos situado junto a la puerta de salida y el otro en el otro extremo de la sala. Para aquellos sistemas que utilicen refrigerantes inflamables, se deberán colocar extintores portátiles en la proximidad de las entradas de las cámaras frigoríficas y locales de trabajo que contengan componentes frigoríficos. En

cualquier caso, se deberán satisfacer las prescripciones emanadas de la normativa vigente sobre protección contra incendios.

No es obligatorio, pero es habitual encontrar también un par de trajes estancos a gases fuera de la sala de máquinas para que los operarios puedan entrar de forma segura al interior si fuera necesario.

6.4.5. Diseño de la instalación.

Todos los recipientes que contengan, en funcionamiento normal, refrigerante en estado líquido, deberán disponer de válvulas de cierre en todas las conexiones que partan o lleguen a los mismos, de forma que puedan independizarse del resto del sistema.

Las válvulas que no deban manipularse mientras el sistema se encuentren funcionando deberán diseñarse de forma que se evite su accionamiento por personas no autorizadas; esto podrá conseguirse, por ejemplo, mediante caperuzas, manguitos, cerraduras, que puedan manipularse por personas autorizadas y solo con las herramientas apropiadas. En el caso de válvulas de emergencia, la herramienta se encontrará situada cerca y protegida contra usos indebidos.



Detalle de dos válvulas de amoníaco líquido a la entrada de los evaporadores
Foto. C.Artero

Los equipos a presión con un volumen interior neto de 100 litros o más, provistos de válvulas de cierre en entrada y salida y que puedan contener refrigerante líquido, deberán estar provistos de una conexión para un indicador de presión. Y aquellos con un volumen bruto igual o mayor que 100 litros deberán estar provistos de dos dispositivos de alivio montados sobre una válvula conmutadora de tres vías debiendo garantizar la capacidad de alivio requerida. Las válvulas de seguridad se deberán diseñar de forma que su cierre sea estanco después de la prueba y de la eventual descarga. Se deberá instalar un disco de ruptura indicador para comprobar si la válvula de seguridad ha descargado a la atmósfera.

El tarado de la válvula deberá ser precintado una vez haya sido ajustada y probada. El precinto deberá llevar la marca de identificación del fabricante de la válvula o, en su caso, la organización o entidad registrada que haya efectuado el tarado. En una chapa de identificación o en el cuerpo de la válvula deberán ir grabadas la presión de tarado y la capacidad nominal de descarga, o bien la presión de tarado, el coeficiente de descarga y la sección de paso.



Válvula de tres vías sobre recipiente principal de amoníaco a la izquierda y en un compresor a la derecha
Foto. C.Artero

El disco de rotura deberá estar adecuadamente sujeto en su alojamiento. Sólo se podrá colocar antes de una válvula de seguridad y tendrá un diámetro mínimo igual al de dicha válvula, debiendo disponer además de un sensor para detectar su rotura. Deberá estar diseñado y fabricado de forma que, al romper, ningún fragmento del mismo pueda interferir la función de la válvula u obstruir el flujo de refrigerante. Cada disco o lámina deberá llevar grabado el nombre del fabricante y la presión nominal de rotura de tal forma que su función no se vea afectada por dicha grabación.

Para cualquier circuito frigorífico con más de 3.000 kg de refrigerante, en sistemas por bombeo, se montarán válvulas de cierre, accionadas automáticamente por un detector de fugas o un interruptor de emergencia, en las tuberías de aspiración de las bombas. En la tubería general del líquido de alta a la salida de la sala de máquinas se montará también una válvula de cierre automático accionada de forma similar. En caso de fallo de corriente dichas válvulas se cerrarán. Si son de bola deberán disponer de un orificio aguas arriba cuando estén en posición cerrada, para evitar rotura por dilatación del líquido encerrado dentro de la bola.

Las válvulas de seguridad y otros mecanismos de protección contra sobrepresiones en depósitos y tuberías de líquido del lado de alta se descargarán preferentemente a un depósito en el lado de baja y no directamente a la atmósfera. Serán válvulas cuya capacidad de descarga sea independiente de la contrapresión. El diseño de la conexión de las válvulas deberá facilitar el mantenimiento y revisión de estas sin que en ningún momento quede desprotegido el componente a presión. La protección contra sobrepresiones de los depósitos en la zona de baja descargará a la atmósfera.

Se instalarán indicadores de nivel de líquido para poder determinar la carga correcta de la instalación y controlar las eventuales pérdidas de refrigerante.

6.4.6. Identificación de tuberías

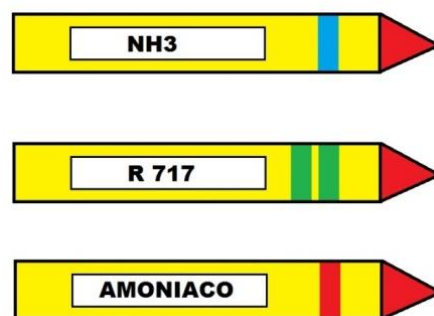
Las tuberías de las instalaciones frigoríficas se identificarán con señales, etiquetas adhesivas o placas (en adelante denominadas señales) terminadas en punta para indicar el sentido del flujo. Las señales llevarán los caracteres de identificación del fluido circulante. Las señales se ubicarán de manera que resulte fácil el seguimiento de la trayectoria de las tuberías, poniendo especial cuidado en bifurcaciones, paso de paredes, pasillos, válvulas, etc.

El color de fondo de las señales será el amarillo (RAL 1021). Cuando se trate de refrigerantes inflamables, se pintará la punta en rojo (RAL 3000). El estado del refrigerante se reflejará en las señales detrás de su punta con franjas transversales repartidas regularmente según el esquema siguiente:

- Tuberías de aspiración: azul (RAL 5015)
- Tuberías de descarga: rojo (RAL 3000)
- Tuberías de líquido: verde (RAL 6018)

En las instalaciones de compresión simple, de una etapa, en la señal figurará una franja transversal. En las instalaciones con más de una etapa de compresión las tuberías de cada etapa se diferenciarán poniendo en la etiqueta un número de franjas transversales igual al número de etapas correspondiente.

El tipo de refrigerante que circula por las tuberías se indicará con su número de identificación R-717 o por su fórmula química NH_3 .



Posibles señales que nos podemos encontrar. Ilustración de Carlos Artero



Identificación de una tubería de descarga de una válvula de seguridad. Foto. C.Artero

Las tuberías de purga, vaciado y descarga a la atmósfera de válvulas de seguridad no requerirán la identificación. Las de descarga de las válvulas de seguridad se identificarán como DVS (Descarga de la Válvula de Seguridad).

Se realizarán con material de larga duración y resistente a la luz y productos químicos. Se utilizarán medios de fijación que garanticen una buena sujeción a las tuberías. Se podrán utilizar materiales plásticos autoadhesivos que peguen sólidamente en superficies frías, calientes y húmedas tanto metálicas como no metálicas.

7 SEÑALIZACIÓN Y ETIQUETADO



7. EIQUETADO Y SEÑALIZACIÓN.

7.1. Sistema Globalmente Armonizado.

Al amoniaco anhidro le corresponde:

Número de identificación - UE 007-001-00-5 .

No. CAS 7664-41-7.

N.º CE 231-635-3.

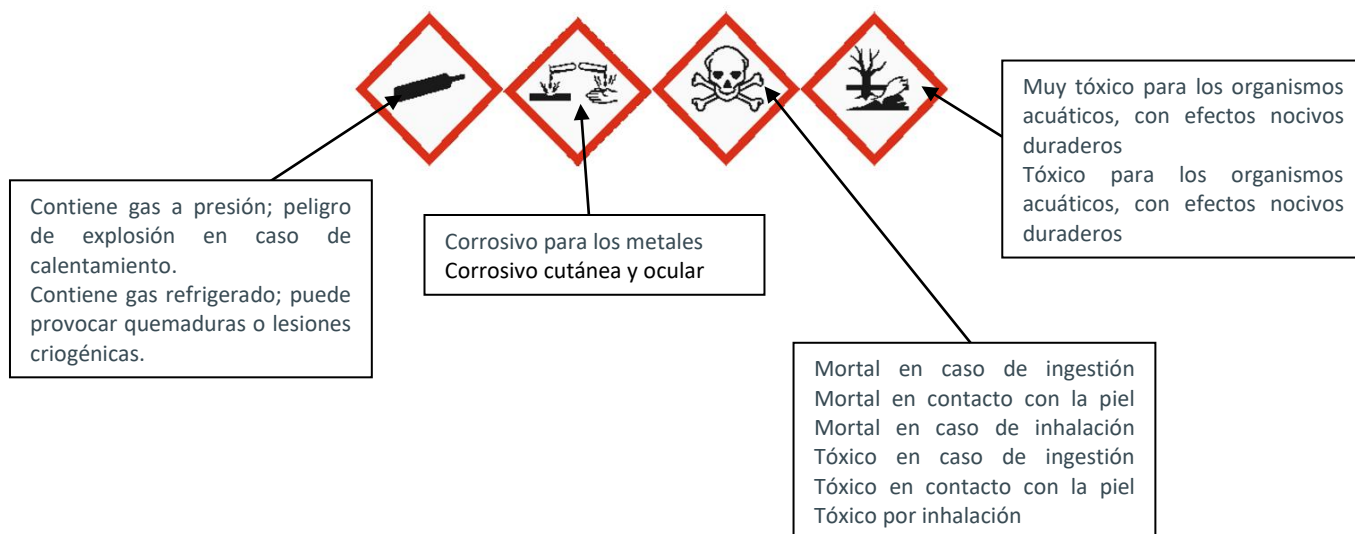
No. de registro REACH 01-2119488876-XXXX.

El Reglamento CLP (Classification, Labelling and Packaging of substances and mixtures) modifica y deroga la Directiva 67/548/CE, relativa a la clasificación, embalaje y etiquetado de sustancias peligrosas (en vigor desde el 29 de junio de 1967), y la Directiva 1999/45/CE, relativa a la clasificación, etiquetado y envasado de preparados peligrosos (en vigor desde el 30 de julio de 1999). De manera general, desde el 1 de diciembre de 2010, las sustancias deben clasificarse, etiquetarse y envasarse de acuerdo con los criterios establecidos en el CLP.

De acuerdo con el reglamento (CE) No. 1272/2008 con sus modificaciones posteriores, el amoniaco presenta los siguientes peligros:

Peligros Físicos		
Gas inflamable	Categoría 2	H221: Gas inflamable.
Peligros para la Salud		
Toxicidad aguda (Inhalación - gas)	Categoría 3	H331: Tóxico en caso de inhalación.
Corrosiones cutáneas	Categoría 1B	H314: Provoca quemaduras graves en la piel y lesiones oculares graves.
Lesiones oculares graves	Categoría 1	H318: Provoca lesiones oculares graves.
Peligros para el Medio Ambiente		
Peligros agudos para el medio ambiente acuático	Categoría 1	H400: Muy tóxico para los organismos acuáticos
Peligros crónicos para el medio ambiente acuático	Categoría 2	H411: Tóxico para los organismos acuáticos, con efectos nocivos duradero

Según el SGA³⁸ los pictogramas que le corresponderían serían:



La etiqueta debe contener,

- El nombre, la dirección y el número de teléfono del proveedor.
- La cantidad nominal de la sustancia o mezcla acondicionada en el envase a disposición del público en general, salvo que esta cantidad ya aparezca especificada en otro lugar del envase.
- Identificadores del producto.

Además:

Palabras de Advertencia:	Peligro .
Indicación(es) de peligro:	H221: Gas inflamable. H280: Contiene gas a presión; peligro de explosión en caso de calentamiento. H331: Tóxico en caso de inhalación. H314: Provoca quemaduras graves en la piel y lesiones oculares graves. H410: Muy tóxico para los organismos acuáticos, con efectos nocivos duraderos.
Consejos de prudencia:	
<i>Prevención</i>	P210: Mantener alejado del calor, de superficies calientes, de chispas, de llamas abiertas y de cualquier otra fuente de ignición. No fumar. P260: No respirar el gas/los vapores. P273: Evitar su liberación al medio ambiente. P280: Llevar guantes/prendas/gafas/máscara de protección.

³⁸ SGA: Sistema Globalmente Armonizado

<i>Respuesta</i>	P303+P361+P353+P315: EN CASO DE CONTACTO CON LA PIEL (o el pelo): Quitar inmediatamente todas las prendas contaminadas. Aclararse la piel con agua/ ducharse. Consultar a un médico inmediatamente. P304+P340+P315: EN CASO DE INHALACIÓN: Transportar a la persona al aire libre y mantenerla en una posición que le facilite la respiración. Consultar a un médico inmediatamente. P305+P351+P338+P315: EN CASO DE CONTACTO CON LOS OJOS: Aclarar cuidadosamente con agua durante varios minutos. Quitar las lentes de contacto, si lleva y resulta fácil. Seguir aclarando. Consultar a un médico inmediatamente. P377: Fuga de gas en llamas: No apagar, salvo si la fuga puede detenerse sin peligro. P381: En caso de fuga, eliminar todas las fuentes de ignición
<i>Almacenamiento</i>	P403: Almacenar en un lugar bien ventilado. P405: Guardar bajo llave.
<i>Eliminación</i>	Ninguno
Información suplementaria en la etiqueta	EUH071: Corrosivo para las vías respiratorias.

7.2. Identificación de botellas y bidones de gases.

Con la entrada en vigor del Real Decreto 2060/2008, la norma UNE-EN 1089-3 reemplaza a la ITC AP7 en lo relativo a colores de botellas de gas. Todos los gases deben identificarse con la etiqueta del SGA y mediante un código de colores que indique las propiedades de este de conformidad con el rombo de riesgo en las etiquetas de las botellas. Estos colores se utilizan para complementar a las etiquetas que disponen las botellas, ya que estas son el método de identificación primario, pero puede ser un método importante de identificación cuando no puede llegar a leerse la información contenida en la misma.

Así, conforme a la nueva norma EN-1089-3, le corresponde la etiqueta de tóxico y/o corrosivo y el código de color amarillo (RAL 1018) de identificación en su ojiva. La normativa antigua identificaba las botellas de amoniaco con el cuerpo y la ojiva de color verde.



Botellones coloreados conforme a EN 1089 y antiguo RD.
Foto: M.Albaladejo



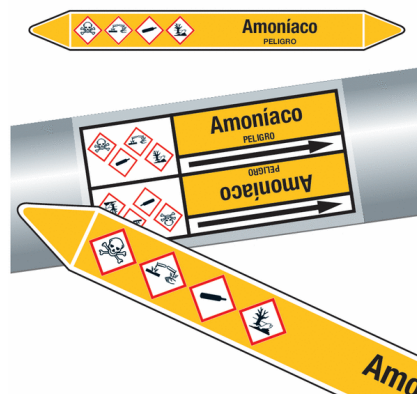
Botella coloreada conforme a EN 1089
Foto: J.A.Marín

Todas las botellas, en lo referente al código de colores, debieron llevar durante un tiempo la letra “N” sobre la ojiva de la botella y de un color distinto de los colores de la ojiva, aunque desde agosto de 2015 dejó de estar en vigor el solape de las dos normativas y ya no es obligatorio.

7.3. Identificación en tuberías.

La Norma UNE 1063 “Caracterización de las tuberías según la materia de paso”, clasifica al amoníaco en el grupo 4, clase 4.6. “Gases inorgánicos, NH_3 , H_2S ” y le asigna el color amarillo o amarillo con color adicional rojo a las tuberías.

Las tuberías podrán pintarse con el color básico en toda su longitud, una cierta longitud o en una banda longitudinal. Siempre se pintarán en la proximidad de válvulas, empalmes, salidas de empotramientos y aparatos de servicio que formen parte de la instalación.



Etiqueta de señalización de tubería de amoníaco

Fuente: www.seaton.es

7.4. Identificación y señalización durante el transporte por carretera y ferrocarril.

Tanto el ADR³⁹ como el RID⁴⁰ catalogan al amoníaco como sustancia 2TC - Gas licuado tóxico y corrosivo, asignándole el número de identificación de peligro 268.

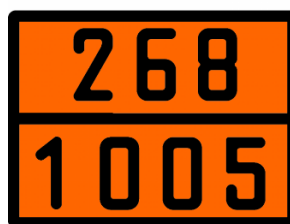
El RID establece que en ambos lados del vagón se han de colocar los paneles naranjas correspondientes y las placas-etiquetas de peligro asignadas para el amoníaco 2 (gas tóxico), 8 (corrosivo) y 13 (maniobra).



Teniendo en cuenta la nueva clasificación del amoníaco como producto peligroso para el medio ambiente se debe añadir, además, la marca de sustancia tóxica para el medio ambiente.



También debe ir señalizada con un panel naranja no reflectante con el código de peligro 268 y el número ONU de producto 1005.



Además, los vagones cisterna de transporte de amoníaco por ferrocarril deben ir señalizados conforme al RID con una franja naranja de 30 cm alrededor de toda la cisterna y a media altura⁴¹, aunque hay que tener presente que esta banda de señalización no es exclusiva del amoníaco sino del transporte de gases licuados.

³⁹ ADR.- Acuerdo Europeo Relativo al Transporte Internacional de Mercancías Peligrosas por Vía Terrestre

⁴⁰ RID.- Convenio relativo a los transportes internacionales por ferrocarril

⁴¹ TM6 según RID



Vagón cisterna de amoniaco anhidro
Foto: Javier López

Para el transporte por carretera, el ADR establece que las placas-etiquetas 2+8 deberán fijarse en los dos laterales y la trasera del vehículo; también llevarán dos paneles rectangulares de color naranja: uno en la parte delantera de la unidad de transporte y el otro en la parte trasera, con el código de identificación de peligro y el número ONU correspondiente.



Cisterna de amoniaco anhidro.

8

SISTEMAS DE DETECCIÓN DE AMONIACO EN LAS INTERVENCIONES



8. SISTEMAS DE DETECCIÓN DE AMONIACO EN LAS INTERVENCIONES.

Desde el punto de vista de los servicios de emergencia, el reconocimiento, detección, identificación y monitorización de las sustancias químicas involucradas en un incidente es un aspecto prioritario para poder abordar la situación, ya que sin ello no se puede hacer la cuantificación de la concentración en el entorno y determinar así los niveles de toxicidad. El saber con qué producto químico se está trabajando, o se va a trabajar, condiciona todo el desarrollo y planteamiento operativo.

Antes de nada, tenemos que aclarar algunos conceptos referentes a concentración de sustancias en el aire y cómo se miden. La concentración de una determinada sustancia se define como el contenido de esta sustancia en el seno de otra sustancia de referencia, normalmente el aire cuando hablamos de sustancias perjudiciales para la salud. El establecer unas unidades de medida adecuadas es importante para poder trabajar de forma útil, sencilla y rápida con los datos facilitados por los equipos de medida; así, cuando se trata de concentraciones muy elevadas normalmente se trabaja en Vol-% (1 parte de sustancia a medir por 100 partes de aire) y cuando las concentraciones son bajas se miden en ppm (1 parte de sustancia a medir por 1 millón de partes de aire). En el caso de hablar de ppb nos estaríamos refiriendo a 1 parte de sustancia a medir por 1 billón de partes de aire.

$$1 \text{ Vol.-%} = 10,000 \text{ ppm} = 10,000,000 \text{ ppb}$$

A veces, los gases van acompañados de pequeñas gotas o partículas diminutas disueltas formando un aerosol; en estos casos, utilizar como unidad de medida el %-Vol no es muy práctico, teniendo que recurrir en estos casos al mg/m^3 .

	Vol-%	ppm	ppb	g/l	mg/l	mg/m^3
Vol-% =	1	10^4	10^7			
Ppm =	10^{-4}	1	10^3			
Ppb =	10^{-7}	10^{-3}	1			
g/l =				1	10^3	10^6
mg/l =				10^{-3}	1	10^3
mg/m^3 =				10^{-6}	10^{-3}	1

Existen entidades de reconocido prestigio, como la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA, en inglés), la Conferencia Americana de Higienistas Gubernamentales (ACGIH), el Instituto Nacional de Seguridad y Salud Ocupacional (NIOSH) u otros de nivel europeo, que establecen valores de exposición para las sustancias químicas. Sin embargo, la Directiva 98/24/CE determina la obligación de los países comunitarios de disponer, a criterio de cada país, de Límites de Exposición nacionales, vinculantes o indicativos.

Los Valores Límite Ambientales (VLA) en España son valores de referencia para las concentraciones de los agentes químicos en el aire y representan condiciones a las cuales se cree que la mayoría de los trabajadores pueden estar expuestos 8 horas diarias y 40 semanales, durante toda su vida laboral, sin sufrir efectos adversos para su salud. Se habla de la mayoría y no de la totalidad, puesto que un porcentaje de trabajadores podría experimentar molestias a concentraciones inferiores a los VLA. Estos valores sirven para la evaluación y el control de los riesgos por inhalación de los agentes químicos incluidos en la lista de valores.

Cuando uno de estos agentes se puede absorber por vía cutánea, el agente en cuestión aparece señalado en la lista con la notación “vía dérmica”.

- VLA-ED. Representan condiciones a las cuales se cree, basándose en los conocimientos actuales, que la mayoría de los trabajadores pueden estar expuestos 8 horas diarias y 40 horas semanales durante toda su vida laboral, sin sufrir efectos adversos para su salud.
- VLA-EC: Es la concentración media del agente químico en la zona de respiración del trabajador, medida o calculada para cualquier periodo de 15 minutos a lo largo de la jornada laboral, excepto para aquellos agentes químicos para los que se especifique un periodo de referencia inferior en la lista de Valores Límite.

Para aquellos agentes químicos que tienen efectos agudos reconocidos pero cuyos principales efectos tóxicos son de naturaleza crónica, el VLA-EC constituye un complemento del VLA-ED y, por tanto, la exposición a estos agentes habrá de valorarse en relación con ambos límites. En cambio, a los agentes químicos de efectos principalmente agudos, como puedan ser los gases irritantes, solo se les asigna para su valoración un VLA-EC.

