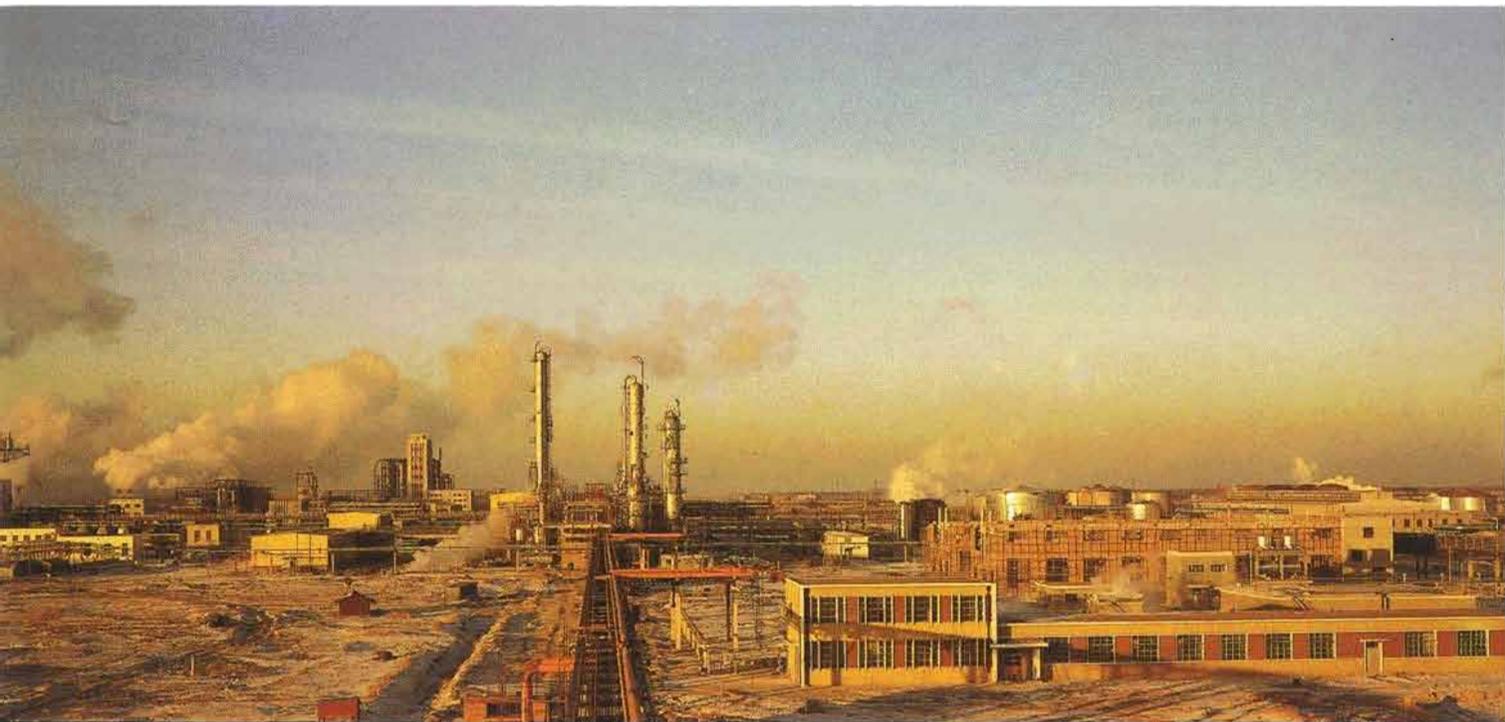


# Seguridad en el manejo de gases criogénicos atmosféricos



AMANDO GALLEGO-PRECIADO  
MARTIN

*Ingeniero Técnico en Instalaciones  
de Combustibles y Explosivos.  
Coordinador de Seguridad  
de Argón, S. A.*

**L**OS gases licuados procedentes de la destilación fraccionada del aire, también denominados gases o líquidos criogénicos (etimológicamente «que produce muy bajas temperaturas»), oxígeno, nitrógeno y argón líquidos, son cada día más utilizados, bien como aplicación directa, caso del nitrógeno líquido en congelación de alimentos, en otras de tipo industrial (calado de piezas, extrusión de perfiles, decapado de superficies metálicas, etc.) y algunas más modernas de tipo médico-científico (conservación de muestras biológicas), o bien, en todos los demás casos, por razones económicas en su transporte y almacenamiento.