Para muchos agentes químicos que tienen asignado un VLA-ED no se dispone de un VLA-EC. Sin embargo, es necesario controlar las desviaciones por encima del VLA-ED, aun cuando este valor se encuentre dentro de los límites recomendados. En estos casos se aplican los *límites de desviación*. Las desviaciones en los niveles de exposición de los trabajadores podrán ser superiores al valor $3 \times \text{VLA-ED}$ durante no más de un total de 30 minutos en una jornada de trabajo, no debiendo sobrepasar en ninguna circunstancia el valor $5 \times \text{VLA-ED}$.

Como hemos podido ver, hasta el momento los diferentes valores de exposición que hemos desarrollado corresponden a valores del ámbito de salud ocupacional. Otros valores que los bomberos pueden llegar a contemplar son las dosis letales (DL50) o las concentraciones letales (CL50).

Las dosis letales se utilizan para sólidos y líquidos, en tanto que las concentraciones letales se emplean para gases. En la mayoría de los casos han sido obtenidas como resultado de pruebas realizadas en animales, aunque también provienen de pruebas realizadas con humanos (suicidios y homicidios). El número 50 que le sigue a la DL y CL significa que esa dosis o concentración resultaría fatal para el 50% de la población expuesta.

Como vemos, con los numerosos valores de exposición establecidos no es infrecuente que se genere confusión entre los bomberos. Por este motivo es importante saber lo que significa cada uno de los valores, para tomar consciencia de las exposiciones a las que nos enfrentamos y sus consecuencias.

Detectar la presencia de amoníaco es sencillo, debido al bajo umbral olfativo que tiene; esto permite ser consciente de la presencia de este gas en el ambiente, aun sin haber llegado a establecer su concentración. El amoníaco es un gas incoloro, pero si en el ambiente hay bastante humedad se va poder observar la fuga como una nube de blanquecina; si la fuga fuera invisible, pero se sabe que hay amoníaco por su fuerte olor, se puede utilizar un pulverizador con sulfumán (HCl) sobre las bridas, juntas o válvulas para detectar el origen de la fuga; la neblina de color blanco que se genera corresponde al cloruro de amonio formado en la reacción de neutralización entre el amoníaco y el HCl.



Localización de fuga de amoníaco con cámara térmica.
Foto: J.M.Soriano (bombero Leganés)

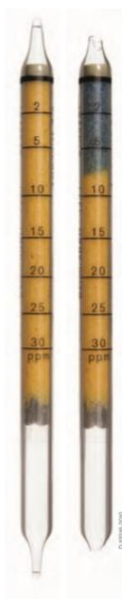
Para poder determinar concentraciones de gas en el ambiente es necesario realizar mediciones y para ello podemos disponer de diversas posibilidades asequibles para los servicios de bomberos, aunque en el mercado y para otros ámbitos u otros organismos, pueda haber otros dispositivos más completos y de precios muy variables.

Si lo que pretendemos medir es un gas concreto, lo primero y fundamental debe ser que el equipo que se va a usar sea selectivo para ese gas, pues si nuestro detector de gases no lleva el sensor adecuado de amoníaco va a ser imposible detectar su presencia y su correspondiente medición. Como hemos dicho, detectar la presencia de amoníaco es tarea sencilla por su bajo umbral de olor, pero conocer la concentración sí es importante pues condiciona las decisiones en las operaciones.

Los sistemas de detección, identificación y medida que utilizan la gran mayoría de los servicios de bomberos son:

- Tubos colorimétricos
- Sensores electroquímicos (EC)
- Sensores de inflamabilidad (Catalíticos)
- Detectores de fotoionización (PID)

8.1. Tubos colorimétricos



Se trata de tubos de vidrio que contienen unos reactivos para la medición de gases y vapores de manera “directa” y “semi-cuantitativa”, de forma que se puede cuantificar de una manera relativamente rápida a través de una reacción química específica del compuesto a identificar. La mayoría de los tubos colorimétricos están graduados de forma que la longitud de la parte coloreada del tubo indica de manera aproximada la concentración de la sustancia medida, siempre y cuando se siga el procedimiento indicado por el fabricante.

El método consiste en hacer pasar el aire que contiene el contaminante mediante una bomba mecánica de fuelle a través de un tubo colorimétrico con escala graduada que contiene un lecho sólido impregnado en un reactivo, azul de bromofenol y un ácido, de forma que el cambio de color de amarillo a azul y la extensión de este en la capa sólida permiten leer en la escala la concentración de amoníaco, desde 0,2 a 700 ppm⁴² según modelo.

Ya que estas reacciones están unidas a un cambio de coloración, también pueden ser denominados los tubos como sensores químicos colorimétricos. La conversión de sustancia en el tubo es en primer lugar proporcional a la masa del gas que reacciona. En general es posible representar cuantitativamente esta conversión en forma de una indicación de longitud de color. Tanto la hidracina como las aminas hacen virar el indicador, por lo que su presencia constituye una interferencia. No suponen interferencias la presencia de vapores nitrosos (hasta 300 ppm); dióxido de azufre, SO₂ (hasta 2000 ppm); o ácido sulfhídrico, SH₂ (hasta 2,000 ppm).

El diseño de los tubos para mediciones de corta duración depende del correspondiente tipo de medición, especialmente de la sustancia a medir y el margen de concentración a determinar. Dependiendo de estas indicaciones existen diferentes tipos de tubos para mediciones de corta duración:

- Tubos con una capa indicadora.
- Tubos con una o más precapas más una capa indicadora.
- Combinación de dos tubos.
- Tubos con sondas de conexión.
- Tubos con ampolla de reactivo.
- Tubos para medición simultánea.

⁴² INSHT. 403-3-A/95

8.2. Sensores electroquímicos (EC)



El amoníaco es difícil de medir con sensores electroquímicos (EC) en monitores portátiles, pues la escala completa para la mayoría de los sensores electroquímicos de amoníaco es sólo de 100 ppm⁴³, aunque algunos tienen valores⁴⁴ que alcanzan las 300 ppm. Teniendo en cuenta estos valores y los límites de toxicidad del amoníaco, resulta complicado determinar el momento exacto de elegir un EPP u otro, cambio de filtro a ERA o de protección química tipo 3 a tipo 1. Esto hace que en ocasiones se tenga que suponer que hay presencia de concentraciones elevadas y trabajar con un exceso de protección, o que se tenga que recurrir a hacer solamente controles puntuales mediante tubos colorimétricos para conocer la concentración real en ese momento en ese punto.

Los sensores electroquímicos pueden detectar/medir cantidades relativamente pequeñas de amoníaco sin agotarse, pero también hay que tener en cuenta que estos sensores tienen un periodo de vida determinado, medido en ppm/hora. Supongamos que un sensor de amoníaco está diseñado para 20.000 ppm/horas; esto significa que puede estar expuesto a concentraciones de 2 ppm durante 10.000 horas o 1.000 horas a 20 ppm. Una vez que se alcanzan las 20.000 ppm/hora, el sensor está “muerto”. Pero, además de la esperanza de vida fija, los sensores electroquímicos tienen valores máximos de rango que son relativamente bajos. Cuando un sensor se clasifica con un “exceso de rango máximo” se está refiriendo a la concentración más alta de ese gas que la célula del sensor puede detectar/medir antes de que se dañe de manera irreversible, que en el caso del amoníaco suele estar entorno a las 200 ppm, dependiendo del fabricante. Esto es uno de los principales problemas que presentan los detectores portátiles electroquímicos de amoníaco.

8.3. Sensores catalíticos (de inflamabilidad)

Una de las propiedades del amoníaco es que en determinados rangos puede ser inflamable; está claro que las concentraciones a las que este gas es inflamable exceden con creces sus niveles de toxicidad permitida y para los cuales ya se debería estar equipado con el EPP correspondiente desde el punto de vista del riesgo toxicológico, por lo que en este caso el asunto a tratar sería si la concentración es lo suficientemente peligrosa como para inflamar la nube de amoníaco.

⁴³ MSA Altair Pro – Amoníaco. Rango 0-100 ppm, resolución 1 ppm

⁴⁴ Dräger XS EC Amoníaco Rango 0-300 ppm, resolución 1 ppm

Normalmente los sensores catalíticos están calibrados con metano, propano o pentano; no obstante, mediante el uso de sensibilidades cruzadas para el rango de medición de 0 a 100% LEL se pueden llegar a detectar la concentración de otros gases o vapores, como es el caso del amoníaco, pero para ello es necesario referirse a las tablas de referencia proporcionadas por los fabricantes de cada uno de los equipos de medición.

Estos sensores proporcionan buenas mediciones iniciales de niveles muy altos de amoníaco (~ 10.000 ppm), aunque su vida a estas altas concentraciones se limita a minutos u horas, dependiendo de la concentración de amoníaco.

8.4. Detector de Fotoionización (PID)



La detección que realizan los PID's se basa en el fenómeno de ionización. Cuando una muestra de gas absorbe energía de una lámpara PID, el gas se estimula y su contenido molecular se altera, perdiendo el compuesto un electrón (e-) y se convierte en un ion con carga positiva, quedando la sustancia ionizada.

La mayoría de las sustancias pueden ser ionizadas, algunas más fácilmente que otras. La capacidad de una sustancia de ionizarse se mide a través del potencial de ionización (PI), utilizando una escala de energía en electronvoltios (eV). Por lo general, esta escala va de un valor de 7 hasta aproximadamente 16. De manera general, las sustancias con un valor de PI de 7 eV son muy fáciles de ionizar, mientras que las sustancias con un valor entre 12 y 16 eV son extremadamente difíciles de ionizar. El amoníaco tiene un potencial de ionización (IP) de 10.18 eV y se puede medir fácilmente con un detector de fotoionización (PID), con una lámpara estándar de 10.6 eV.

Sin embargo, el PID no es específico del amoníaco y responderá también a una variedad de otros compuestos. Por ejemplo, si tenemos un derrame de amoníaco y alcohol al mismo tiempo, el PID proporcionará una lectura combinada total para ambos compuestos. Pero si, en la fuga o el vertido, solo está presente el amoníaco, ya que es fácil de establecer por su olor característico, en estos casos un PID proporciona un equipo adecuado para medir la concentración de amoníaco en el ambiente.

Existen otras técnicas de detección y monitoreo aplicables al amoníaco como pueden ser la IR (detección infrarroja) o el IMS (espectrómetro de movilidad de iones), pero debido a que la gran mayoría de los servicios de bomberos no disponen de ellas no vamos a entrar en ellas. Si se quiere ampliar información al respecto se recomienda la lectura de la Guía Operativa elaborada por el GT.10 respecto a “detección, identificación y monitorización de sustancias peligrosas (DIM)”.

9

GENERALIDADES SOBRE INTERVENCIONES CON AMONIACO



9. GENERALIDADES SOBRE INTERVENCIONES CON AMONIACO.

La Directriz Básica de Protección Civil para el control y planificación ante el riesgo de accidentes graves en los que intervienen sustancias peligrosas, aprobada por Real Decreto 1196/2003 de 19 de septiembre, contempla tres tipos de fenómenos peligrosos que se pueden producir en un accidente y que pueden generar daños a personas, bienes o medio ambiente.

9.1. Fenómenos Térmicos.

Son provocados por la oxidación rápida, no explosiva, de sustancias combustibles, produciendo llama, que puede ser estacionaria o progresiva, pero que en todos los casos disipa la energía de combustión mayoritaria por radiación que puede afectar a seres vivos e instalaciones materiales.

La variable estudiada para los fenómenos térmicos es la Dosis de Radiación, D, expresada mediante:

$$D = I^{4/3} \cdot t_{exp}$$

Donde I es la intensidad media recibida, en Kw/m² y t_{exp} el tiempo de exposición, en segundos.

Los valores umbrales que, según la Directriz Básica antes citada, deberán adoptarse para la delimitación de la zona de intervención y la zona de alerta son:

- *Zona de Intervención:* Una dosis de radiación térmica de 250 (KW/m²)^{4/3}.s, equivalente a las combinaciones de intensidad térmica y tiempo de exposición que a continuación se indican:

I, KW/m ²	7	6	5	4	3
T _{exp} ,S	20	25	30	40	60

- *Zona de Alerta:* Una dosis de radiación térmica de 115 (KW/m²)^{4/3}.s, equivalente a las combinaciones de intensidad térmica y tiempo de exposición que a continuación se indican:

I, KW/m ²	6	5	4	3	2
T _{exp} ,S	11	15	20	30	45

9.2. Fenómenos mecánicos.

Se incluyen aquí las ondas de presión y los proyectiles. Las primeras son las provocadas por las explosiones o el equilibrio rápido entre una masa de gases a presión elevada y la atmósfera que la envuelve. Una explosión confinada, o estallido, puede originar fragmentos del continente, y una no confinada, de sólidos de las inmediaciones del punto en que se ha producido la explosión. Estos fragmentos o proyectiles están dotados de gran energía cinética y sus dimensiones y alcance son variados pero limitados.

Las variables que determinan el daño en este tipo de fenómenos son:

- Valor local integrado del impulso, en explosiones y deflagraciones.
- Sobrepresión local de la onda de presión, en explosiones y deflagraciones.
- Alcance máximo de los proyectiles con impulso superior a 10 mbar·seg.

Los valores umbrales que deberán adoptarse para la delimitación de la zona de intervención y zona de alerta, así como para las zonas caliente y templada son:

Zona de Intervención y Caliente:

- Un valor local integrado del impulso, debido a la onda de presión, de 150 mbar·seg.
- Una sobrepresión local estática de la onda de presión de 125 mbar.
- El alcance máximo de proyectiles con un impulso superior a 10 mbar·seg, en una cuantía del 95%, producida por la explosión o estallido de los recipientes.

Zona de Alerta y Templada:

- Un valor local integrado del impulso, debido a la onda de presión, de 100 mbar·seg.
- Una sobrepresión local estática de la onda de presión de 50 mbar.
- El alcance máximo de proyectiles con un impulso superior a 10 mbar·seg, en una cuantía del 99,9%, producida por la explosión o estallido de los recipientes.

9.3. Fenómenos químicos.

Se incluyen aquí las nubes tóxicas o la contaminación del medio ambiente debida a fugas o vertidos incontrolados de sustancias peligrosas para las personas, bienes o medio ambiente.

Para este tipo de fenómenos, la variable representativa del daño inmediato es la concentración de tóxico o dosis (D), definida como:

$$D = C^n_{\max} \cdot t_{\exp}$$

Donde $C_{\max}$ es la concentración máxima de la sustancia en el aire, $t_{\exp}$ es el tiempo de exposición, y n un exponente que depende de la sustancia química.

Se utilizan los índices AEGL (Acute Exposure Guideline Level), propuestos inicialmente por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos definidos para tres niveles de daño (1, 2 y 3) y considerando para cada nivel los períodos de referencia siguientes: 10 y 30 minutos, y 1, 4 y 8 horas.

Si la sustancia no tiene definido los índices anteriores se utilizarán los denominados ERPG (Emergency Response Guidelines), publicados por la Asociación de Higiene Industrial Americana; y, por último, si no se dispone de los anteriores, se tomarán en consideración los TEEL (Temporary Emergency Exposure Limits), desarrollados por el Departamento de Energía de los Estados Unidos. Estos dos últimos índices están definidos para los mismos niveles de daño que los establecidos para los AEGL, pero, en cada caso, para un único periodo de referencia: 1 hora para los ERPG y 15 minutos para los TEEL.

Otro índice que se puede utilizar para estimar las zonas de planificación es el IDLH (Immediately Dangerous to Life or Health Concentrations), en español se denomina IPVS (Inmediatamente Peligroso para la Vida o la Salud), que se define como la concentración máxima, expresada en ppm o en mg/m^3 , ante la cual, en caso de fallo o inexistencia de equipo respiratorio, se podría escapar en un plazo de 30 minutos sin experimentar síntomas graves ni efectos irreversibles para la salud.

Los valores umbrales que deberán adoptarse para la delimitación de la zona de intervención y zona de alerta son:

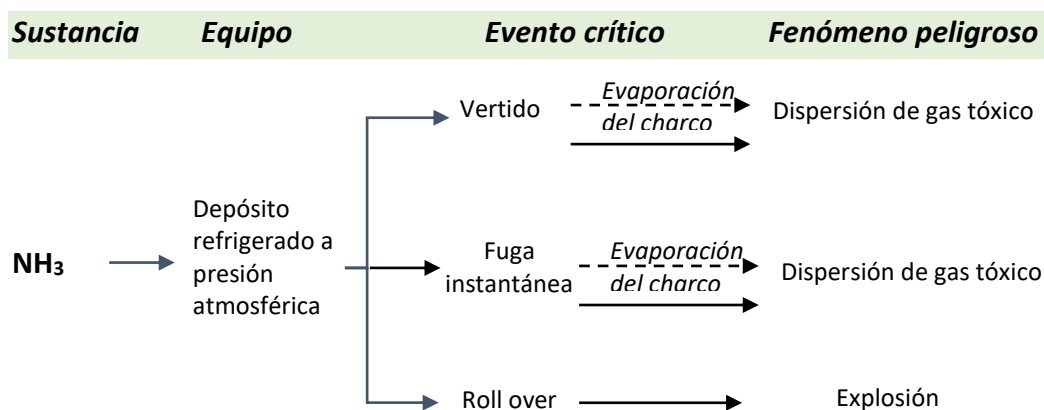
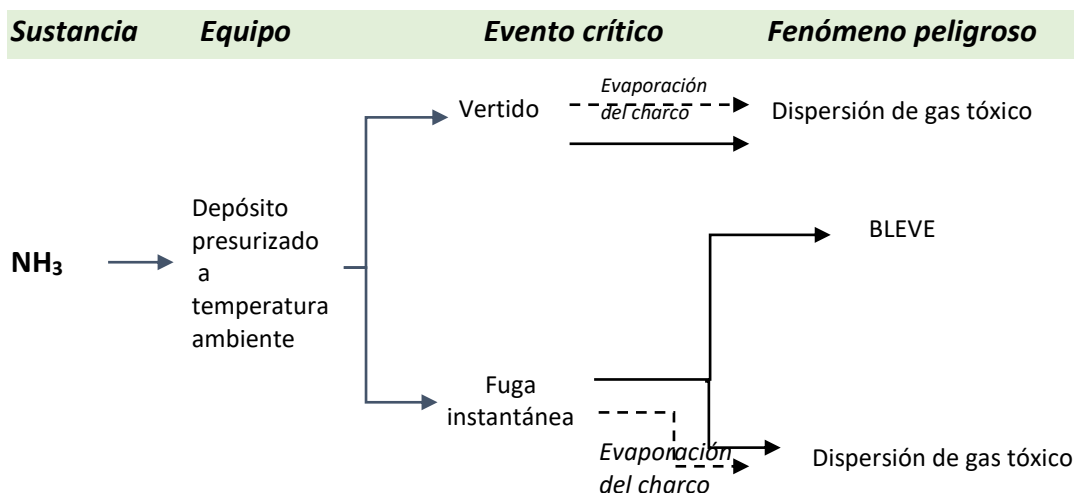
- *Zona de Intervención:* Concentraciones máximas de sustancias tóxicas en el aire, calculadas a partir de los índices AEGL-2, ERPG-2 y/o TEEL-2.
- *Zona de Alerta:* Concentraciones máximas de sustancias tóxicas en el aire, calculadas a partir de los índices AEGL-1, ERPG-1 y/o TEEL-1.



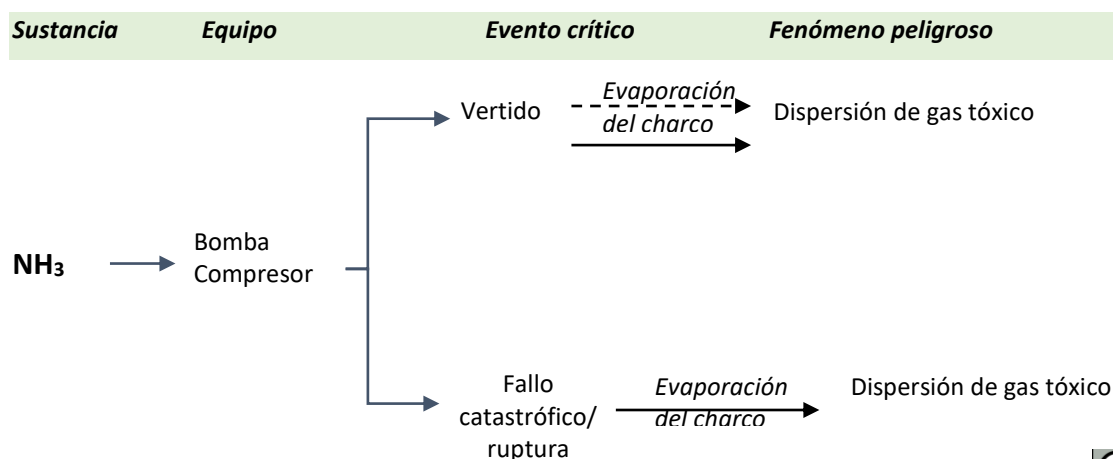
Fuga de Amoníaco en Alabama (USA)
Fuente: U.S. Chemical Safety Board

De manera general, dentro de algunos posibles escenarios donde se pueden producir fenómenos peligrosos asociados a vertidos o fugas de amoníaco, tenemos:

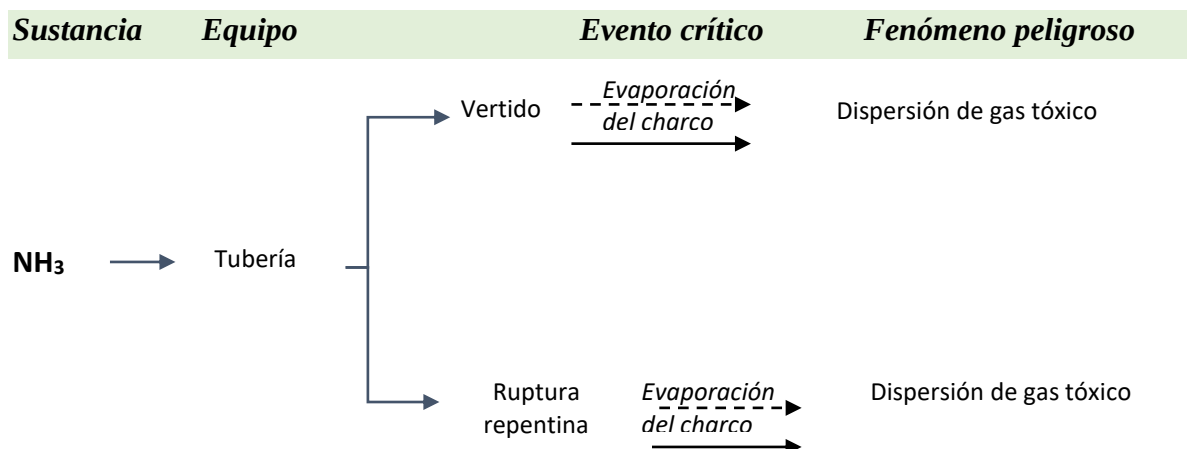
- Vertidos o fugas en depósitos de amoníaco presurizados a temperatura ambiente o refrigerados (fuga instantánea y vertido)



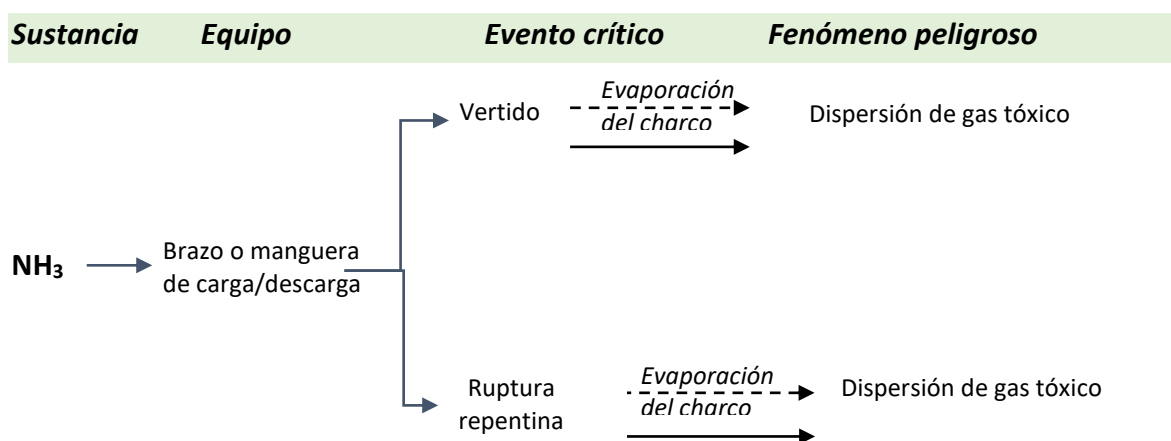
- Vertido o fallo en la bomba/compresor de la instalación de amoníaco



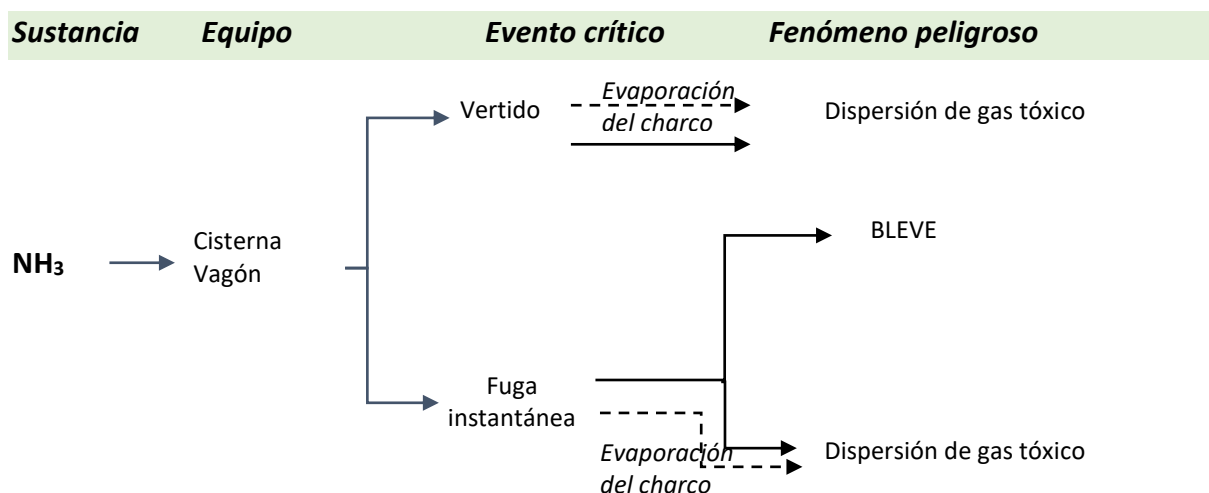
- Vertido o rotura de tubería



- Vertido o rotura en el brazo o manguera de carga/descarga



- Vertidos o fugas instantáneas en cisternas



Ante posibles accidentes que involucren fugas y/o vertidos de amoníaco, la GRE⁴⁵ (ERG en inglés) establece una zona de aislamiento inicial basada en el uso de modelos de dispersión teniendo en cuenta aspectos como valores de toxicidad, reactividad, hora del día, tamaño del derrame, etc.; así, para el amoníaco establece los siguientes valores para el establecimiento de las “Zonas de Aislamiento Inicial (ZAI)” y “Zonas de Acción Protectora (ZAP)”.

	Pequeños derrames			Grandes derrames		
	Zona de aislamiento inicial en todas las direcciones	Zona Protección a la población en dirección del viento		Zona de aislamiento inicial en todas las direcciones	Zona Protección a la población en dirección del viento	
		Día	Noche		Día	Noche
		Km	Km		Km	Km
Amoníaco	30	0,1	0,2	Referencia a tabla inferior		

Tipo de almacenamiento o transporte	1005 Amoníaco						
	Zona de aislamiento inicial (m)	Zona de Protección a la población en dirección del viento (km)					
		Día			Noche		
		Viento flojo (<2,6m/s)	Viento moderado (2,6-5,3m/s)	Viento fuerte (>5,3m/s)	Viento flojo (<2,6m/s)	Viento moderado (2,6-5,3m/s)	Viento fuerte (>5,3m/s)
Vagón cisterna	1000	1,7	1,3	1,0	4,3	2,3	1,3
Camión cisterna	500	0,9	0,5	0,4	2,0	0,8	0,6
Varios botellones de 1 t	200	0,5	0,3	0,3	1,3	0,3	0,3
Varios cilindros pequeños o un botellón de 1 t	100	0,3	0,2	0,1	0,7	0,3	0,2

Para hacer un estudio más detallado de todos los fenómenos peligrosos posibles asociados a un accidente con amoníaco y ampliando el árbol de sucesos básico antes mencionado para el caso de cisternas, vamos a tomar como referencia las secuencias y alternativas que dan origen a los posibles accidentes en dichas cisternas cuando el amoníaco es transportado en camiones por carretera. Así, las referidas a los vagones cisterna van a seguir un comportamiento similar; y las botellas y bidones a presión tendrán los mismos fenómenos peligrosos asociados, pero con mucha menor masa de producto involucrada en el accidente.

La tabla anteriormente mencionada de la GRE hace referencia a fenómenos químicos consecuencia de fugas, vertidos o derrames, pero no hace referencia a fenómenos térmicos ni mecánicos consecuencia de la peligrosidad inflamable del amoníaco o la posible explosión a presión del recipiente que contiene almacenado un gas licuado; para ello se ha elaborado un estudio mediante la utilización de diversos programas para ver el alcance de estos.

⁴⁵ GRAE – Guía de Respuesta a Emergencias

9.4. Dardo de fuego.

Los accidentes en cisternas de amoníaco se inician al formarse una fisura o rotura de esta o de algún componente (válvula o conexión), dándose en primera instancia la emisión o vertido del producto. Se entiende por emisión la salida de amoníaco en estado gaseoso y por vertido la salida en estado líquido. En este último caso, dadas las condiciones de almacenamiento, se produce una fuga bifásica o evaporación flash que tiene lugar debido a que el amoníaco, al producirse la pérdida de contención, sufre una expansión debido al descenso súbito de la presión (desde la presión de vapor correspondiente a la temperatura de almacenamiento hasta la presión atmosférica), produciéndose su evaporación súbita, que al mismo tiempo puede formar y arrastrar una cantidad considerable de líquido en forma de aerosol.

Si la emisión de gas bifásica (gas-gotículas) encuentra un punto de ignición cercano al accidente, puede provocar la formación de un dardo de fuego. Se estima que el caudal de fuga va a permanecer prácticamente constante debido a que el calor necesario para la evaporación va a ser aportado por el emitido en la combustión del amoníaco. Dado que la cisterna no está aislada térmicamente, se supone que la temperatura en el interior de esta permanece constante, evolución isotérmica del líquido.

Para poder determinar las longitudes de llama de una fuga continua de gas y poder proponer unas distancias de seguridad, se ha utilizado el programa de cálculo EFFECT PLUS con los siguientes criterios:

- Modelo: Fuga de vapor a través de un depósito o tubería.
- Tipo de fuga: Fuga a través de un orificio en un depósito.
- Volumen del depósito: 40 m³.
- Tipo de depósito: Cilíndrico horizontal.
- Longitud del cilindro: 8 m.
- Grado de llenado: 90 %.
- Diámetro del orificio: 20, 50, 70, 100 y 150 mm.
- Altura de la fuga: 2.5 m .
- Temperatura inicial: 10, 20, 30 y 40 °C.
- Coeficiente de descarga: 0.62 .

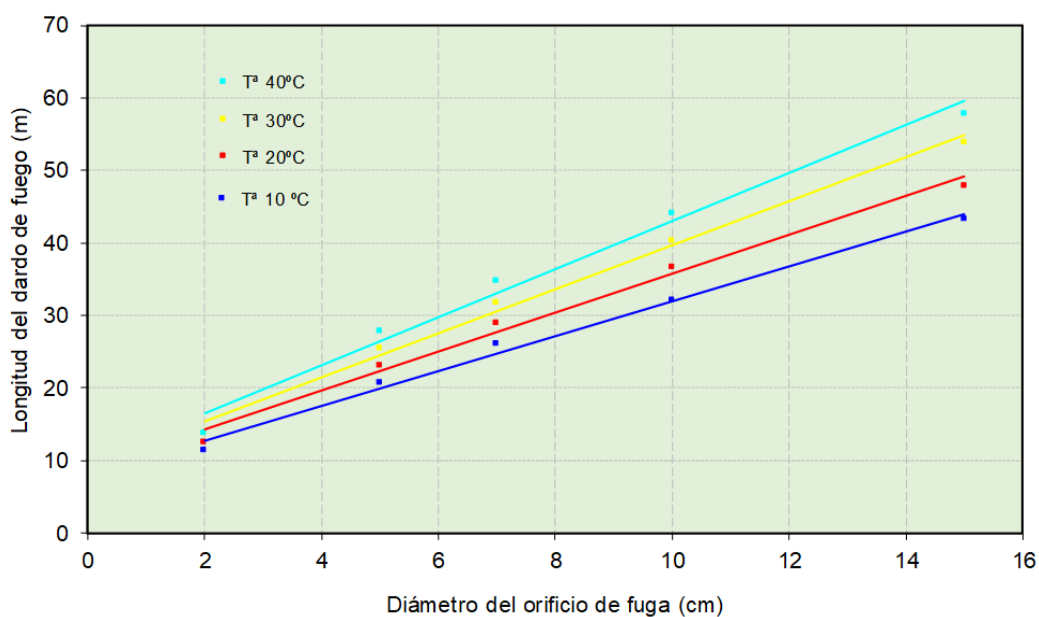
Los resultados obtenidos para las diferentes temperaturas han sido:

Temperatura inicial (°C)	Diámetro de orificio (cm)	Caudal másico (Kg/s)	Longitud del dardo (m)	Masa emitida en 30 min (Kg)
10	2	0.21	11.3	367
	5	1.34	20.7	1680
	7	2.63	26	2536
	10	5.37	32	3150
	15	12.09	43.2	3150*
20	2	0.29	12.5	493.5
	5	1.84	23.1	2126.9
	7	3.60	28.9	3094.7
	10	7.35	36.6	3794
	15	16.54	47.9	3794*
30	2	0.39	13.8	648.09
	5	2.46	25.4	2623.4
	7	4.82	31.8	3681.9
	10	9.83	40.3	4312.1
	15	22.12	53.8	4323**
40	2	0.51	13.8	833.13
	5	3.22	27.8	3164.9
	7	6.31	34.8	4292
	10	12.88	44.1	4750.4
	15	28.97	57.8	4762.0 ***

* Esta masa se emite en 12 minutos (tiempo máximo que dura la emisión) y su valor se corresponde con la masa máxima de gas que se emite en las condiciones consideradas.

** Esta masa se emite en 10 minutos (tiempo máximo que dura la emisión) y su valor se corresponde con la masa máxima de gas que se emite en las condiciones consideradas.

*** Esta masa se emite en 9 minutos (tiempo máximo que dura la emisión) y su valor se corresponde con la masa máxima de gas que se emite en las condiciones consideradas.



Se comprueba que la temperatura tiene un cierto efecto sobre la longitud del dardo de fuego, pero lo que realmente afecta de manera considerable es el tamaño del agujero que ha provocado la fuga.

9.5. Incendio de charco y nubes explosivas.

Es muy improbable la generación de este accidente dada la secuencia evolutiva y características de la sustancia, que se comentan a continuación:

- La fuga de amoníaco líquido sufre un intenso flash que conlleva la formación de vapor. Dada la brusca expansión del vapor se produce la rotura de una parte del líquido remanente, formando gotículas que son arrastradas por el citado vapor. Se estima que el porcentaje másico de gotículas supone el doble de la masa (o caudal) del vapor.
- El líquido remanente a -33°C (temperatura de ebullición) al impactar sobre el suelo (a temperatura ambiente) sufre inicialmente una rápida evaporación, provocando una nueva nube que se incorpora a la anterior. Por ello, se puede estimar que prácticamente toda la masa vertida pasa rápidamente a vapor.
- Si en las inmediaciones del vertido hay un foco de ignición, por ejemplo, la inflamación del combustible del camión o de algún otro vehículo implicado, se puede originar la deflagración inmediata de la nube. Debe tenerse en cuenta que en los estadios iniciales de formación de la nube la mezcla con aire no está suficientemente desarrollada, por lo que:
 - las concentraciones de amoníaco serán muy elevadas y una parte importante puede superar el límite superior de inflamabilidad; por ello, las características de la combustión se pueden considerar próximas a las que se producen en las bolas de fuego; asimismo,
 - el amoníaco tiene sus límites de inflamabilidad muy próximos por lo que, de producirse la inflamación, se producirá un accidente más parecido a una bola de fuego que a una nube inflamable.



Charco de amoníaco líquido con vaporización consecuencia de una fuga

9.6. Bola de fuego.

Entre los diferentes accidentes que pueden producirse en el transporte de amoniaco por carretera, la generación de bolas de fuego es una alternativa probable, siendo el accidente de peores consecuencias debido a la gran extensión afectada por la radiación térmica producida y, además, por la nube formada por óxidos de nitrógeno y el propio amoniaco no combustionado. Hay dos circunstancias distintas que pueden evolucionar hacia la formación de una bola de fuego:

Circunstancia A:

- La generación de calor procedente de un dardo de fuego (tamaño del orificio pequeño) incide sobre la misma cisterna accidentada.
- El progresivo calentamiento de la cisterna acelera la generación de vapor en su interior, de manera que el orificio de salida no tenga la suficiente capacidad de evacuación para evitar el aumento de presión.
- El debilitamiento de la resistencia del contenedor debido a la temperatura y el aumento de la presión interna pueden provocar la rotura súbita (explosión) de la cisterna y la formación de la bola de fuego.

Circunstancia B:

- Rotura de grandes dimensiones en la cisterna.
- Si la rotura tiene lugar en la zona superior de la cisterna se produce una evaporación flash del contenido de la cisterna, que al encontrarse con una fuente de ignición inmediata provoca la formación de una llamarada de características similares a una bola de fuego.
- Si la rotura tiene lugar en la zona de inferior de la cisterna se produce una evaporación y vertido al suelo del contenido de la cisterna. Si la nube formada encuentra una fuente de ignición inmediata se inflama, dando lugar la formación de una llamarada de características similares a una bola de fuego.

En el primer caso, la rotura súbita de la cisterna provoca la formación de fragmentos que salen despedidos a gran velocidad alcanzando distancias considerables. Los fragmentos actúan como proyectiles que pueden causar daños en los alrededores, tanto a seres humanos como a bienes.

Para evaluar las consecuencias de una bola de fuego provocada por una cisterna de 25 t de amoniaco, se ha recurrido al programa PERSEFONE:

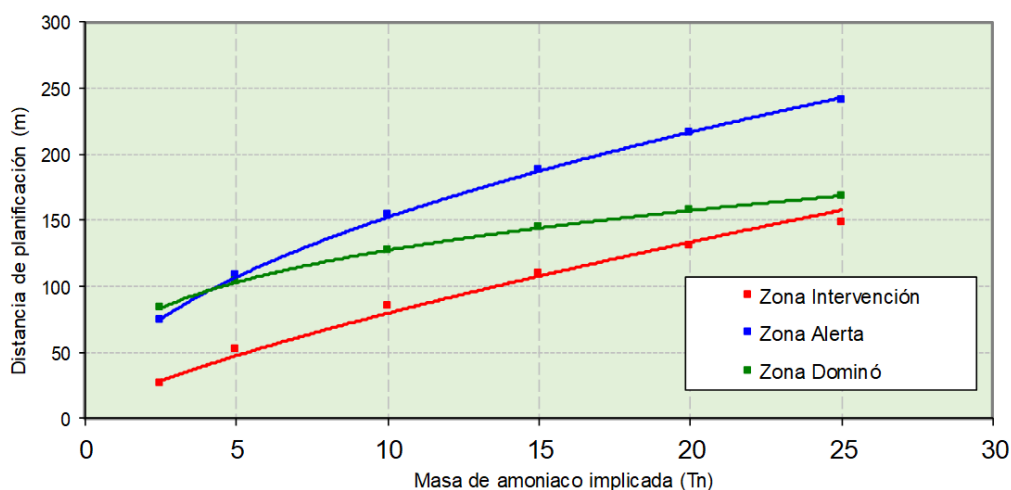
- Masas implicadas: Para cisterna de camión: 2.5, 5, 10, 15, 20 y 25 t.
- Temperatura inicial del depósito: 20°C.
- Presión de rotura: $58 \cdot 10^5$ Pa.
- Temperatura ambiente: 20°C.

- Humedad relativa: 70%.

Masa involucrada en bola de fuego (t)	D. Intervención (m)	D. Alerta (m)	D. Dominó (m)
25	148.3	241.1	168.5
20	130.4	216.3	157.4
15	110	187.8	144.2
10	85.3	153.5	127.4
5	52	107.8	103.1
2.5	25.9	74.5	83.4

* Los valores obtenidos son tomados desde el origen del accidente.

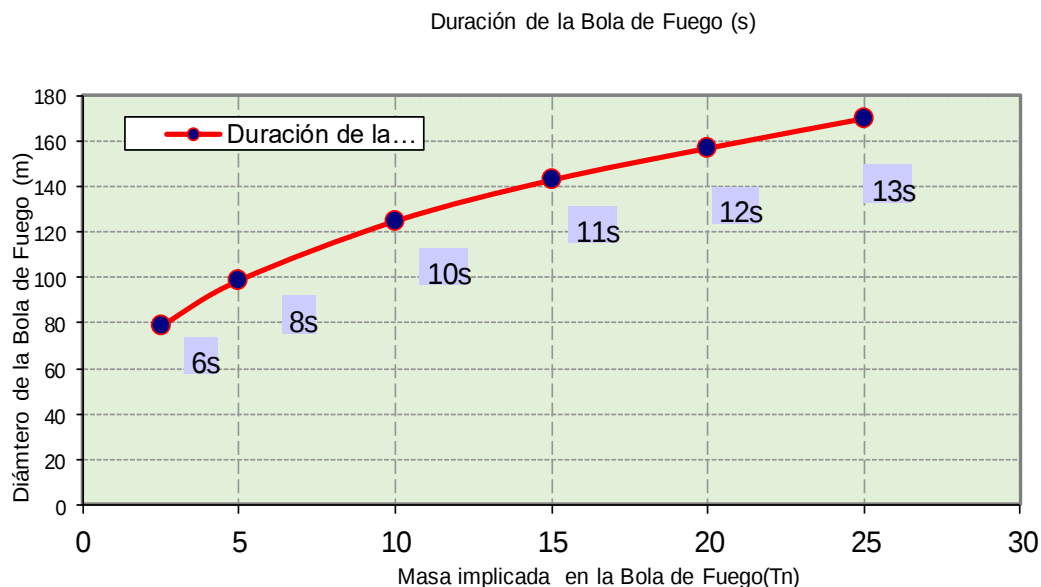
Zonas de planificación para la población como consecuencia de una Bola de Fuego de Amoníaco



El

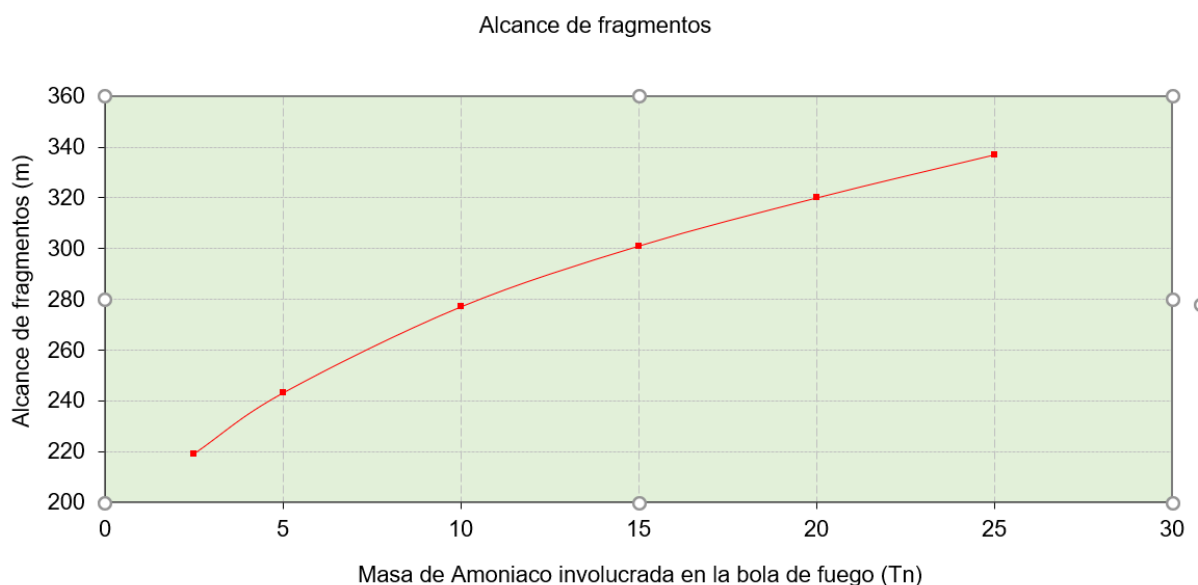
diámetro y duración de la bola de fuego para las condiciones dadas se observan a continuación y son función también de la cantidad de masa involucrada en la bola de fuego.