La razón es muy simple; un litro de gas licuado se transforma, al evaporarse, en aproximadamente 800 litros de gas, con lo cual en un espacio reducido puede almacenarse un gran volumen.

Esto ha dado lugar a que para consumos medios de 3.000 Nm<sup>3</sup>/mes, el sistema clásico de suministro en forma de gas comprimido en alta presión (200 Kg/cm<sup>2</sup>) mediante botellas y bloques de botellas, haya sido desplazado por la instalación de los depósitos criogénicos, cuya implantación en nuestro país aumentó de forma considerable en los años ochenta.

En tales depósitos, el gas criogénico está en forma líquida, siendo necesario para utilizar el oxígeno, nitrógeno o argón en forma gaseosa, hacer pasar el líquido por gasificadores atmosféricos o de agua caliente (procedente del mismo proceso del usuario o calentado por electricidad o vapor), que son simples intercambiadores de calor para convertir el líquido criogénico desde la temperatura de almacenamiento, al-

*Los gases procedentes del aire, oxígeno, nitrógeno y argón, no pueden ser tóxicos, ya que los tres mezclados en la proporción 21/78/1 por 100, respectivamente, forman el aire que respiramos.*

rededor de  $-180^{\circ}\text{C}$ . en gas casi a la temperatura ambiente, distribuyéndose mediante canalización por tubería a los puntos de consumo.

La información y recomendaciones que se exponen a continuación pretenden servir para que los usuarios de gases criogénicos tomen las medidas adecuadas para evitar accidentes en el manejo de tales gases.

## CARACTERISTICAS DE LOS GASES CRIOGENICOS

Es obvio que los gases procedentes del aire, oxígeno, nitrógeno y argón no pueden ser tóxicos, ya que los tres, mezclados en la proporción 21/78/1 por 100, respectivamente, forman el aire que respiramos.

No obstante, pueden por sí solos producir algunos cambios al estar en otras proporciones que las indicadas. Así, el oxígeno se comporta como gas comburente, que mantiene y acelera la combustión. Mientras que el nitrógeno y el argón son gases inertes que no permiten la combustión.

Para las personas, los efectos son muy distintos, ya que el oxígeno es el gas vital y, en sentido opuesto, el nitrógeno y el argón producen asfixia.

Un resumen de algunas de las características principales de estos gases puede verse en la tabla 1.

De la tabla anterior podemos sacar las siguientes conclusiones:

- Densidad respecto al aire

El oxígeno y el argón son más pesados que el aire, por lo que en caso de fuga tenderán a ocupar, mucho más el argón, los lugares más bajos (sótanos, pozos, fosos, etc.), produciendo cambios en la composición de las atmósferas de tales lugares. El nitrógeno es ligeramente menos pesado que el aire, por lo que tenderá a subir. No obstante, el gas frío es más denso que el aire y se comporta como el oxígeno y el argón, hasta que alcanza la temperatura ambiente.

- Punto de ebullición

Los tres gases criogénicos, cuando están en forma líquida cerca del punto de ebullición, tienen temperaturas extremadamente frías ( $-190^{\circ}\text{C}$ ). Tales temperaturas hacen a la gran mayoría de los materiales frágiles y quebradizos.

- Equivalencia líquido/gas

La transformación del volumen de líquido en gas en proporciones tan altas (alrededor de 800 veces), cuando

Características	Aire	Oxígeno	Nitrógeno	Argón
<b>1. General</b>				
1.1. Fórmula química		O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	Ar
1.2. Porcentaje en el aire, % en volumen	100	21	78	1
<b>2. Fase gaseosa</b>				
2.1. Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	1,23	1,34	1,17	1,67
2.2. Densidad respecto al aire	1	1,11	0,97	1,38
<b>3. Fase líquida</b>				
3.1. Punto de ebullición (P.E.) en $^{\circ}\text{C}$	-193	-183	-196	-186
3.2. Densidad del vapor en el P.E., respecto a la del aire bajo condiciones ambientales	3,6	3,6	3,7	4,6
3.3. Equivalencia de cada litro de líquido en litros de gas, bajo condiciones ambientales	700	850	690	830

se produce en recipientes cerrados obliga a prever los consiguientes aumentos de presión y a diseñarlos con los apropiados sistemas de alivio de presión.