Masa involucrada en bola de fuego (t)	Diámetro de la bola de fuego (m)	Duración de la bola de fuego (s)
25	170	13
20	157	12
15	143	11
10	125	10
5	99	8
2.5	79	6



Todas las bolas de fuego llevan asociadas el desprendimiento de fragmentos del recipiente a una cierta distancia del origen del accidente y, en su caso, posibles daños estructurales. Para estimar estos daños (menor, mayor y colapso de edificios) se calcula el porcentaje de afectación recurriendo a funciones PROBIT.

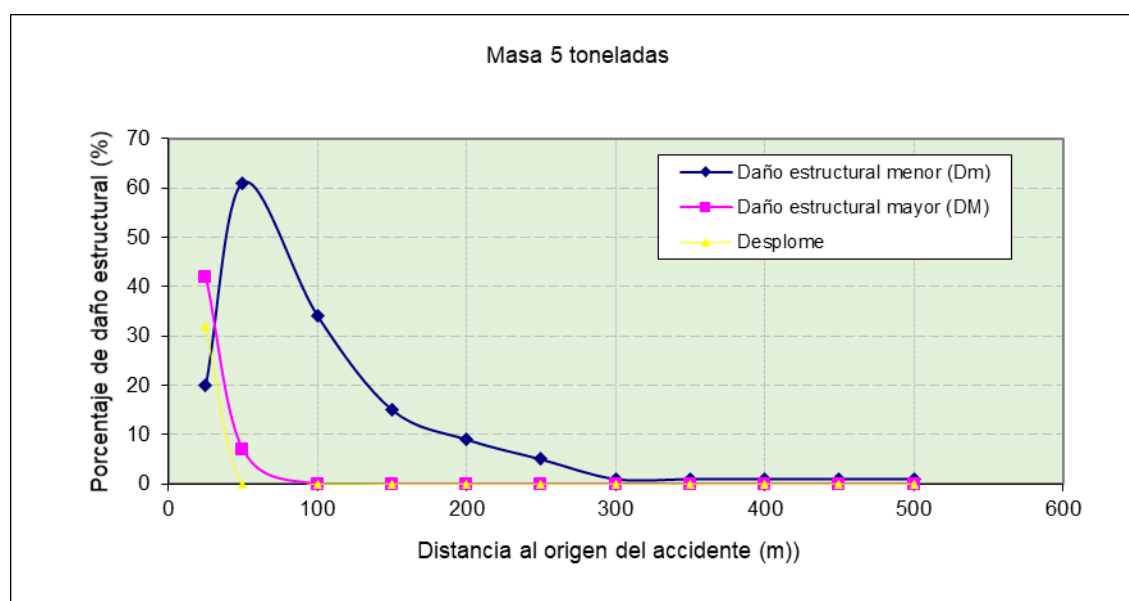
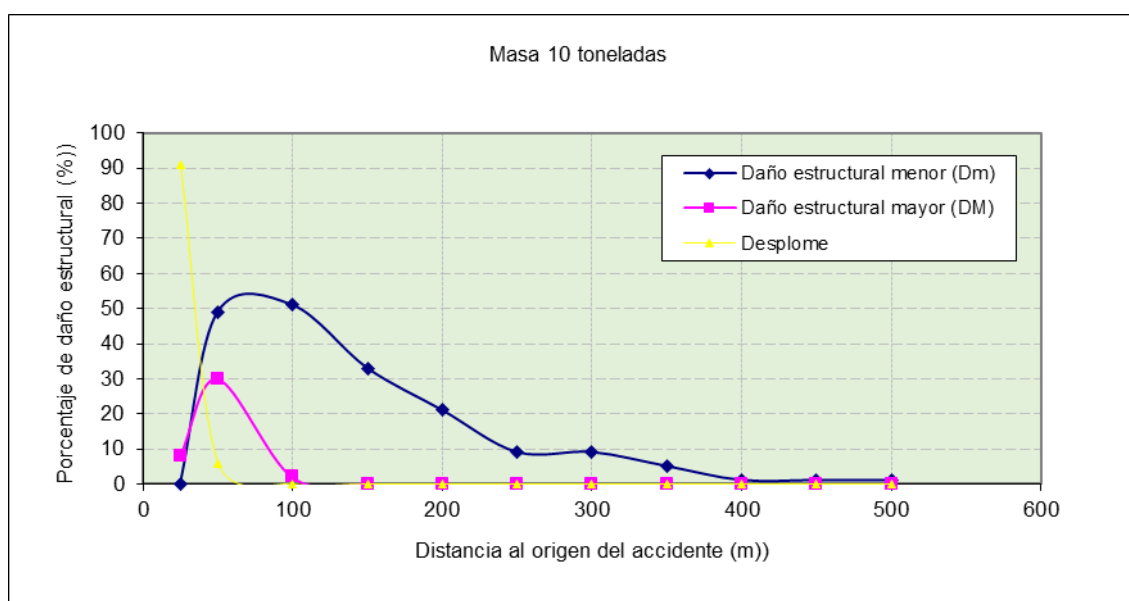
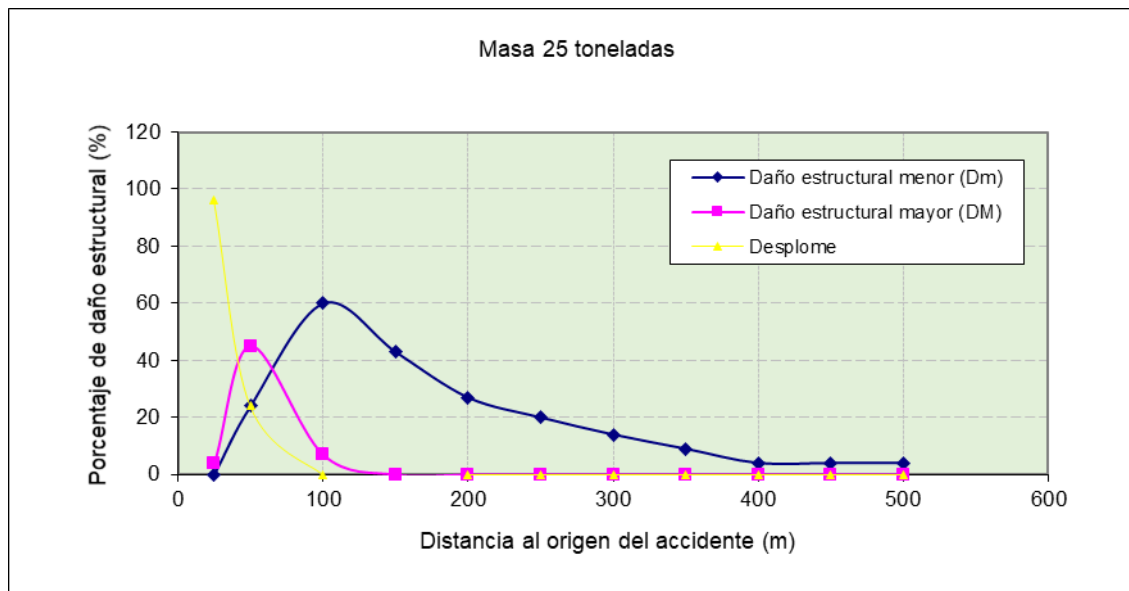
Masa involucrada en bola de fuego (t)	Alcance de fragmentos (m)
2,5	219
5	243
10	277
15	301
20	320
25	337



Para poder evaluar el alcance de los fragmentos se ha utilizado el programa ZEUS, bajo los siguientes parámetros:

- Geometría del recipiente: cilíndrica.
- Diámetro aproximado: 2.5 m.
- Longitud aproximada: 8 m.
- Masa del recipiente vacío: 1.700 Kg aproximadamente, teniendo en cuenta un espesor de 3.5 mm y una densidad para el acero de 7.850 Kg/m³.
- Altura sobre el suelo: 1 m.
- Causa del estallido: fuego externo.
- Contenido del recipiente: mezcla líquido-vapor.
- Masas de amoniaco implicadas: 5, 10 y 25 t.
- Presión de trabajo: 6.0 10⁵ (10°C), 8.4 10⁵ (20°C), 11.6 10⁵ (30°C) y 15.5 10⁵ (40°C) Pa.
- Presión de abertura de la válvula de seguridad: 18.6 10⁵ Pa.

Distancia (m)	Masa involucrada: 25 t			Masa involucrada : 10 t			Masa involucrada : 5 t		
	Dm (%)	DM (%)	De (%)	Dm (%)	DM (%)	De (%)	Dm (%)	DM (%)	De (%)
500	4	-	-	1	-	-	1	-	-
450	4	-	-	1	-	-	1	-	-
400	4	-	-	1	-	-	1	-	-
350	9	-	-	5	-	-	1	-	-
300	14	-	-	9	-	-	1	-	-
250	20	-	-	9	-	-	5	-	-
200	27	-	-	21	-	-	9	-	-
150	43	0		33	0	-	15	-	-
100	60	7	0	51	2	0	34	0	-
50	24	45	24	49	30	6	61	7	0
25	0	4	96	0	8	91	20	42	32



Nota: Dm: Daño menor. DM: Daño mayor. De: Desplome de edificios.

9.7. Nube tóxica.

La formación de una nube tóxica de amoníaco tiene lugar cuando se dan algunas de las siguientes situaciones:

- Rotura de la cisterna por la parte superior con fuga de gas y sin que se produzca ignición inmediata.
- Rotura de la cisterna por la parte inferior con vertido de líquido que sufre una evaporación brusca en contacto con el suelo.

Cuando se genera una nube tóxica y después producirse una bola de fuego o un dardo se pueden formar óxidos de nitrógeno. En este caso la nube alcanza elevadas temperaturas e intensa flotabilidad, los productos generados se elevan y dispersan por lo que cuando llegan al suelo la concentración ha descendido en gran medida.

Por otra parte, no es posible calcular con seguridad la concentración inicial de óxidos de nitrógeno formados en la combustión. Además, los programas informáticos disponibles no tratan la evolución de la nube en los primeros momentos. Por todo ello, no se realiza la simulación de nubes formadas por óxidos de nitrógeno y amoníaco; sólo se considera la nube formada por amoníaco exclusivamente.

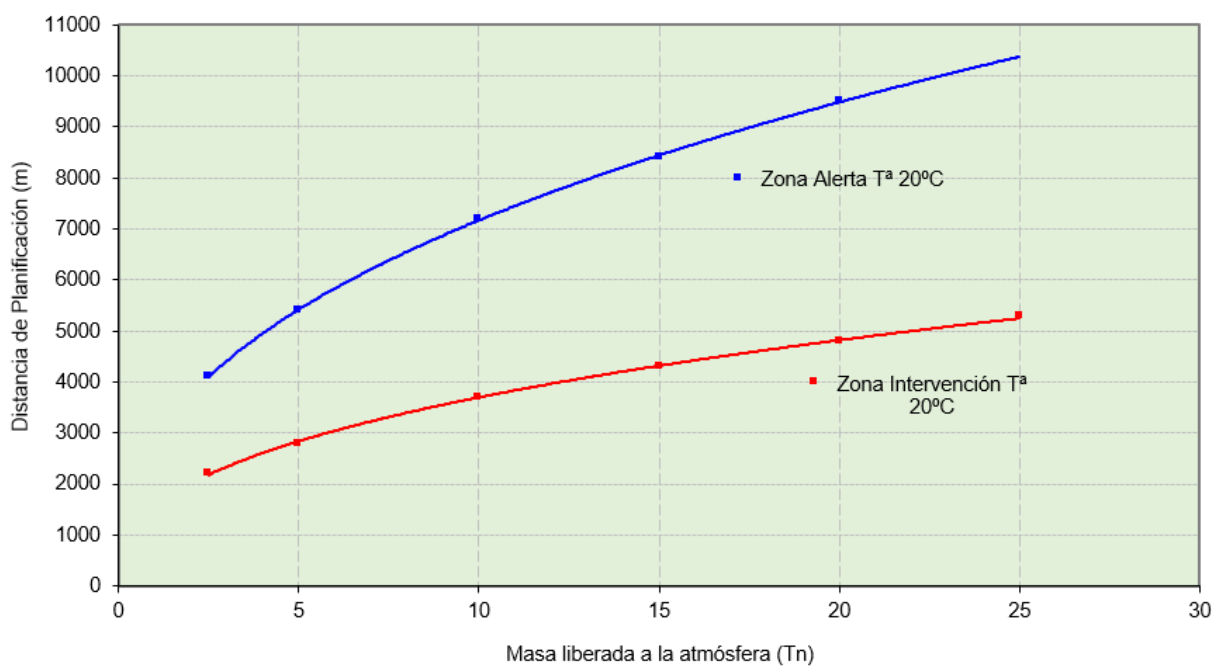
- Rotura por la parte superior: El amoníaco anhidro se transporta en cisternas bajo presión y a temperatura ambiente. Tras producirse la pérdida de contención se origina la fuga de amoníaco en fase gas. Puede tratarse de una nube tóxica continua si el orificio de rotura es pequeño (inferior a 15 cm) o de una nube instantánea si se trata de un orificio de rotura grande (a partir de 15 cm).
- Rotura por la parte inferior: Si la rotura tiene lugar en la zona inferior se produce una emisión y vertido al suelo de amoníaco, pero al impactar sobre el terreno tendrá lugar su evaporación de forma prácticamente instantánea.

Como la evolución de la nube tóxica y su forma de dispersión van a depender de diversos parámetros, se ha utilizado el programa de cálculo ALOHA 5.4.1 para poder estimar unas distancias de planificación. Las propiedades peligrosas más significativas de dicha sustancia para el cálculo son el punto de ebullición (-33 °C), punto de congelación (-77.7 °C), AEGL-1(60 min): 30 ppm, AEGL-2(60 min):160 ppm, AEGL-3(60 min):1.100 ppm e IDLH: 300 ppm.

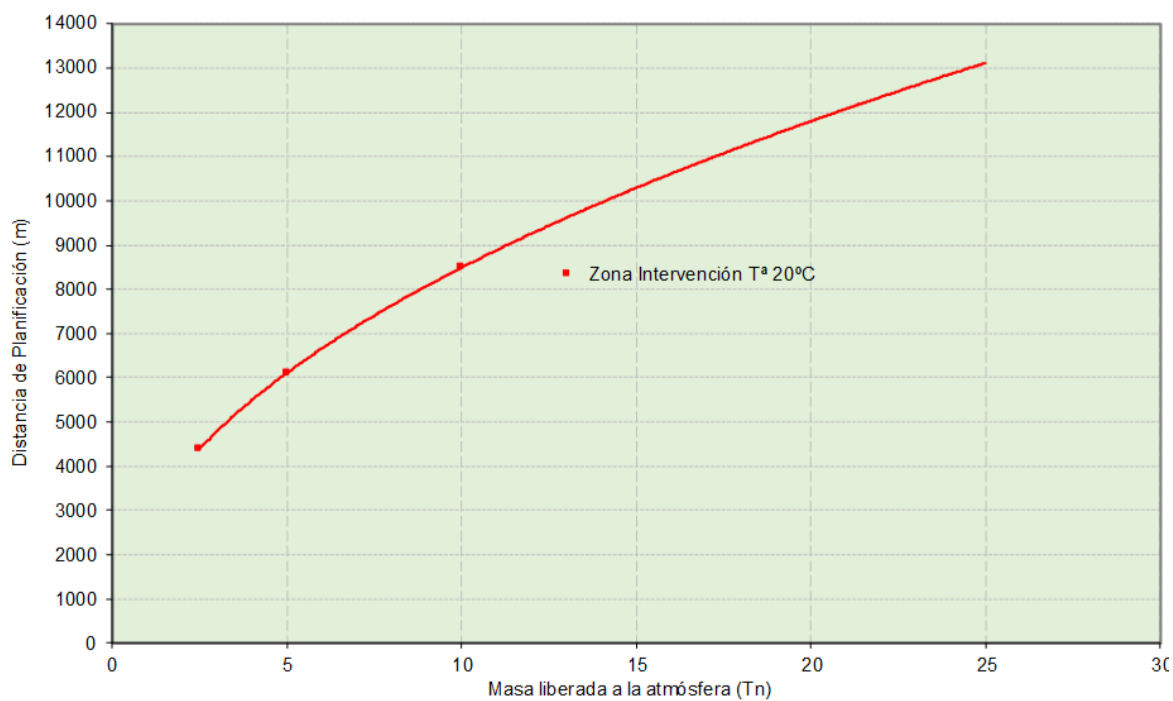
Como condiciones de estabilidad atmosférica se ha considerado un viento moderado de 1,5 m/s, cielo parcialmente cubierto y humedad relativa del 70%, tanto de día como de noche; si bien durante el día se ha considerado una estabilidad tipo D y tipo F para la noche según *Pasquill*⁴⁶.

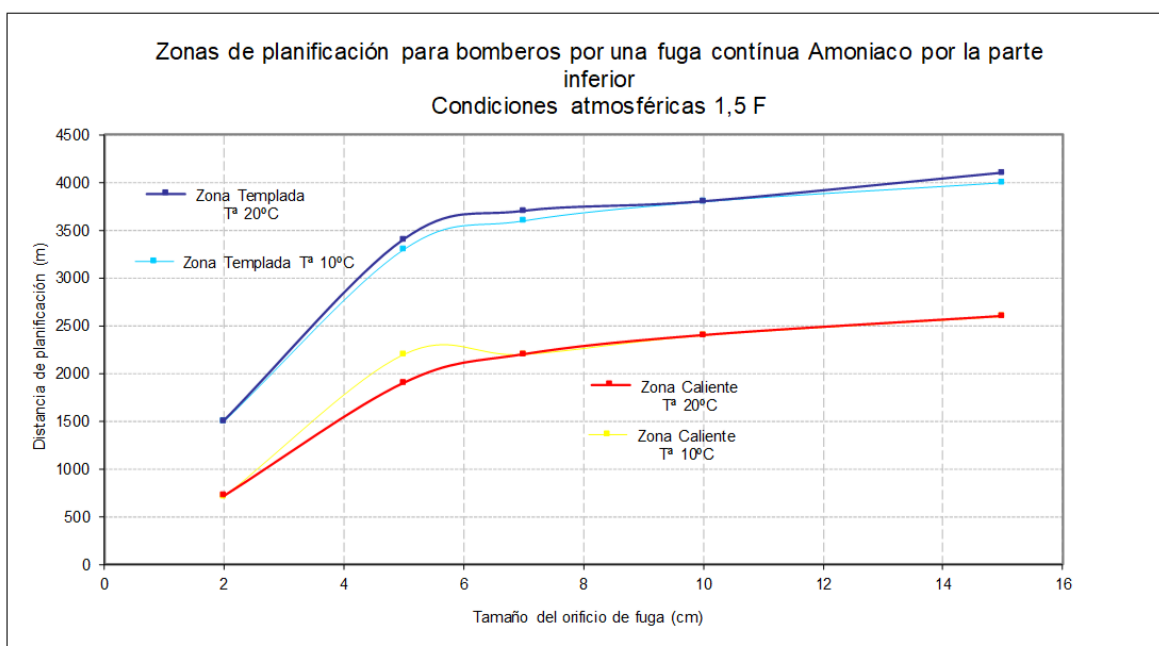
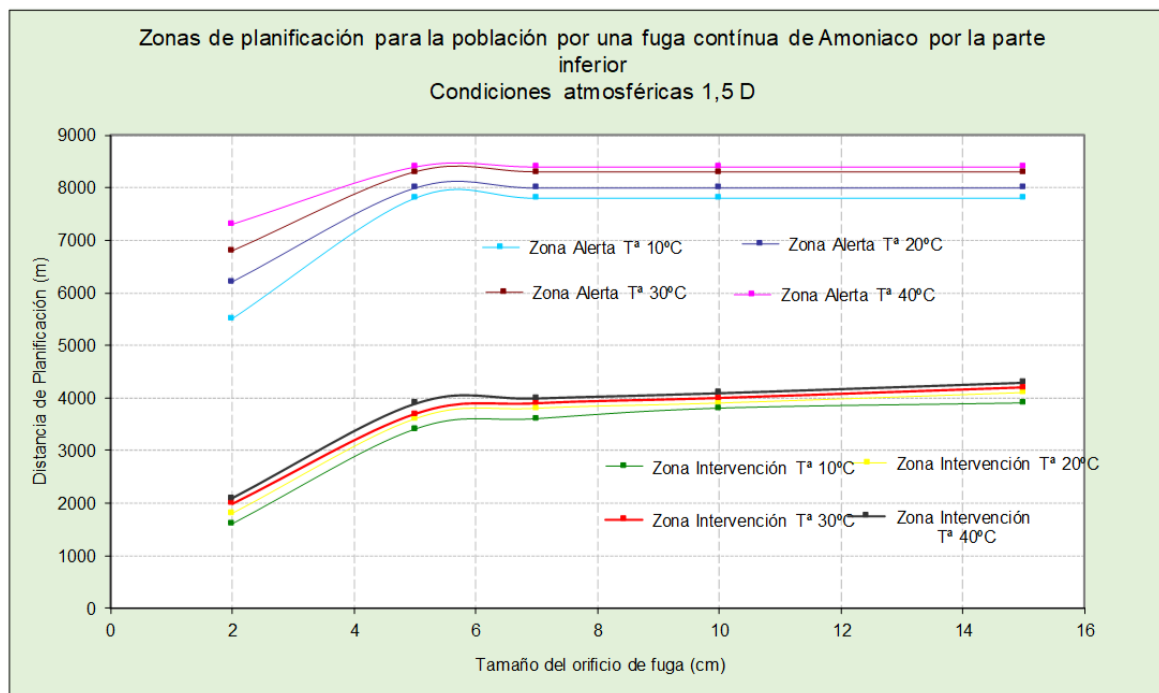
⁴⁶ NTP 329: Modelos de dispersión de gases y/o vapores en la atmósfera: fuentes puntuales continuas

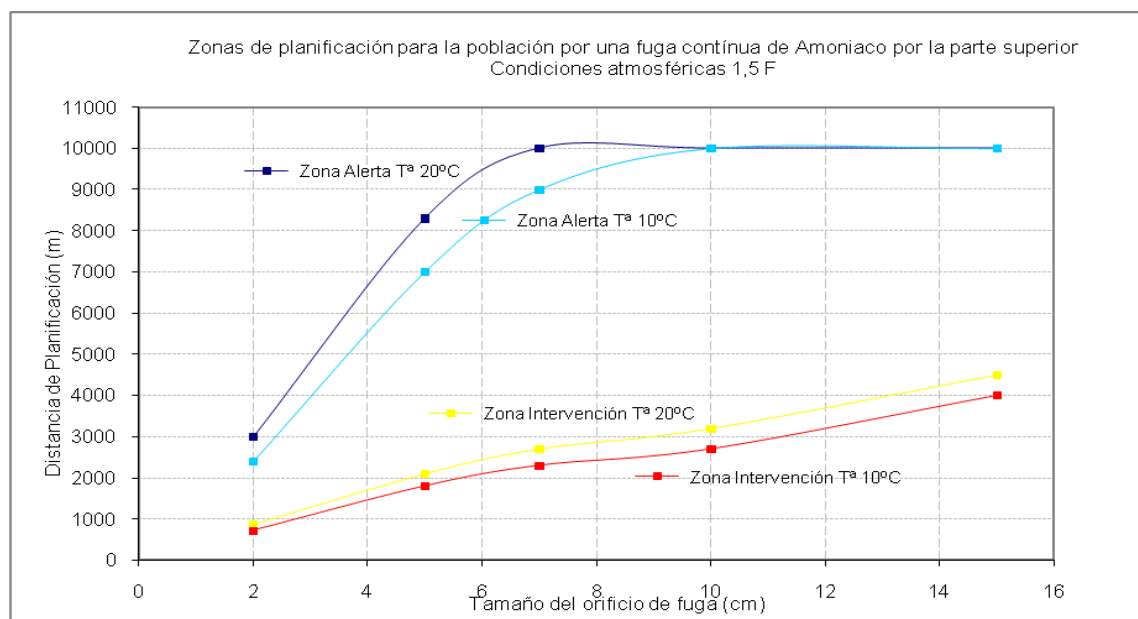
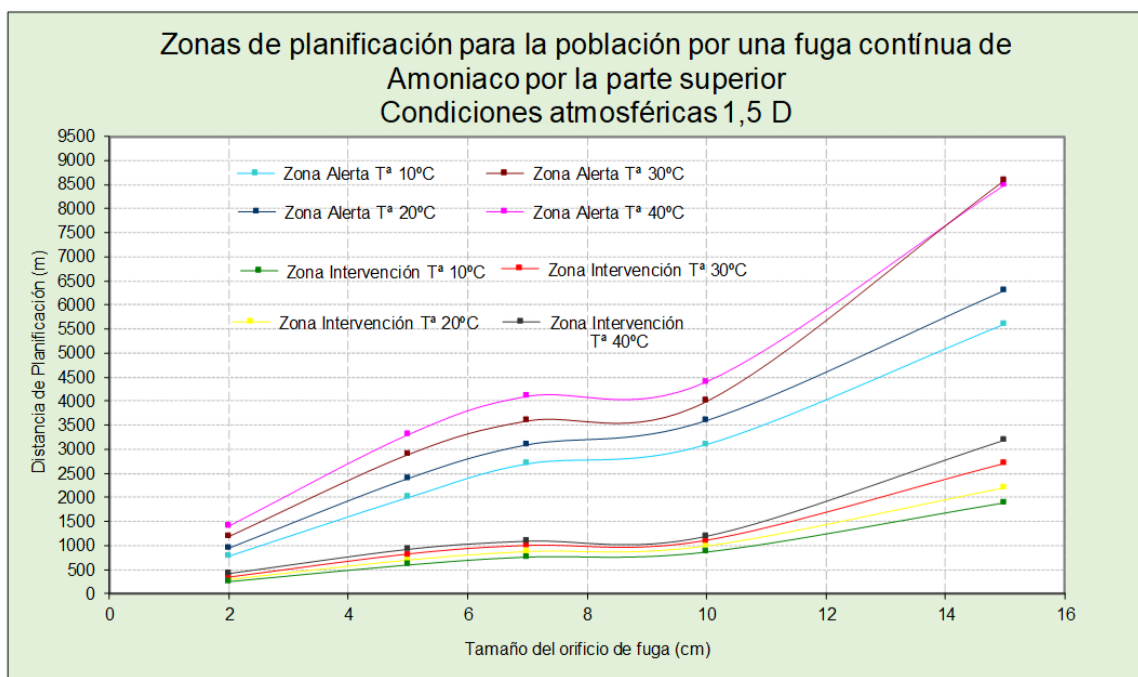
Zonas de planificación para la población por una fuga tóxica instantánea de Amoniac
Condiciones atmosféricas 1,5 D



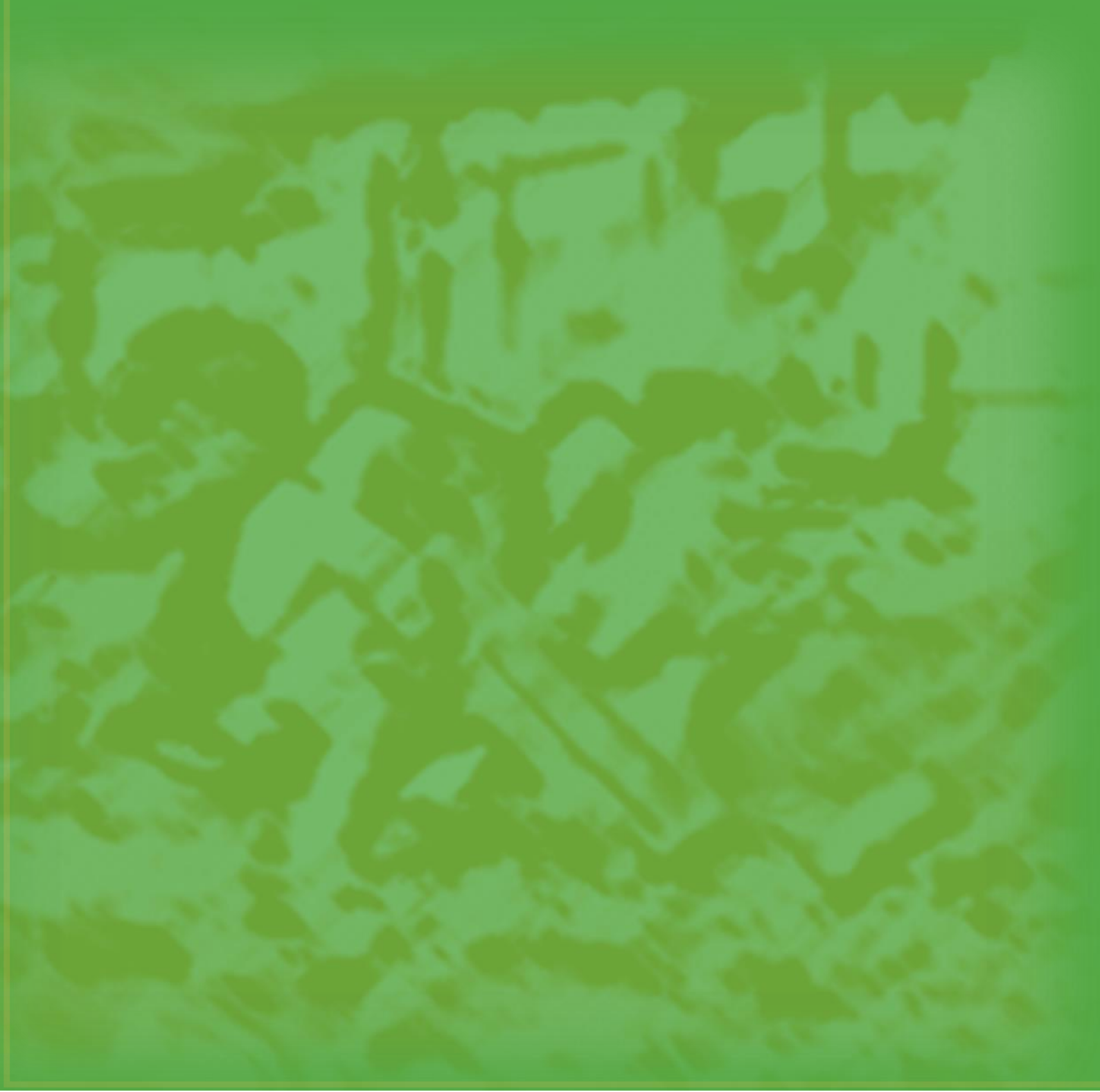
Zonas de planificación para la población por una fuga tóxica instantánea de Amoniac
Condiciones atmosféricas 1,5 F







10 TÉCNICAS DE INTERVENCIÓN CON AMONIACO



10. TÉCNICAS DE INTERVENCIÓN CON AMONIACO.

Como en cualquier otra intervención química, lo primero que tenemos que conocer es el agente químico con el que se está trabajando para poder establecer las medidas de seguridad y operativas necesarias.

El amoniaco anhidro es una sustancia tóxica y corrosiva que puede provocar graves quemaduras en la piel, ojos y pulmones, incrementando el efecto corrosivo cuanto mayor sea el grado de humedad debido a la gran afinidad que tiene por el agua. Va a absorber rápidamente la humedad que haya presente en el ambiente formando una nube de color blanco, densa y visible que se desplaza a ras de suelo en días frescos.

Como hemos comentado con anterioridad, aunque la nube de amoniaco no sea visible, la detección es sencilla y rápida debido al bajo umbral de olor que presenta, por lo que una vez detectada su presencia lo importante es conocer la concentración en el aire para establecer las zonas de planificación y seguridad y el nivel de protección adecuado para el personal. Como sistemas de detección para poder evaluar y decidir las zonas de seguridad y el grado de protección, podemos utilizar cualquiera de los métodos que se comentaron en capítulos anteriores.

Las distancias de seguridad ya han sido abordadas en el capítulo anterior y van a estar directamente relacionadas con el tipo de incidente que tengamos y la cantidad de producto involucrado; por tanto, aquí vamos a hacer mención a la protección personal necesaria y a posibles técnicas de intervención para controlar o minimizar el problema.

Las guías de respuesta a emergencia nos dan valores de zonas de planificación que sirven como referencias útiles, pero lo más acertado sería hacer una medición continua alrededor del siniestro y, de acuerdo con los valores obtenidos, fijar las zonas de seguridad. En la práctica esto se torna bastante complicado debido a la escasez de equipos, personal, tiempo, etc., pero también resulta complicado la determinación de un criterio claro de qué valores tomar para establecer cada una de estas zonas. Para protección a la población se pueden tomar los valores referenciados por la Dirección General de Emergencias y Protección Civil, pero ¿y para los grupos de intervención?. En estos casos se pueden plantear varias posibilidades, pero es cada Servicio el que debe tomar la decisión adecuada en su procedimiento de trabajo.

- Z. caliente: Valor de IPVS/IDLH → Z. Templada: valor de AEGL-3.
- Z. caliente: Valor de VLA-EC → Valor de VLA-ED.
- El límite de la ZC/ZT no podrá establecerse allí donde se obtengan valores por detección superiores al AEGL-2 60 minutos; en el caso del amoniaco 160ppm; haciendo coincidir este valor con la primera alarma de la célula de detección si se cuenta con ella.

No obstante, no debemos olvidar que el amoniaco presenta un riesgo de inflamabilidad y se almacena a presión por lo que, aunque no exista fuga, si sobre el recipiente incide una fuente de calor se debe considerar la posibilidad de explosión y la generación de BLEVE con proyección de fragmentos, para lo que se deberá considerar los radios de protección mencionados en capítulos anteriores.

10.1. Protección Personal

Ya se ha comentado que el principal problema del amoniaco para la salud es su toxicidad por inhalación y en este sentido las vías respiratorias van a ser lo primero que debemos proteger; no obstante, no hay que subestimar los daños que puede provocar sobre la piel si está muy húmeda o mojada, ya que es muy hidrosoluble: un exceso de humedad crea una solución alcalina corrosiva.

Partiendo de la base de que los bomberos van a utilizar siempre equipos de respiración autónoma en ambientes con presencia de amoniaco, bien por su concentración o bien por su fuerte olor, no está de más hacer una mención a los filtros de carbón activo para amoniaco; éstos han de usarse únicamente para tareas muy concretas, estudiadas y evaluadas previamente, de manera que se asegure en todo momento que los niveles de concentración son los adecuados para trabajar con estas máscaras.

Centrándonos exclusivamente en la protección respiratoria, si en una intervención nos indica el medidor de gas que la concentración ambiental es de 3.000 ppm y tomamos como valor de referencia de exposición el valor del IPVS (IDLH) del amoniaco para establecer la zona caliente, 300 ppm, un equipo con filtro cuyo factor de protección (FP) sea 50 (mascarilla + filtro químico A,B,... ≤ 2) no será adecuado para trabajar en ese ambiente, pues el valor de concentración hasta la que teóricamente protege es de 50 ppm.

$$\text{Concentración Teórica de Protección (CTP)} = \frac{C_{\text{exterior}}}{FP} = \frac{3000 \text{ ppm}}{50} = 60 \text{ ppm.}$$

En este caso habría que requerir el uso del ERA, o el uso de una máscara con filtro cuyo FP sea 2000 (A, B,... ≤ 3) para poder trabajar de manera segura en lo que a la protección respiratoria se refiere. Recordemos que los valores límite ambientales (VLA-ED y VLA-EC) son valores de referencia para las concentraciones de los agentes químicos en el aire y representan condiciones a las cuales se cree, basándose en los conocimientos actuales, que la mayoría de los trabajadores pueden estar expuestos día tras día, durante toda su vida laboral, sin sufrir efectos adversos para su salud.

$$\text{Concentración Teórica de Protección (CTP)} = \frac{C_{\text{exterior}}}{FP} = \frac{3000 \text{ ppm}}{2000} = 1,5 \text{ ppm.}$$

Para el caso concreto del amoniaco, este debe ser un filtro tipo K, pudiendo combinarse otro tipo de filtros como son el tipo B y/o tipo E (polvos).



Filtro Tipo K, 3M



Filtro combinado, Dräger

Debido a que el amoníaco puede producir quemaduras en los ojos, en el caso que se tuviera que utilizar máscara con filtro ésta debe ser una máscara completa que cubra toda la cara y los ojos, no una semimáscara que solamente ofrece protección buconasal.

Respecto a la protección del cuerpo, OSHA⁴⁷ recomienda que se utilice un traje nivel A (tipo 1) cuando los niveles de concentración son desconocidos o son iguales o superiores a la mitad del IPVS ($IPVS/2 = 150 \text{ ppm}$); sin embargo, el amoníaco presenta un peligro por inhalación a 1.000 ppm, no siendo su riesgo principal la absorción por vía cutánea. El amoníaco comienza a afectar a la piel (húmeda) a exposiciones superiores a 10.000 ppm (1%) generando una irritación leve y, a concentraciones superiores a 30.000 ppm (3%) se observa una sensación de escozor. Dicho esto, el tomar el valor del $IPVS/2$ para establecer un límite a partir del cual usar un traje tipo 1 parece bastante conservador, siendo más razonable utilizar este tipo de protección cuando la concentración en el ambiente alcance la mitad del establecido para irritación de la piel o 5.000 ppm, aunque algunos técnicos especialistas en el manejo de amoníaco establecen el límite para el uso de un traje tipo 1 en el rango de 1.000 ppm⁴⁸.

De manera general, en recintos cerrados, confinados, resulta necesario un traje estanco a gases, preferiblemente tipo 1a-ET pues protege al ERA y al resto de equipo de posibles corrosiones; sin embargo, en lugares abiertos al aire libre, si no hay contacto directo con una fuga a chorro líquido de amoníaco, y la concentración es $< 1.000 \text{ ppm}$, podría utilizarse un traje tipo 3 con EPR, preferiblemente encintado en sus partes de unión con el resto de los elementos de protección. La desventaja de utilizar trajes tipo 3 es que parte del equipo (casco, EPR, etc.) se va a deteriorar más, además de tener que realizar una descontaminación más minuciosa del equipo antes de su retirada. Si no se observa nube de amoníaco, pero se detecta su presencia por el olor, a concentraciones menores a 1.000 ppm se podría llegar a trabajar con traje estructural y protección respiratoria, procurando en estos casos entrar a la zona de riesgo a favor de viento y si es posible favorecer la dispersión del gas/vapor mediante el uso de ventiladores portátiles.

A continuación, se muestra una tabla con algunos trajes de protección frente a amoníaco que existen en el mercado y su grado de protección en función de la permeación del material con el que están contruidos.

⁴⁷ OSHA 10/91

⁴⁸ RAE Systems by Honeywel - Application Note AP-20

Marca	Modelo		Tiempo de permeación	Norma
Dupont	Tychem TK		> 480 min	BT 0.1 Tiempo de permeación normalizado a 0,1 µg/cm²/min
Trelleborg	Trellchem HPS, VPS, TLU, TS		> 480 min	BT 0.1 Tiempo de permeación normalizado a 0,1 µg/cm²/min
MSA	Champion Elite		> 480 min	BT 0.1 Tiempo de permeación normalizado a 0,1 µg/cm²/min
Dräger	CPS 7800, 7900		> 480 min	BT 0.1 Tiempo de permeación normalizado a 0,1 µg/cm²/min

Los trajes tipo 3 presentan relativamente una buena protección frente al amoniaco gas, teniendo en cuenta que estos trajes no son estancos a gases y por tanto su protección se refiere únicamente al tejido con el que están contruidos, debiendo implementar su protección con ERA, guantes, botas y encintado adicional.

Marca	Modelo		Tiempo de permeación	Norma
Dupont	Tychem F		79 min	BT 0.1 Tiempo de permeación normalizado a 0,1 µg/cm²/min
Microgard	Microchem 4000		60 min	BT 0.1 Tiempo de permeación normalizado a 0,1 µg/cm²/min

Si el amoniaco se encuentra almacenado o transportado de manera refrigerada sería necesaria una protección adicional para frío si se tiene que entrar en contacto con el producto, pues este se almacena a temperaturas próximas a los -70°C .

10.2. Técnicas de intervención con amoniaco.

En función de la situación, recursos, conocimientos técnicos, tiempo, etc., podremos optar por desarrollar técnicas defensivas u ofensivas sobre el contenido (amoniaco) o sobre el continente (cisterna, botella, bidón, etc.).

10.2.1. Actuaciones sobre el contenido.

Nos referimos en este apartado a todas aquellas acciones que se pueden desarrollar sobre el propio producto una vez ha salido del recipiente donde estaba almacenado, y siempre bajo una perspectiva de un Servicio de emergencias.

10.2.1.1. Dilución con agua.

Aunque la dilución es una técnica muy efectiva en numerosas situaciones de descontaminación, puede no ser siempre la mejor opción en caso de una fuga de gas. En la gran mayoría de los casos la aplicación de agua pulverizada puede llevar a situaciones más seguras; valga como ejemplo una zona habitada en la que se produce una fuga de amoniaco y no es posible la evacuación, entonces el confinamiento y la dispersión con agua puede ser una opción para considerar. Si la misma fuga se produce en una zona deshabitada, donde no hay peligro para la vida, no sería necesario la dilución y dispersión con agua, dejando que los gases se diluyan por sí solos en el ambiente; la salvedad la encontramos cuando sea fruto de una técnica defensiva mientras se realiza alguna otra operación de cierre de válvulas, taponamiento, etc.



Pulverización de agua en fuga de amoniaco
Fuente: M.Albaladejo

Como ya se ha dicho, el amoniaco es muy soluble en agua; de hecho, un volumen de agua absorbe 1.300 volúmenes de amoniaco vapor, por lo que a priori puede parecer un buen método de mitigación; sin embargo, la adición de agua al amoniaco anhidro genera una solución alcalina de hidróxido de amonio muy corrosiva que puede producir quemaduras y que en muchas ocasiones es peor que dejar liberar el amoniaco a la atmósfera. La dilución se puede conseguir por medio de proyecciones de agua pulverizada, de forma que las finas gotas de agua se mezclen con el amoniaco vapor favoreciendo a su vez la entrada de aire en la mezcla; pero en ningún caso se debe proyectar agua directamente sobre

amoníaco líquido, pues ocasionaría una reacción violenta de ebullición y generaría todavía más vapores.