En cuanto a las características generales de los gases, tanto en forma líquida como en gas, y sus aplicaciones, podemos encontrarlas en la tabla 2

## PRODUCCION. ALMACENAMIENTO Y TRANSPORTE

### Producción

En la actualidad, el oxígeno, nitrógeno y argón se obtienen en forma líquida en modernas plantas de separación (fig. 1) mediante destilación fraccionada del aire líquido,

*Los depósitos criogénicos deben instalarse respetando las normas específicas de seguridad en cuanto a distancias, conforme a la Instrucción Técnica Complementaria, MIE-AP-10.*

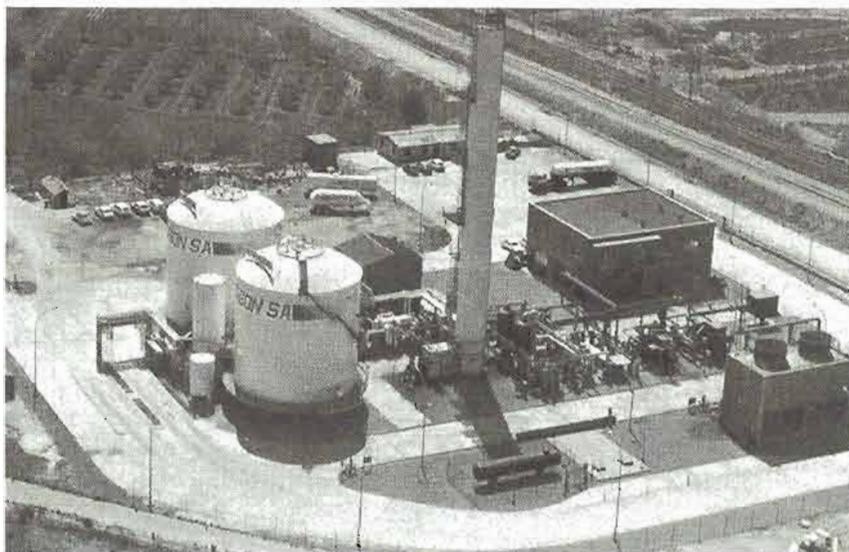


FIGURA 1. Planta de separación de aire.

con producción entre 100 y 2.000 tm/día de oxígeno, que aprovechan los efectos de compresión/expansión y enfriamiento del aire para llegar a los  $-196^{\circ}\text{C}$ ., punto de ebullición del nitrógeno, pasando después a separarse por destilación las tres fracciones en columna de platos.

Estas plantas han significado un gran avance en el control del proceso, minimizando considerablemente los riesgos, así como dando purzas casi absolutas (menos de 10 ppm de otros gases) y obteniendo mayores producciones con menor consumo de energía, lo que hizo parar las antiguas plantas de producción en gas, que eran la mayoría hasta los primeros años setenta.

### Almacenamiento

Una vez producidos el oxígeno, nitrógeno y argón líquidos, habiendo pasado los más estrictos controles de pureza, se procede a su almacenamiento en grandes tanques (de 1.000 a 3.000 tm) para el oxígeno y el nitrógeno y de menor capacidad (hasta 1.000 tm) para el argón (fig. 2).

Los tanques de almacenamiento de gran capacidad son construidos *in situ*, utilizando códigos de diseño internacionalmente reconocidos (ISO, ASME, CODAP, AD-MERKBLATT, BS, etc.) y teniendo en cuenta, incluso, los efectos sísmicos y las acciones meteorológicas.

Todos los tanques son del tipo doble pared (recipiente interior más envolvente), sirviendo la intercámara como elemento aislante, con o sin vacío en el interior de la misma, logrando así un aislamiento térmico adecuado que mantiene el líquido a temperaturas próximas al punto de ebullición.

El control de la presión dentro de los tanques está garantizado mediante registradores, continuos, válvulas de alivio y discos de ruptura, que impiden que la presión suba por encima de la máxima presión de trabajo del tanque.

### Transporte

Desde las plantas de producción hasta los depósitos de utilización, los gases criogénicos se transportan en camiones cisterna o en semirremolques cisterna de diferentes capacidades (de 5 a 25 tm) (fig. 3).

Todas las cisternas son del tipo doble pared con aislamiento de alto vacío en la intercámara, que, además, está rellena de perlita, un superaislamiento para coadyuvar a

Tabla 2 CARACTERISTICAS GENERALES Y APLICACIONES			
	OXIGENO	NITROGENO	ARGON
<b>PRESENCIA EN LA NATURALEZA</b>	El oxígeno es el más abundante de los elementos, formando aproximadamente el 50 por 100 de la corteza terrestre. En su estado libre forma 1/5 del aire en volumen.	En su estado libre, el nitrógeno forma aproximadamente 4/5 del volumen del aire. En bombinación química está presente en todos los seres vivos y en forma de proteínas es un alimento necesario para las plantas y animales.	Forma aproximadamente el 1 por 100 del volumen del aire. Es el más abundante de los denominados gases raros.
<b>CARACTERISTICAS QUIMICAS</b>	El oxígeno es un elemento muy activo, que aunque no se quema mantiene la combustión; combina directa o indirectamente con todos los elementos excepto con los gases nobles.	El nitrógeno no reacciona rápidamente con otros elementos. Ni arde ni mantiene la combustión. Se combina con alguno de los metales más activos, como el calcio, sodio y magnesio, para formar nitruros.	El argón es extremadamente inerte, no cambiándose con el resto de los elementos.
<b>CARACTERISTICAS FISICAS</b>	El oxígeno es incoloro, inodoro e insípido, es ligeramente soluble en agua y un débil conductor de la electricidad.	El nitrógeno es incoloro, inodoro e insípido, es ligeramente soluble en agua y es un débil conductor del calor y de la electricidad.	El argón es incoloro, inodoro e insípido. Es más pesado que el aire.
<b>USOS COMO GAS</b>	El oxígeno gaseoso se usa en soldadura oxiacetilénica, corte, fabricación de acero, etc. También se usa en la fabricación de productos químicos sintéticos. Los hospitales lo usan en oxigenoterapia, para reanimación y con otros gases en mezclas anestésicas.	El nitrógeno gaseoso se usa principalmente en el embalaje a presión de alimentos, como elemento propelente, para extinción de incendios y en muchos otros procesos que requieren atmósfera inerte.	Se usan grandes cantidades de argón como gas protector en la soldadura por arco. El argón también se usa en la producción de titanio y acero inoxidable. También se usa en muchos dispositivos electrónicos.
<b>CARACTERISTICAS DEL LIQUIDO</b>	El oxígeno líquido es de color azul pálido, ligeramente más pesado que el agua, magnético, no inflamable y no produce vapores tóxicos o irritantes.	El nitrógeno líquido es incoloro e inodoro, ligeramente más liviano que el agua, no magnético y no produce vapores tóxicos o irritantes. Es estable contra golpe mecánico.	Las características del argón líquido son semejantes a las del nitrógeno líquido.
<b>USOS COMO LIQUIDO</b>	El oxígeno que va a ser usado como gas es a menudo almacenado y transportado como líquido por economía. El oxígeno líquido de alta pureza está encontrando aplicaciones en trabajos de laboratorio. También se usa en cohetes y proyectiles propulsores.	El nitrógeno que va a ser usado como gas a menudo es almacenado y transportado como líquido por economía. El nitrógeno líquido se usa para almacenaje, para congelación, para enfriar piezas en ajuste de partes metálicas y para varias aplicaciones de laboratorio.	El argón que va a ser usado como gas a menudo es almacenado y transportado como líquido por economía y conveniencia.