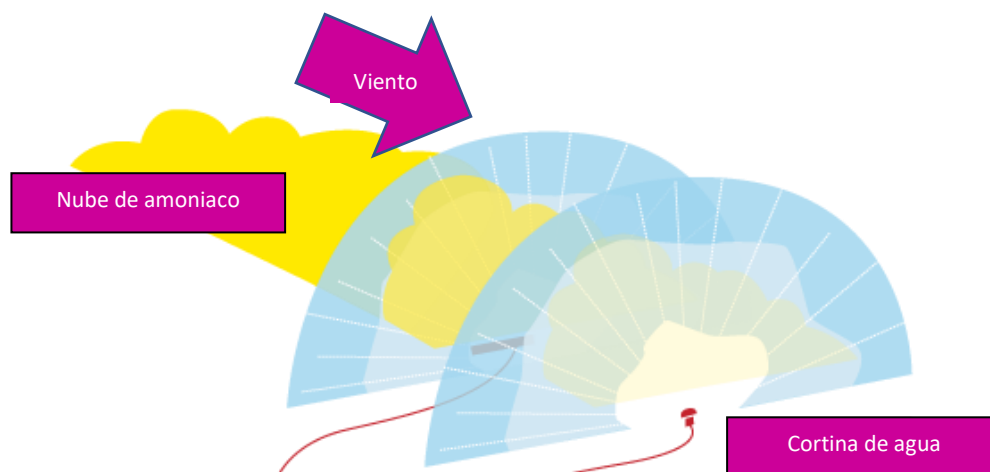


Nunca proyectar agua directamente sobre el amoníaco líquido

Si esta disolución alcalina que se genera durante la pulverización llega a algún cauce de agua, como ríos o lagos, puede ocasionar un importante impacto medioambiental. El adoptar esta medida de control va a depender de la situación concreta, del lugar y de la cantidad de amoníaco fugado.

10.2.1.2. Cortinas de agua.

El empleo de acortinadores como medida de control está enfocada a evitar una dispersión y avance de la nube hacia lugares más lejanos. La posición en la que se coloquen los acortinadores y el caudal de agua empleado van a influir de manera considerable en el efecto deseado de impedir la dispersión y el movimiento de la nube de vapor. Para optimizar el rendimiento de las cortinas es conveniente que éstas se proyecten de manera vertical y a una distancia razonablemente cerca del foco, mejorando su efectividad si se colocan varias cortinas en serie según la dirección de la fuga. Se trata de una medida defensiva mientras se evalúa la situación y se adoptan otra serie de acciones de control o mitigación.



Fuga de amoníaco en espacio abierto (arriba) y misma foto con cortina de protección de agua (abajo).
Fuente: Kernhannes

10.2.1.3. Supresión de vapor.

El amoníaco es completamente miscible en agua, y en esa reacción de disolución se desprende calor (exotérmica). Debido a ese aumento de temperatura en la reacción de disolución, aplicar agua sobre un derrame de amoníaco generará más cantidad de vapores, por lo que para minimizar esto se puede utilizar espuma de alta expansión (bajo contenido de agua y una alta proporción de aire). En cambio, el uso de espumas de media o baja expansión, más que reducir la emisión de vapores, van a producir una mayor disolución.

En el caso de que la fuga sea de amoníaco líquido refrigerado se debe contener y estabilizar mediante la creación de diques de contención o balsas. Esto permitirá que el charco formado de amoníaco líquido permanezca estático y se enfríe gradualmente a medida que el suelo y el dique que lo contiene actúen como una barrera frente a la transferencia de calor. Si la fuga líquida no se contiene, esta no se estabilizará y continuará evaporándose de manera más rápida a medida que absorba calor de la superficie del suelo. Si el charco no es de grandes dimensiones y es estático, se puede utilizar una lona para cubrir el derrame. Para realizar esta maniobra, el equipo de intervención se debe acercar con la protección adecuada en la misma dirección del viento y sin entrar en contacto con el amoníaco líquido para tratar de cubrir el derrame.

10.2.1.4. Venteo/dispersión.

Una vez se ha producido una fuga de amoníaco y no hay forma alguna de contener/confinar estos gases, se puede optar por la dispersión de los gases y su dilución en el aire de la atmósfera haciendo uso de una ventilación forzada que introduzca aire en la masa gaseosa. En caso de que la fuga sea al aire libre los volúmenes de trabajo son muy grandes, por lo que convendría poner los ventiladores lo más cerca posible del foco.



Fuente: www.wcec.com

No hay que olvidar que el amoníaco es explosivo en ciertos rangos; y aunque en entornos al aire libre es difícil su inflamación, se recomienda el uso de electroventiladores ATEX que minimicen cualquier posible foco de ignición mejor que ventiladores de motor de explosión.

La dispersión del vapor también se consigue mediante la proyección de agua pulverizada, pues se crea un efecto de arrastre del aire hacia el interior de la nube de gas creando un movimiento turbulento que ayuda a la dilución; a este efecto de dilución del amoníaco en

el aire se suma además la dilución del amoniaco en agua y la creación de una solución amoniacal corrosiva.

10.2.1.5. Colocación de barreras.

Colocar un obstáculo rígido de dimensiones considerables, a modo de barrera, a pocos metros en la dirección de la dispersión de la nube puede llegar a reducir considerablemente⁴⁹ los valores de concentración de gas tóxico al otro lado del obstáculo, evitando también la dispersión del vapor.



Fuente: GCAP- Garden City Ammonia Program

⁴⁹ Rémy BOUET, Stéphane DUPLANTIER, Olivier SALVI

10.2.1.6. Relicuaación.

La, mal llamada, relicuaación es una acción de mitigación a tener en cuenta para ciertos gases licuados. Consiste en reconducir una fuga en fase líquida hacia un recipiente abierto que sea compatible con la sustancia. Al estar confinado, el producto se va evaporando más lentamente que si lo hiciera sobre una superficie más amplia. Esta es una solución “a medias” y solamente se aconseja en el caso de gases tóxicos que no presenten riesgo de inflamabilidad, como el cloro. Como hemos visto anteriormente el amoniaco no es técnicamente inflamable, pero puede deflagrar; es por ello que no conviene exponer al personal a esta técnica con un riesgo poco probable, pero importante.

10.2.1.7. Absorción.

Aprovechando la alta solubilidad que tiene el amoniaco en agua, una técnica de control de la fuga de amoniaco gas desde un recipiente (botella, bidón, etc.), es dirigir directamente la fuga mediante alguna manguera o conducto de material compatible hasta un gran recipiente relleno de agua. El amoniaco gas se absorberá creando una disolución corrosiva que permanecerá en el recipiente y que posteriormente habrá de ser tratado como un residuo peligroso. Al no tener que añadir ningún tipo de agente neutralizante, en el momento que las concentraciones de amoniaco sean elevadas porque la disolución se encuentra saturada de amoniaco, se puede cambiar y colocar un nuevo recipiente. Es algo similar a lo que realiza un scrubber de lavado de gases.

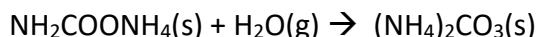
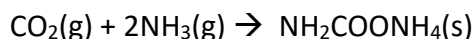
El producto generado es una solución corrosiva que se ha de tratar como material y residuo contaminado por alguna empresa especializada.

10.2.1.8. Neutralización.

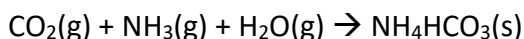
En el caso de producirse una fuga de amoniaco en un recinto confinado, se debe monitorizar primero el lugar para **comprobar que los valores de concentración de amoniaco no se encuentran dentro del rango de inflamabilidad**; a continuación, y en el caso que la ventilación sea complicada, el empleo CO_2 sobre la mezcla de aire-amoniaco donde se ha producido la fuga va a producir una reacción entre el dióxido de carbono y el amoniaco que genera unas sales de amonio: bicarbonato de amonio, NH_4HCO_3 , y carbonato de amonio, $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$. Aunque el CO_2 es una molécula muy estable, su combinación con el amoniaco es posible para generar estos productos. La proyección del CO_2 se puede hacer desde cualquier botella de gas como las utilizadas para la industria alimentaria o de bebidas, aunque lo más común en nuestro caso es mediante extintores de CO_2 .



Aunque las reacciones^{50 51} entre el $\text{NH}_3(\text{g})$ y el $\text{CO}_2(\text{g})$ pueden tener como resultado varios productos en función de las concentraciones existentes, la humedad, etc.; a presión y temperatura ambiente, la reacción principal irá encaminada a la formación de carbamato de amonio, $\text{NH}_2\text{COONH}_4$, que al ser muy soluble en agua rápidamente se transforma en carbonato de amonio. La presencia de humedad (agua) es necesaria para favorecer la formación del ion amonio y que la reacción se dirija hacia los productos deseados.



La formación de bicarbonato de amonio también estará favorecida con la presencia de humedad o agua en el ambiente.



Para que estas reacciones, y por tanto la neutralización, sean más efectivas, es conveniente la presencia de agua o humedad, de forma que cuanto mayor sea esta mejor será el rendimiento.

No debemos olvidar que el CO_2 es ligeramente ácido y lo que se está produciendo no es más que una reacción ácido-base con la formación de una sal. Este mismo proceso, pero en sentido inverso, es utilizado también con otros fines medioambientales para minimizar el efecto invernadero producido por la generación de CO_2 .

10.2.2. Actuaciones sobre el continente.

Las primeras actuaciones para llevar a cabo sobre el continente deben ser las más sencillas y las que supongan una mínima o nula exposición al personal, como el apriete de alguna válvula o junta, el cierre de llaves de paso, etc., aunque en ocasiones para poder llevar a cabo estas acciones hay que acompañarlas de otra serie de medidas como las que se comentan a continuación.

10.2.2.1. Enfriamiento.

En el caso que se esté produciendo una fuga desde un recipiente que está expuesto al fuego (botella, bidón, cisterna, etc.), el enfriarlo con agua pulverizada sobre la superficie del propio recipiente (no sobre el punto de fuga) es una buena manera de reducir la temperatura del interior del depósito y por tanto reducir también su presión, produciendo como consecuencia un retraso en la emisión de vapores. Esta técnica no va a cortar la fuga pero sí hacer ganar tiempo mientras se decide realizar alguna otra acción ofensiva o defensiva.

⁵⁰ Anal. Chem. 2005, 77 5947-5952

⁵¹ Incident Case Study 121907V "Ammonia Refrigeration incident case study" 19/12/2007, Mid-Central, USA

Si no hay fuego que incida sobre el recipiente, la aplicación de agua sobre el mismo aumentará la vaporización del amoniaco licuado. Hay que tener en cuenta que cuando se produce la fuga la presión en el interior del recipiente cae hasta la presión atmosférica y entonces la temperatura del amoniaco se sitúa en su punto de ebullición (-33°C).

10.2.2.2 Cubrición.

Si las dimensiones del recipiente y el tipo de fuga lo permiten, una forma de minimizar la fuga puede ser cubrir el recipiente con una lona de forma que, además de poner una barrera física que impida la dispersión de gas, se produzca también un enfriamiento del recipiente y una disminución de la presión debido al amoniaco más frío que se queda retenido entre el recipiente y la lona. Es aconsejable que esta medida vaya acompañada de la instalación de ventiladores que favorezcan la dispersión de vapores a medida que los bomberos se aproximan al recipiente a cubrirlo.



Cubrición de un depósito presurizado de amoniaco anhidro fugando en fase gas. TRANSCAER

10.2.2.3. Taponamiento.



El taponamiento es muchas veces el sistema más rápido y eficiente para detener por completo una fuga o derrame que no ha podido ser obturado por el cierre de válvulas, llaves de paso, etc. En este caso se han de utilizar siempre materiales y elementos compatibles para trabajar con amoniaco y que sean capaces de resistir la

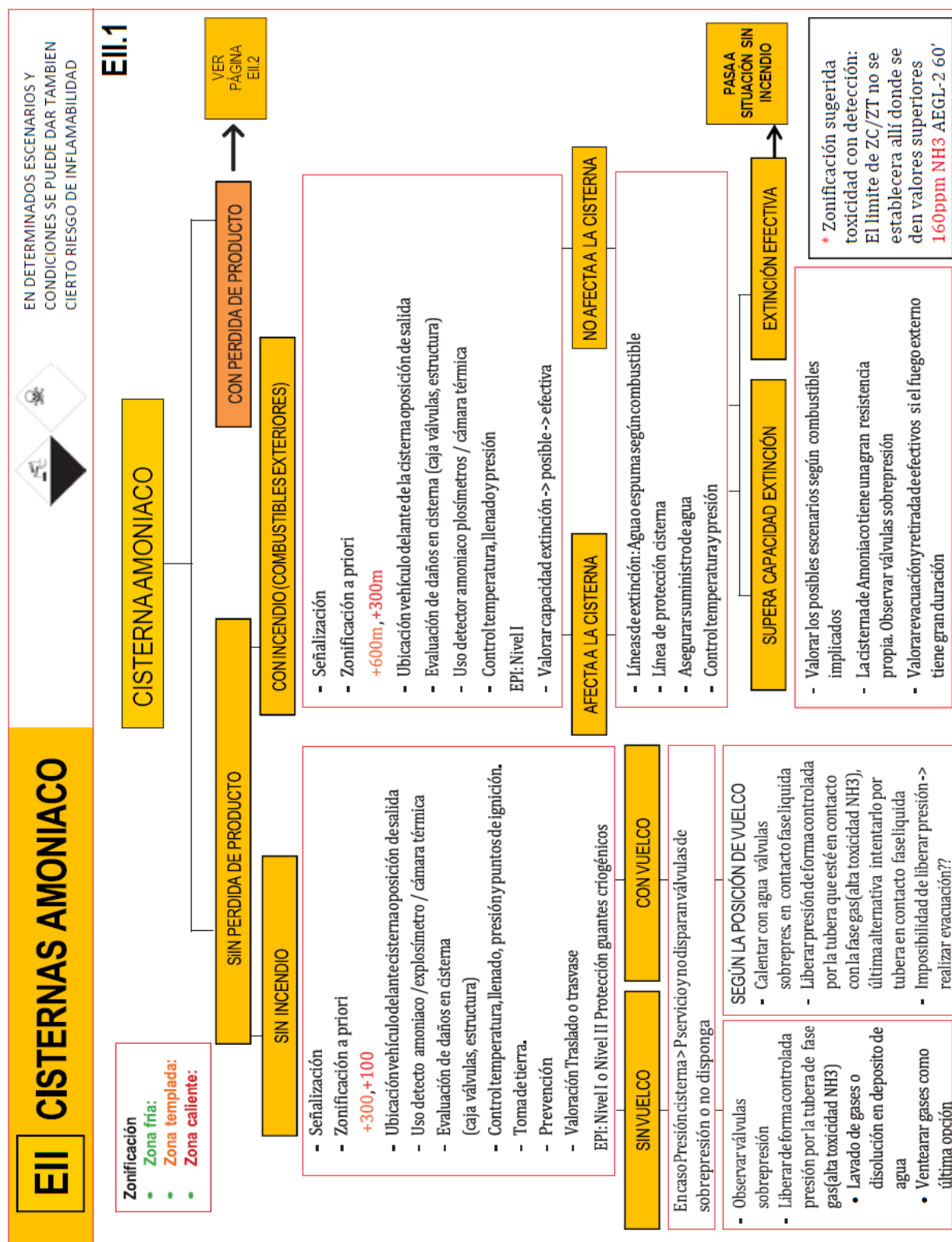
presión de fuga. En el mercado existen diferentes opciones que deben ser estudiadas y evaluadas, pues se trata de un gas corrosivo almacenado a presión. En el caso que se utilicen cuñas deben siempre asegurarse para que no sean “escupidas” por la presión de almacenamiento y nunca utilizar cuñas de cobre.

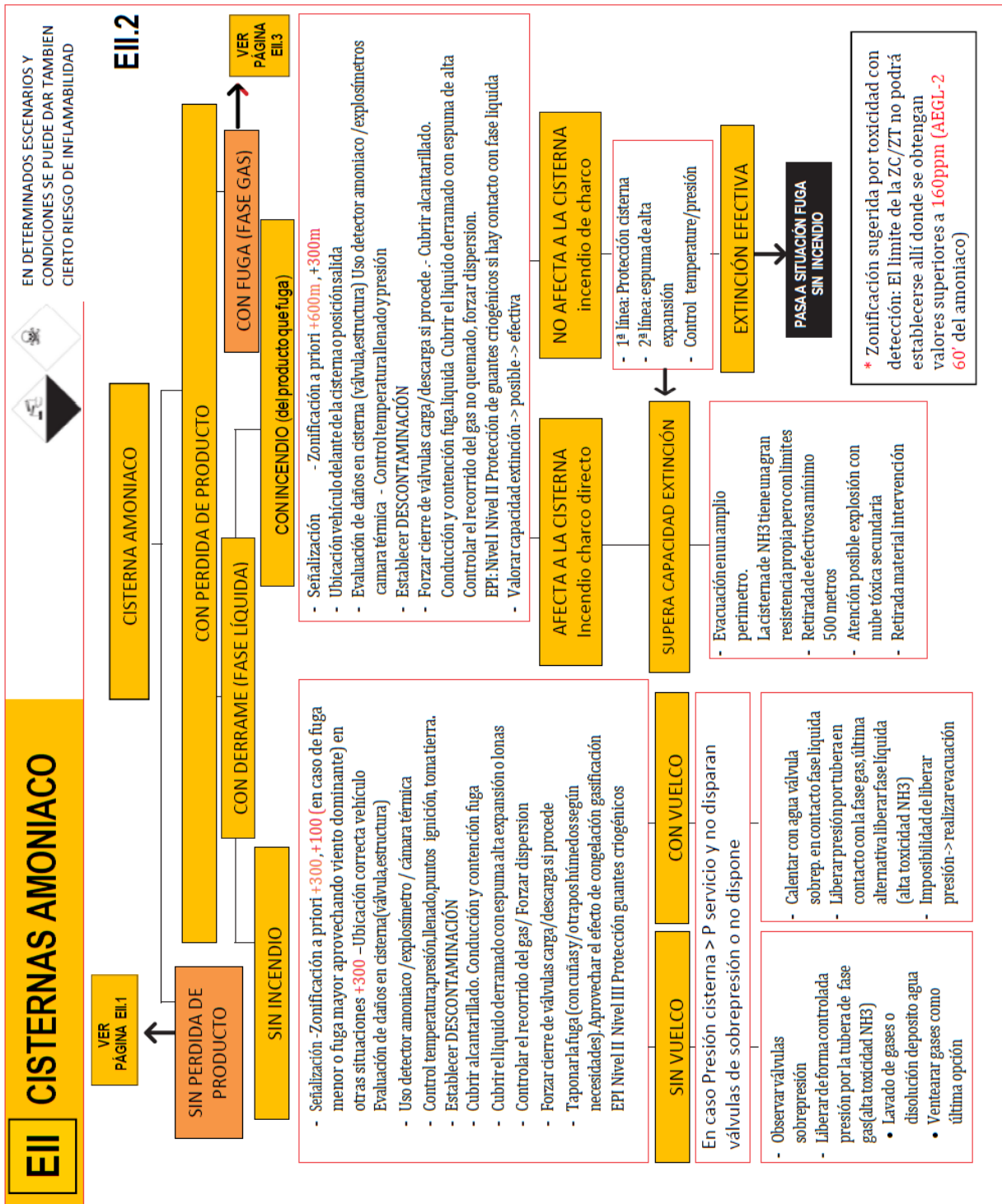
De manera similar a como sucede con el cloro, hay disponible un kit de emergencia para trabajar sobre botellas de amoniaco, tanto en el reapriete de elementos de la válvula,

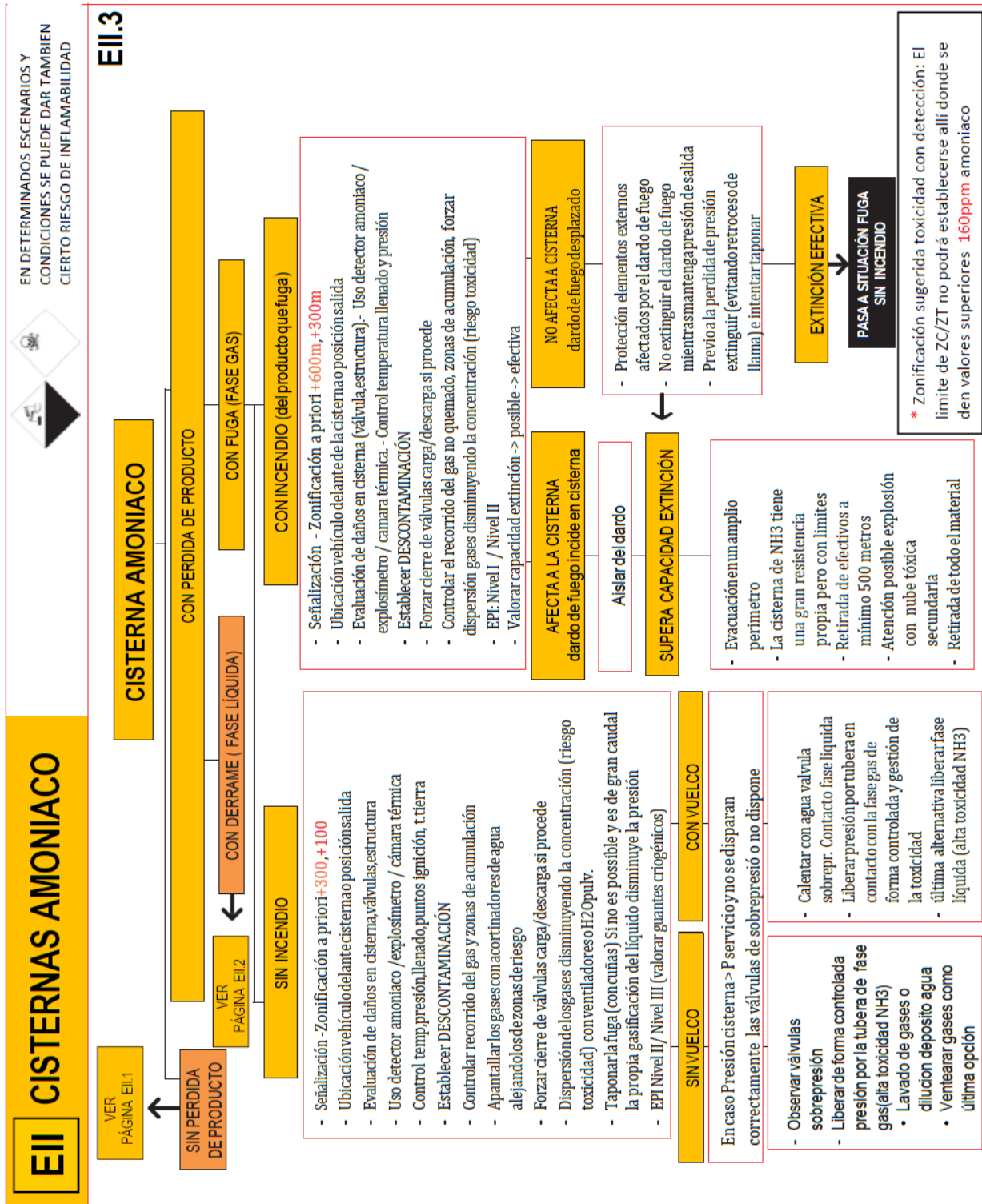
taponamiento de fugas sobre el cuerpo de la botella e incluso el trasvase del producto por deterioro de la válvula hacia otro recipiente de almacenamiento o dilución.