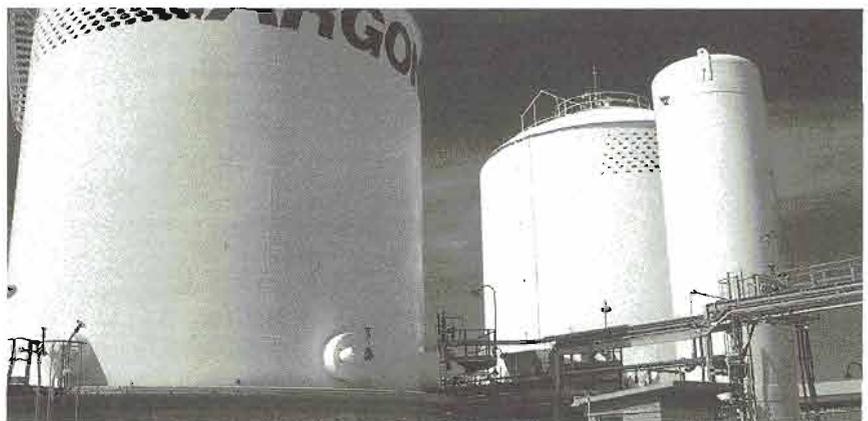


FIGURA 2. Tanques de almacenamiento de oxígeno, nitrógeno y argón líquidos.

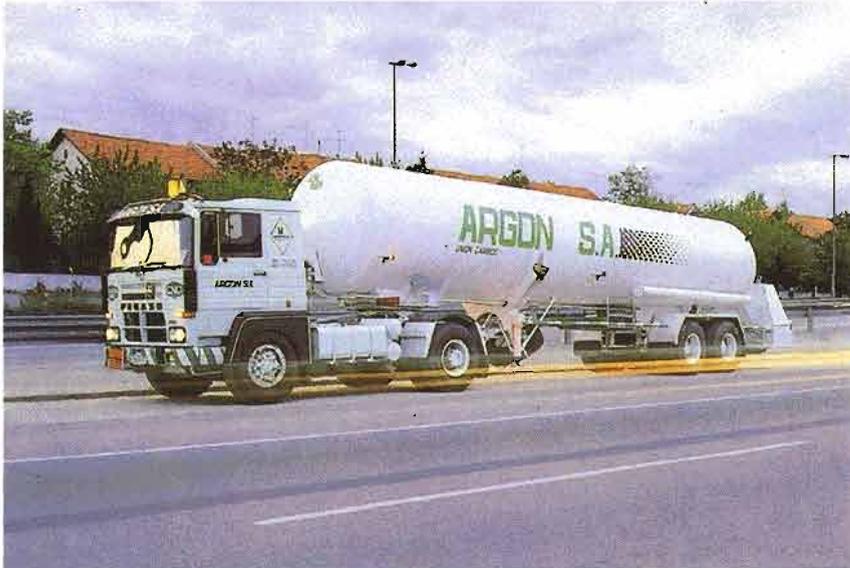


FIGURA 3. Cisterna para transporte de gases criogénicos.

**Tabla 3  
EFECTOS DE LA SUBOXIGENACION**

Contenido de oxígeno. Vol. %	Efectos y síntomas (a la presión atmosférica)
11-14	Disminución del comportamiento físico e intelectual sin que la persona lo advierta.
8-11	Posibilidad de desmayo, después de un periodo más o menos corto sin alerta previa.
6-8	Desmayo en unos pocos minutos, del que es posible recuperarse si es trasladado inmediatamente al exterior.
≤ 6	Desmayo casi inmediato.

mantener un adecuado aislamiento térmico. Además, para mantener el líquido a temperaturas lo más bajo posible, la presión de trabajo más utilizada es hasta 2 kg/cm<sup>2</sup>, aunque pueden encontrarse cisternas para suministros a alta presión hasta 18 kg/cm<sup>2</sup>.

Las cisternas se diseñan, construyen y revisan cumpliendo la normativa legal vigente recogida en las normas de construcción, aprobación de tipo, ensayos e inspección de cisternas (Ref. 1) y el Reglamento Nacional para el Transporte de Mercancías Peligrosas por Carretera (TPC) (Ref. 2), las cuales establecen unos requisitos técnicos muy estrictos.