10.2.3. Actuaciones generales sobre cisternas.

En la *Guía Operativa de intervención con cisternas de mercancías peligrosas* se describen las operaciones a realizar sobre diferentes tipos de cisternas: GNL, GLP, grandes tóxicos etc., describiendo la situación, tipo de válvulas y características de las cisternas que portan este tipo de gases, así como las actuaciones a llevar a cabo en caso de fuga de producto. En la siguiente ficha EII.1. se muestran las acciones a llevar a cabo de manera específica para cisternas de amonaco:







10.2.3.1. *Trasvase.*

Normalmente el trasvase se plantea en las circunstancias siguientes:

- La cisterna está volcada. Por el riesgo de rotura del depósito durante el levantamiento, conviene reducir tanto como se pueda la cantidad de producto (peso) dentro de él.
- La cisterna está volcada en condiciones de difícil maniobra para las grúas (distancia respecto emplazamiento).
- La cisterna no está volcada, pero su estado tras un accidente hace poco seguro y desaconsejable arrastrarla o transportarla sobre una góndola sin vaciarla.
- La cisterna no está volcada, pero se desea trasladarla directamente al taller y es preciso vaciarla antes.

La necesidad de trasvase de cisternas de amoniaco es en muchos casos cuestionable, pues la gran resistencia mecánica del depósito (por el grosor de las virolas de acero al carbono), hace que en una mayoría de casos el levantamiento de una cisterna volcada pueda realizarse con garantías de seguridad (integridad del depósito). Por otro lado, si no hay vuelco difícilmente habrá daños suficientes que aconsejen el vaciado antes de movilizar la cisterna. Otro factor restrictivo muy importante a tener en cuenta es el alto riesgo de toxicidad del producto a trasvasar.

El trasvase de cisternas de amoniaco no será posible en caso de:

- Daños graves en las válvulas de fondo, que impidan su apertura.
- Fuga de la cisterna accidentada, por el riesgo que entraña sobre el entorno de intervención. Una vez controlada la fuga se valorará la conveniencia del trasvase.

El trasvase de gases licuados, por el riesgo que entraña y por la necesidad de equipamiento específico, tiene que realizarlo el transportista o el equipo de intervención en quien delegue. Aun así, los bomberos tenemos que poseer el conocimiento necesario para evaluar, dar el visto bueno y coordinar las maniobras que el equipo de intervención del transportista quiera llevar a cabo.



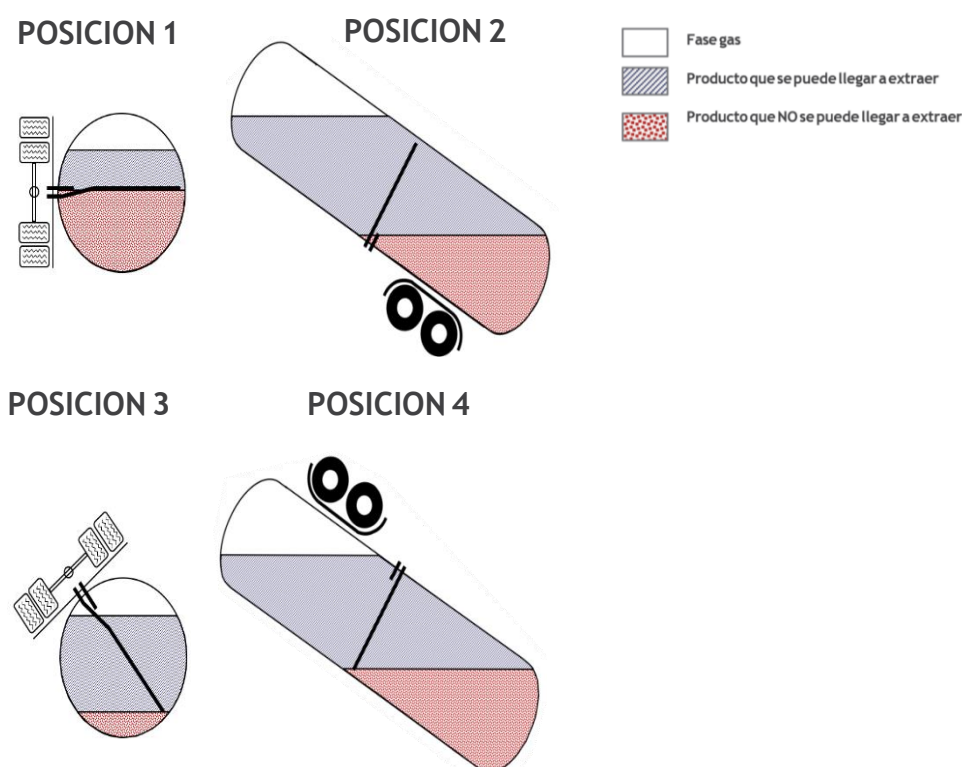
Antes de proceder al inicio de la preparación de la maniobra y a su posterior ejecución, se derivaran ambas cisternas y el equipo de trasvase a tierra.

Uno de los problemas que presenta todo trasvase de gases es la sobrepresión que se genera en la cisterna receptora que, si no se consigue controlar, irá creciendo hasta presiones demasiado altas para que la bomba u otro sistema de impulsión las supere, por lo que el trasvase se detendría. En este caso sería necesario sustituir la cisterna receptora por otra vacía (y despresurizada), circunstancia que alargará y complicará las tareas de

trasvase. La solución es realizar un control de gases de la cisterna receptora, para lo cual se puede:

- Despresurizar la cisterna receptora, dejando abierta la válvula de fase gas mientras se realiza el trasvase. Es imprescindible controlar la seguridad del área exterior donde se dispersa el gas.
- Cerrar el circuito de gases, para que se compensen las presiones (como se detallará más adelante).

La posición de la cisterna accidentada nos indicará la cantidad máxima de producto que podrá extraerse, y qué conducto permitirá extraer mayor cantidad de producto (la fase líquida o la fase gas) de la cisterna accidentada.



De la observación de los esquemas:

- Si hay vuelco, es muy posible que el conducto de fase gas quede sumergido y pase a ser también de fase líquida, con lo que se pierde la comunicación con la fase gas (posiciones 1, 2 y 4). Únicamente en vuelcos próximos a los 180° se mantiene la fase gas (a través del conducto de fase líquida).
- Si hay vuelco de 90° (posición 1) la cantidad de producto que se puede extraer es poca. Este hecho, unido a la cuestionable necesidad del trasvase en cisternas de gran resistencia mecánica como las de amoníaco, plantea dudas sobre la conveniencia del trasvase.

- En las posiciones 3 y 4, será necesario extraer el producto por el conducto de fase gas (sumergido, por lo que en realidad comunica con la fase líquida) para poder vaciar lo más posible la cisterna accidentada. Contrariamente, en las posiciones 1 y 2, la extracción será por el conducto de fase líquida.

En función del mecanismo de impulsión durante el trasvase, se pueden diferenciar los siguientes sistemas:

- a) Traslase por presión propia
- b) Traslase con bomba específica para amoniaco
- c) Traslase con compresor específico para amoniaco
- d) Inyectando en la cisterna accidentada presión de gas inerte (N_2)

Las técnicas de trasvase más adecuadas para el Amoníaco Anhidro son las mismas que las utilizadas con el GLP entendido como Gases Licuados del Petróleo, en particular son muy eficaces la realización del trasvase por medio de bomba y sobre todo con compresores preparados para NH_3 ; pero si no disponemos de estos medios y se ha de realizar un trasvase, podemos utilizar otras técnicas, también utilizadas con el GLP.

En algunos de los trasvases sugeridos a continuación nos vemos en la necesidad de liberar de forma controlada los gases de la fase gas de la cisterna receptora. Para poder hacerlo podemos optar por:

- Lavarlos en un scrubber (con agua contra corriente).
- Disolver este gas amoniaco en un depósito de agua obteniendo hidróxido de amonio también conocido popularmente como agua de amoniaco.
 - Para disolver este gas amoniaco en agua tenemos que colocar la manguera de fase gas dentro de un depósito de agua lo suficientemente grande como para poder en cierto modo neutralizar el NH_3 liberado. Para ello se pueden utilizar depósitos GRG de 1.000 litros de agua u otro tipo de depósitos.
 - La operación se ha de realizar con el depósito receptor de agua abierto para permitir la liberación de la presión del propio venteo. Los gases que salgan del depósito de agua olerán a amoníaco, pero el NH_3 se estará neutralizando, y la maniobra será efectiva hasta que veamos que el agua deja de burbujear; siendo en este momento cuando el agua del depósito se considerará que está saturada, deja de tener capacidad para neutralizar el NH_3 , y tenemos que pasar a utilizar un nuevo depósito de agua en que disolver los gases de amoniaco.
 - Como datos interesantes para realizar esta operación, destacamos que:
 - Para neutralizar un Kg. de NH_3 líquido son necesarios 8 litros de agua.
 - Con 8 litros de agua se pueden neutralizar 169 litros de NH_3 gasificado a 15 °C de temperatura.

- Como ejemplo podemos decir que la capacidad volumétrica de una cisterna de NH_3 es normalmente de 42 m^3 con un coeficiente de llenado del 85 %. Si nos encontramos a una temperatura ambiente de 15°C el NH_3 líquido estará a unos 6,28 bar, por lo que como mínimo necesitaremos 2.112 litros de agua para neutralizar el gas liberado de un trasvase por diferencial de presión. $(42.000 \text{ l.} \times 8,5 \text{ bar}) / 169 \text{ litros}) = 1.560 \text{ litros de agua.}$

Este cálculo nos da una idea de que para trasvasar una cisterna standard se necesitarán unos 2 GRG de 1.000 litros para la operación de tratamiento de gases de despresurización.

- Fórmula de cálculo rápido: $\text{Agua (l.)} = (V \times P) / 169$
Donde V es el Volumen de la cisterna nodriza y P la Presión de la cisterna accidentada.

A continuación, exponemos distintos sistemas de trasvase según el mecanismo de impulsión utilizado y especificación de su validez en el caso de que la cisterna accidentada se encuentre volcada.

Trasvase por presión propia.

El trasvase por presión propia es el sistema más sencillo, aunque también el más lento. En condiciones normales, y con independencia del nivel de llenado de la cisterna accidentada, la presión en el interior del depósito será al menos el valor de la presión de vapor para la temperatura ambiente (ejemplo: para el amoniaco a 25°C , la presión es ligeramente superior a 8'5 bar), y este valor se mantendrá casi constante (aunque ligeramente a la baja) durante todo el proceso de trasvase.

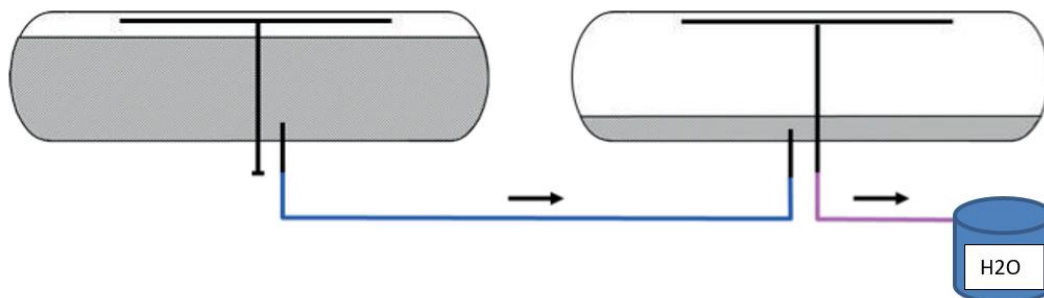
Para que el flujo de producto desde la cisterna llena a la vacía se mantenga a lo largo del tiempo es imprescindible que la cisterna receptora no acumule presión. Para ello es necesario:

- La cisterna receptora tiene que estar despresurizada. En caso contrario, despresurizarla in situ antes de iniciar las operaciones de trasvase será complicado y requerirá tratar los gases por dilución en agua o lavado en scrubber.
- Mantener despresurizada la cisterna receptora, dejando abierta la válvula de fase gas mientras se realiza el trasvase. Es imprescindible controlar la seguridad del área exterior donde se dispersa el gas.

Cuanto mayor sea la diferencia de presiones entre ambas cisternas, mayor será el caudal de trasiego.

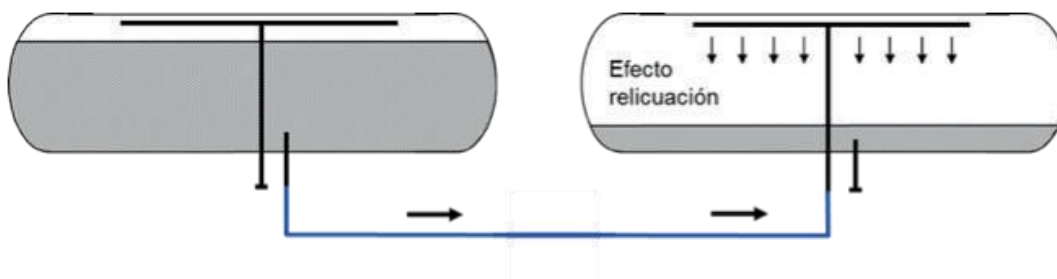
Cisterna accidentada sobre sus ruedas (0°)

Montaje 1.-



Montaje 2.-

Puesto que es muy desaconsejable liberar los gases al aire (por el riesgo que comporta su toxicidad: entornos urbanos...), se pueden plantear el montaje 2, para el control de la presión de la cisterna receptora:



El producto se introduce en la cisterna receptora por el conducto de la fase gas y no por el de la fase líquida. El conducto de fase gas acostumbra a acabar en un terminal tipo ducha o simplemente un deflector, que en ambos casos tiene por objeto pulverizar la entrada de líquido a la cisterna: el producto “llueve”, una pequeña parte se expande y se evapora, con el cambio de estado roba calor del entorno y refrigera la fase gas, re licuándola en parte. El resultado es un control del incremento de la presión en el interior del depósito que, aunque no se evita, sí se ralentiza.



Con bastante probabilidad la cisterna receptora acabará presurizándose hasta el punto de que se compensen las presiones en ambas cisternas, con lo que el trasvase se parará. Aun así, seguramente se habrá podido trasegar mucha cantidad de producto, pero no todo el que pueda extraerse.

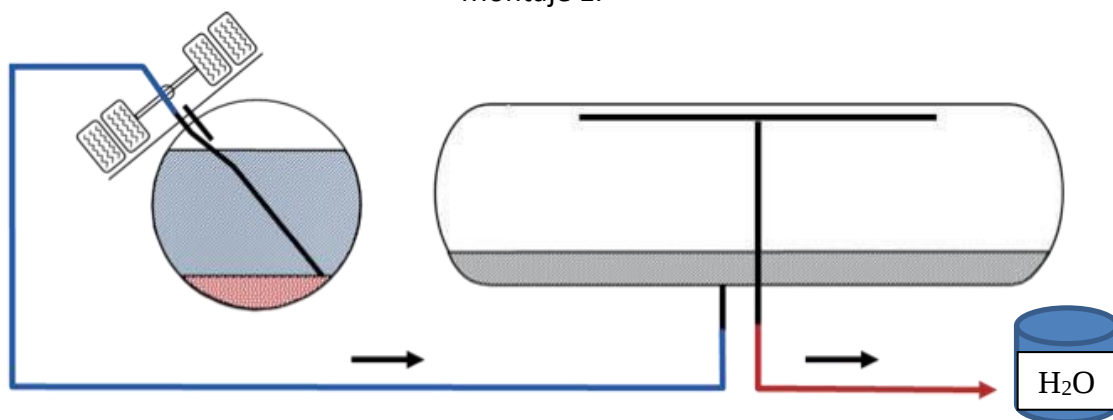
Quienes han realizado operaciones de este tipo recomiendan controlar el paso de la fase líquida, y en ciertos momentos provocar pérdidas de carga en el fluido que va hacia la receptora para evitar la subida de presión de esta. Otra opción es hacer circular la cisterna receptora durante unos minutos, frenando y arrancando continuamente, se consigue que la fase líquida enfríe la fase gas, re licuando parte de los gases, con resultado de una disminución de la presión. Tras ello, puede volver a intentarse continuar con el trasvase.

Cisterna accidentada volcada

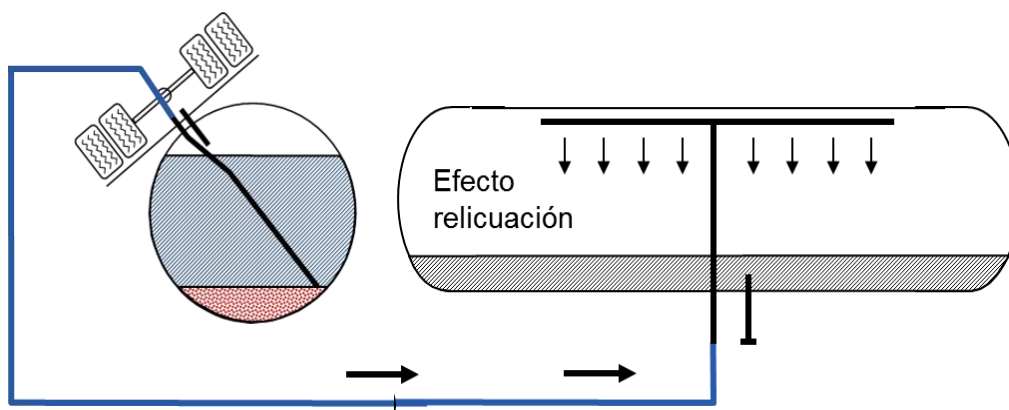
La posición de la cisterna condiciona poco este método de trasvase. El trasvase por presión propia funciona de la misma forma, a condición de que el conducto de vaciado sea el que esté más sumergido en la fase líquida, para extraer la mayor cantidad de producto.

Ejemplo para la posición 3 de los montajes 1 y 2 anteriores:

Montaje 1.-



Montaje 2.-

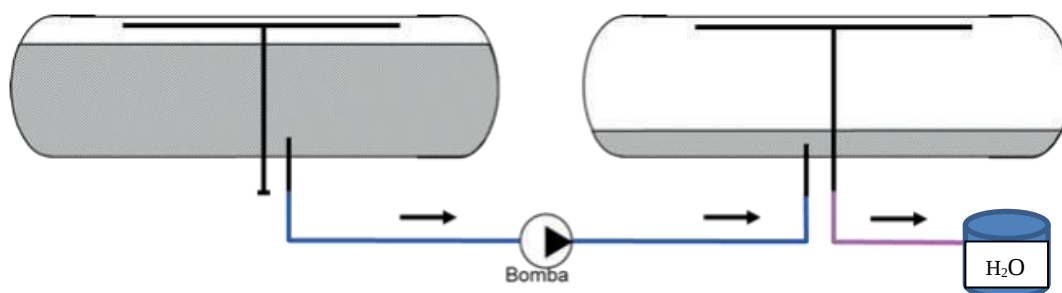


Trasvase por bomba

La bomba será específica para amoníaco, y una de sus características es que las juntas de los acoples de mangotes serán de teflón o neopreno y las juntas de estanquidad /estopada de Nitrilo.

Cisterna accidentada sobre sus ruedas (0°)

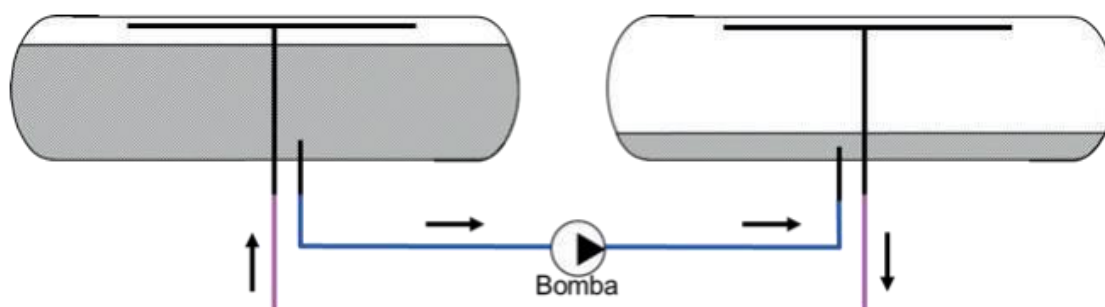
Montaje 1.-



El montaje 1 se corresponde con el anterior (trasvase por presión propia), pero con el añadido de la bomba. A la diferencia de presión entre cisternas se le suma la presión generada por la bomba, con resultado de mayor caudal de trasiego.

En caso de que no sea posible liberar los gases al aire (por el riesgo que comporte: toxicidad, entornos urbanos, ...), se pueden plantear 2 variantes (montajes 2 y 3) para el control de la presión de la cisterna receptora.

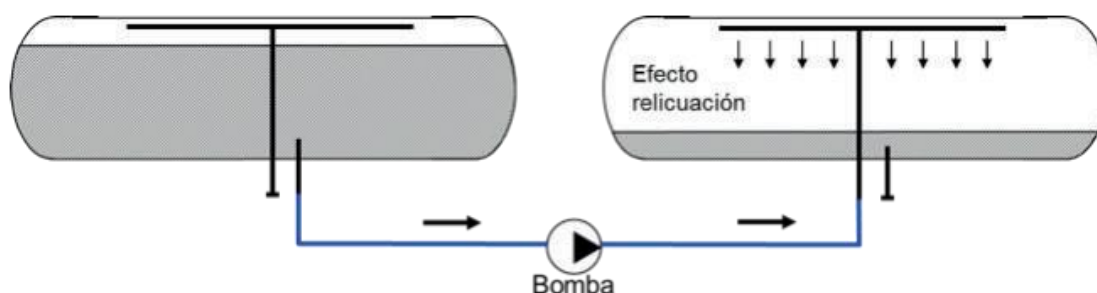
Montaje 2.-



Esta maniobra conecta las fases, y compensa las presiones entre ambas cisternas. Es la bomba quién genera la diferencia de presión suficiente para desplazar el producto. Respecto al montaje 1, se requiere mayor número de mangotes y manipular más válvulas, pero es una solución muy efectiva.

Montaje 3.-

Como alternativa al montaje 1 (porque no se pueda liberar los gases al aire) y al montaje 2 (porque se desee una instalación sencilla), se puede realizar el montaje 3:



Se corresponde con el montaje 2 del trasvase por presión propia. Le son de aplicación los mismos comentarios.

Cisterna accidentada volcada

La posición de la cisterna condiciona poco este método de trasvase. El trasvase con bomba funciona de la misma forma, a condición de que el conducto de vaciado sea el que esté más sumergido en la fase líquida, para extraer la mayor cantidad de producto.

Trasvase con compresor

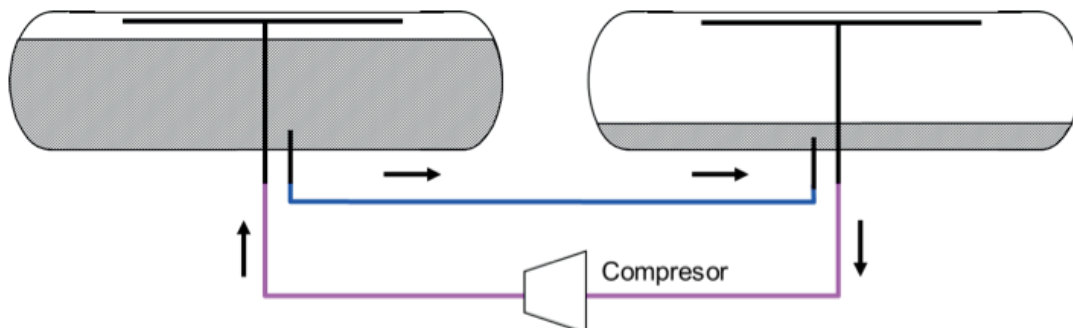
No se emplea bomba, sino un compresor específico de amoníaco, diferente al compresor de aire y al compresor de GLP. Una característica específica es que las juntas de los acoples de mangotes serán de Teflón o Neopreno, y que para las juntas de estanquidad / estopada se utiliza el Nitrilo.

El compresor comprime gases que toma de la cisterna receptora y los conduce a mayor presión a la cisterna accidentada. Con este montaje, se mantiene baja la presión en la cisterna receptora y, por el contrario, elevada la presión en la cisterna accidentada. El producto fluye por la diferencia de presiones entre ambos depósitos.

Este sistema es más lento que el trasvase con bomba, pero más rápido que utilizando únicamente la presión propia; y al no existir una parte mecánica como la bomba que se ve sometida a un desgaste continuo, se está utilizando bastante más que el bombeo.

Cisterna accidentada sobre sus ruedas (0°)

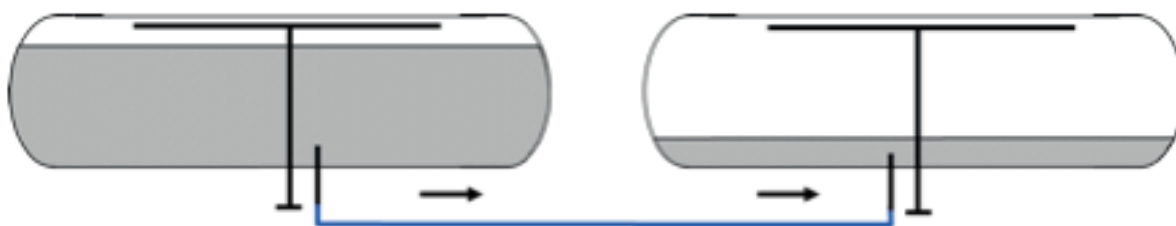
Montaje 1.-



Algunas empresas transportistas de amoníaco disponen de compresor de amoníaco, bien portátil, bien fijo en el bastidor de un vehículo cisterna (*):



Antes de realizar el montaje de la figura, se tienen que equilibrar las presiones entre ambas cisternas. Únicamente hace falta conectar las fases líquidas:



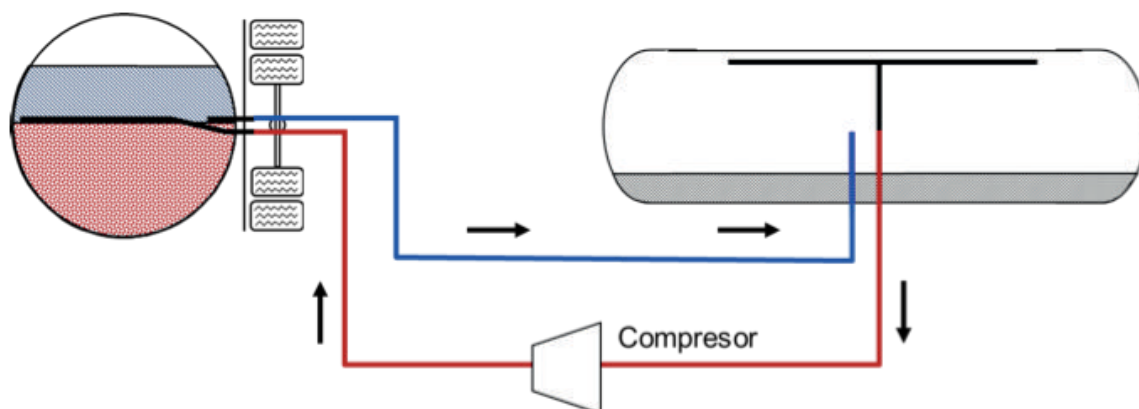
Una vez igualadas las presiones (o prácticamente), se conectan las fases gas al compresor y se pone en marcha.

Cisterna accidentada volcada

No es un gran condicionante el hecho de que la cisterna esté volcada. El trasvase con bomba funciona en cualquier posición de la cisterna accidentada, pero haciendo que el conducto de vaciado sea el que esté más sumergido en la fase líquida, para extraer la mayor cantidad de producto.

No importa tampoco que los conductos de fase líquida y de fase gas estén sumergidos en fase líquida, y no haya ninguno que comunique con la fase gas.

Ejemplo para la posición 1 representada en el apartado 2:



Como puede observarse en el esquema, en la cisterna volcada no hay ningún conducto inicialmente en contacto con la fase gaseosa, pero el montaje funciona perfectamente.

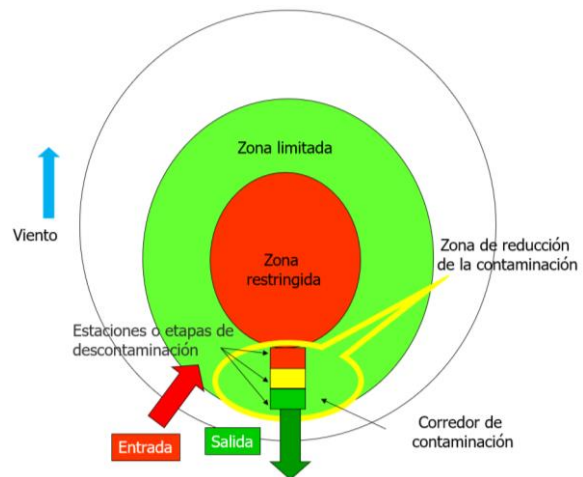
Trasvase inyectando en la cisterna presión de gas inerte (N_2)

Consiste en inyectar en la cisterna accidentada presión de gas inerte (N_2). El inconveniente de esta sistemática es su complejidad y la difícil disponibilidad sobre el terreno de los elementos necesarios, con los que si contamos en entornos e instalaciones industriales.

Respecto a la liberación de gases de la cisterna receptora para evitar su sobre presurización, hay que hacerlo de forma controlada respecto al riesgo de toxicidad, procediendo al lavado en un scrubber o la dilución en un depósito de agua (maniobra especificada en las anteriores metodologías de trasvase).

10.3. Descontaminación

La descontaminación del personal que ha intervenido en la emergencia va a consistir en la reducción de la contaminación de forma que los equipos de protección que portan los bomberos puedan ser retirados de la mejor manera segura posible y no esparcir la contaminación hacia zonas limpias. Como en toda etapa de descontaminación, aquí es más importante prestar atención a la minuciosidad que a la velocidad.



Ubicación del corredor de descontaminación

El mando de la intervención deberá elegir el lugar y el método más adecuado a emplear, para lo que deberá tener en cuenta:

- Las propiedades del químico; así que, para el caso del amoníaco, vamos a tener en cuenta su polaridad, su buena solubilidad y que es un gas a temperatura ambiente.
- Las condiciones del entorno (pendientes, zonas habitadas, alcantarillas...)
- Los medios humanos y materiales disponibles.
- Condiciones meteorológicas.
- Tiempo disponible.

La descontaminación lleva su tiempo, no solo en prepararla sino también durante el proceso de la descontaminación en sí, por lo que el mando debe tener en cuenta este tiempo dentro del global de la intervención, especialmente si se está trabajando con trajes tipo 1.

Teniendo en cuenta estos factores, un buen sistema para realizar la descontaminación tras una intervención con amoníaco puede ser la combinación de un método seco por venteo y otro húmedo con agua en dos fases consecutivas.

En la *primera fase* se coloca un ventilador a favor de viento frente al bombero contaminado en la entrada al corredor de descontaminación, de manera que se fuerce al amoníaco adherido sobre el traje a que se “arranque de él” y se disperse en la atmósfera.



Aplicación de venteo en la fase 1 del proceso de descontaminación . Foto: Bomberos de Leganés

La *segunda fase* de la descontaminación consiste en una dilución con agua y lavado posterior con jabón neutro; en el caso de que se disponga de alguna solución descontaminante específica se podría rociarse sobre el equipo y después lavarse. Como el amoníaco forma una solución corrosiva con el agua, se debe testear con indicadores (papel de tornasol) las zonas que han estado más expuestas para comprobar que el traje no está impregnado de solución corrosiva; si así fuera, se volvería de nuevo a la segunda fase de dilución y lavado.

Una variante interesante de la fase 1 de descontaminación para intervenciones con fugas de amoníaco anhidro, y siempre que el personal actuante esté equipado con trajes encapsulados tipo 1 o con trajes tipo 3, podría ser el sustituir o complementar el venteo con la aplicación directa de CO₂. El hecho de utilizar CO₂ en la descontaminación se basa en la reacción ácido-base que se produce entre el amoníaco, dióxido de carbono y agua a temperatura ambiente, formando productos inocuos como son el carbonato y bicarbonato amónico.

Hay que tener en cuenta que el CO₂ que van a utilizar los Servicios de Bomberos va a venir normalmente de extintores de anhídrido carbónico, y por tanto el CO₂ es proyectado a baja temperatura (aprox. -79°C); por ello, es necesario que se aplique solamente sobre personal que lleve una protección mínima necesaria y que, al ser necesario pasar por una segunda etapa húmeda en la descontaminación, se pueda mojar. La proyección CO₂ debe hacerse a



Aplicación de CO₂ en la fase 1 del proceso de descontaminación . Foto: Bomberos de Leganés

una cierta distancia para minimizar los daños por frío sobre el bombero y también para favorecer que la reacción se produzca a una temperatura más alta que la que hay justo en la boca de salida del extintor. Hay que encontrar un equilibrio entre la distancia de aplicación, de forma que la cantidad de CO₂ que incida sobre el bombero sea la mayor posible y que también se encuentre a una temperatura lo menos fría posibles. En caso de no utilizar un extintor de anhídrido carbónico podría servir un cilindro de CO₂ convencional, como los empleados para bebidas o alimentación.

Una vez proyectado el CO₂ es necesario pasar por una etapa húmeda, introduciéndose en una ducha de descontaminación. El agua de la ducha actuará tanto para favorecer la formación de las sales de amonio como también para la disolución del posible amoniaco que no haya reaccionado con el CO₂. El uso de jabón y cepillo antes de salir de la ducha está recomendado para arrastrar el producto que se haya podido formar, y a su vez, realizar una descontaminación más completa.

La aplicación de CO₂ hará que se generen menos residuos tóxicos y se minimice el olor del amoniaco.



Ducha de descontaminación en la fase 2 del proceso de descontaminación

Foto: Bomberos de Leganés

Antes de la retirada del traje de protección se puede colocar de manera opcional una etapa intermedia donde se ubica un ventilador para “secar” parte del equipo de forma que no se llegue tan mojado a la zona de desvestido, evitando así posibles salpicaduras sobre el personal que está retirando las prendas y la formación de zonas encharcadas.

Es importante que todo el personal que se encuentra en el corredor de descontaminación cuente con la protección personal adecuada, tanto corporal como respiratoria, que como mínimo debería ser un grado inferior al que usan los intervinientes; aunque se recomienda que, de manera general, se utilicen trajes tipo 3/4 para los que se encuentran en las primeras fases de la descontaminación. Para estas tareas, y si las monitorizaciones de la atmósfera así lo aconsejan, el uso de filtros puede ser una buena opción, pero teniendo siempre a mano el ERA por si las circunstancias cambiaran.

Las aguas sucias procedentes de la descontaminación deben ser recogidas y tratadas como residuo contaminado por empresas especializadas. El amoníaco anhidro es un producto tóxico y no se debe verter en las alcantarillas.

10.4. Primeros auxilios⁵²

Las medidas a adoptar por el personal no médico en caso de contaminación con el amoníaco anhidro, hasta que sea evaluado y tratado por servicios especializados, van a depender de la vía de exposición:

- Inhalación: Retirar a la víctima del ambiente tóxico y procurar que respire aire fresco.
- Ingestión: Aunque esta vía es improbable, hay que limpiar los posibles restos de la sustancia en boca y región perioral con leche o abundante agua.



Evitar el vómito. ¡Muy importante!

- Contacto ocular: Hay que lavar los ojos con abundante agua tibia, si es posible a chorro, durante al menos 20-30 minutos. Si persiste la irritación, dolor o intolerancia a la luz, insistir en el lavado durante 15 minutos más.
- Contacto cutáneo: Hay que retirar la ropa que esté impregnada con la sustancia y lavar exhaustivamente la piel con agua y jabón.
- Congelación: El amoníaco líquido tiene una temperatura de -33°C y puede causar daños por congelación. En este caso debe aplicarse calor a la zona afectada, asegurándose de que el calentamiento sea eficaz y completo. Para ello, debe cubrirse por completo en agua tibia, durante 15 minutos, la parte afectada, teniendo la precaución de que la zona contaminada no sea presionada por las

⁵² Instituto Nacional de Toxicología. Mº de Justicia. N/Ref 00317/03

paredes del recipiente. La temperatura del agua debe mantenerse constante durante todo el tiempo. Si se han producido heridas hay que vendarlas suavemente con material estéril por separado, sin ejercer ningún tipo de presión.

11 BIBLIOGRAFÍA



11. BIBLIOGRAFÍA

- Arthur d. Litte. *"Prediction of hazard of spill of anhydrous ammonia on water"*. NTIS. US Department of Commerce. 1974.
- Bernardo Méndez. NTP 338 *"Control de fugas en almacenamiento de gases licuados tóxicos"*. INSHT.
- Bob Olme. *"Miller Coorse Ammonia Response"*.
- Bruce I. Nelson, P.E. *"DX Ammonia piping handbook"* Coolmac coil 4ª Ed.
- Chris Hawley. *"Hazardous Materials Incidents"* 2ª Ed. Thomson Delamr Learning.
- Cotton and Wilkinson *"Química inorgánica avanzada"* Ed. Limusa. 4ª Ed.
- DANFOSS. *"Aplicaciones de refrigeración industrial con amoníaco y CO2"*.
- DANFOSS. *"De los HFC/HCFC al amoníaco en la refrigeración industrial"*.
- E.González, F.Ruiz et col. Guía Técnica *"Zonas de planificación para accidentes graves de tipo toxico"*. Dirección General de Protección Civil
- EFMA European Fertilizer Manufacturers Association *"Guidance for inspection of atmospheric, refrigerated ammonia storage tanks"* 2ª Ed. 2008
- EIGA *"Handling gas container emergencies"* IGC Doc 80/14/E
- EIGA *"Safe transfer of toxic liquefied gases"* IGC Doc 188/14/E
- FEMA. *"Guidance for transporting ammonia by rail"* 2007
- Geoffrey D. Kaiser and Richard F. Griffiths. *"The Accidental Release of Anhydrous Ammonia to the Atmosphere: A Systematic Study of Factors Influencing Cloud Density and Dispersion"* United Kingdom Atomic Energy Authority.
- Guía Operativa *"Intervención ante accidentes en el de mercancías peligrosas en vehículos cisterna"*
- Gyenes, Zsuzsanna. Wood, Maureen Heraty. Struckl, Michael *"Handbook of Scenarios for Assessing Major Chemical Accident Risks"* European Commission. 2017
- Hydro Instruments. *"Ammonia Handling manual"*. 2013.
- IAAR. *"Ammonia data Handbook"*. 2008
- IFSTA *"Hazardous materials for first responders"* 2ª Ed.
- INERIS, Accidental Risks Division *"Ammonia large scale atmospheric dispersion experiments I. industrial configurations"*.
- International Association of Fire Chiefs *"Industrial Fire Brigade, Principles and Practice"*. NFPA
- J.A. Babor y J.Ibáñez. *"Química general moderna"* Ed. Marín. 6ª Ed.
- J.Catalá. *"Física General"* Ed. Saber, 6º Ed. 1975
- Lingyu Meng, Stuart Burris, Holt Bui, and Wei-Ping Pan *"Development of an Analytical Method for Distinguishing Ammonium Bicarbonate from the Products of an Aqueous Ammonia CO2 Scrubber"*. Anal. Chem 2005. 77, 5947-5952
- M.Albaladejo. TPC *"Análisis de consecuencias en el transporte de mercancías peligrosas"*. Universidad de Murcia
- M.R.Fernández y J.A.Fidalgo *"Química General"*. Ed. Everest 1992
- Max Appl. *"Ammonia principles and industrial practices"*. Wiley-VCH

- *NTP 329: Modelos de dispersión de gases y/o vapores en la atmósfera: fuentes puntuales continuas*
- Office of Industrial Relations. Workplace Health and Safety Queensland, *“Emergency planning for ammonia-based refrigeration systems guide”*. The State of Queensland 2018
- RAE Systems. *Nota de aplicación AP-219*
- RAE Systems. *Nota de aplicación TN-106*
- Real Decreto 138/2011, de 4 de febrero, por el que se aprueban el Reglamento de seguridad para instalaciones frigoríficas y sus instrucciones técnicas complementarias.
- Real Decreto 1388/2011, de 14 de octubre, por el que se dictan las disposiciones de aplicación de la Directiva 2010/35/UE del Parlamento Europeo y del Consejo de 16 de junio de 2010 sobre equipos a presión transportables y por la que se derogan las Directivas 76/767/CEE, 84/525/CEE, 84/526/CEE, 84/527/CEE y 1999/36/CE.
- Real Decreto 2060/2008, de 12 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de equipos a presión y sus instrucciones técnicas complementarias.
- Real Decreto 222/2001, de 2 de marzo, por el que se dictan las disposiciones de aplicación de la Directiva 1999/36/CE, del Consejo, de 29 de abril, relativa a equipos a presión transportables.
- Real Decreto 412/2001, de 20 de abril, por el que se regulan diversos aspectos relacionados con el transporte de mercancías peligrosas por ferrocarril.
- Real Decreto 656/2017, de 23 de junio, por el que se aprueba el Reglamento de Almacenamiento de Productos Químicos y sus Instrucciones Técnicas Complementarias MIE APQ 0 a 10.
- Real Decreto 709/2015, de 24 de julio, por el que se establecen los requisitos esenciales de seguridad para la comercialización de los equipos a presión.
- Real Decreto 97/2014, de 14 de febrero, por el que se regulan las operaciones de transporte de mercancías peligrosas por carretera en territorio español.
- Tanscaer *“Anhydrous Ammonia Training. Instructor Guide”*
- Tanscaer *“Anhydrous Ammonia Training. Properties”*
- Tanscaer *“Anhydrous Ammonia Training. Response”*
- Trakhees ID-EN-G05 *“Guidelines ammonia works”* Government of Dubai
- U.S. Department Health and Human Service *“Toxicological profile for Ammonia”*. 2004
- U.S. Department Health and Human Service. *“Control of unconfined vapor clouds for fire departments water spray handlines”* 1987.

GUÍA OPERATIVA

ACTUACIONES CON AMONIACO
PARA BOMBEROS