Igualmente, para utilizar las cisternas es obligado cumplir la normativa legal vigente, básicamente las Normas sobre carga de cisternas y control de la cantidad cargada (Ref. 3) y el Anejo B del Reglamento TPC, citado anteriormente, cuyo cumplimiento produce un alto grado de fiabilidad y seguridad en la utilización de tales cisternas.

*Los tanques de almacenamiento, las cisternas para el transporte y los depósitos de utilización se construyen y revisan cumpliendo la normativa legal vigente, cuya aceptación produce un alto grado de fiabilidad y seguridad en su utilización.*

## UTILIZACION

La utilización, bien como líquido directamente, o bien almacenado como líquido para ser utilizado posteriormente como gas, así como, y muy principalmente, el consumo previsto, condicionan los tipos de almacenamiento.

Básicamente son: depósitos fijos, botellones móviles y termos; los cuales pasamos a describir a continuación.

### Depósitos fijos

En la actualidad representan más del 90 por 100 del tipo de almacenamiento más utilizado. Los tamaños de los tanques en instalaciones de usuarios de los gases oscilan entre los 600 y los 60.000 litros de capacidad útil, que para el oxígeno, por ejemplo, representa un almacenamiento de 500 y 51.000 Nm<sup>3</sup>, respectivamente. Considerando que una botella de oxígeno comprimido a 200 Kg/cm<sup>2</sup> y una capacidad de 50 litros almacena 10 Nm<sup>3</sup>, podemos ver claramente la gran ventaja de almacenar los gases criogénicos en forma líquida (fig. 4).

Además, el mantenimiento de estas unidades de almacenamiento es sencillo, a la vez que rápido y eficaz, debido al cuidado diseño y a la estandarización de cada uno de sus componentes.

**Fabricación:** Los tanques están constituidos por dos recipientes, uno interior de acero inoxidable austenítico o acero al 9 por 100 de níquel y otro exterior de acero al carbono, dejando un espacio intermedio, relleno de perlita, en el que se efectúa el vacío, consiguiéndose un aislamiento perfecto. Durante la fabricación de los tanques se somete a los materiales a los más completos controles: tracción (DIN 50120), curvado (DIN 50121), resiliencia a -196° C (DIN 50122) y composición química, así como a una prueba hidráulica a la presión de prueba del recipiente. Las soldaduras deben realizarse utilizando el método MIG, así como radiografiarse al 100 por 100 las longitudes y al 10 por 100 las transversales. Los circuitos internos son de tubería de acero inoxidable y los externos de tubería de cobre o de acero inoxidable.

Los controles indicados pueden ser distintos, pero con idénticas garantías, en función del código de diseño elegido.

No obstante, todos los tanques de fabricación nacional o importados deberán cumplir las normas le-

gales vigentes, que con carácter general se recogen en el Reglamento de Aparatos a Presión (Ref. 4), y más concretamente en la Instrucción Técnica complementaria MIE-AP 10 «Depósitos Criogénicos» (Ref. 5) del citado reglamento.

**Instalación:** El lugar de emplazamiento del tanque estará de acuerdo con la normativa legal vigente, incluidas las citadas anteriormente (Rfas. 4 y 5), la aplicación del gas y el acceso adecuado al lugar de la cisterna que transporte el líquido.

Los depósitos deben instalarse normalmente en el exterior de edificios, respetando las normas específicas de seguridad en cuanto a distancias, conforme a la citada ITC MIE-AP 10 (Ref. 5). Estas distancias son más exigentes para tanques de oxígeno (fig. 5) que en el caso de tanques de nitrógeno y argón, considerándose como mínimas y contadas desde el depósito con sus equipos auxiliares incluidos.

El tanque y los gasificadores (fig. 4) deben ser instalados en un recinto libre de todo obstáculo y de un tamaño variable, según la capacidad del tanque, pero aproximadamente de unos 30 m<sup>2</sup>. Este recinto se cimenta y valla mediante cerca metálica ligera que impida que personas ajenas al servicio puedan manipular estas instalaciones o acercarse a las mismas. Si se utilizan muros, como máximo se pueden colocar tres lados, dejando el cuarto con cerca metálica para garantizar la ventilación del recinto.

Los equipos que contengan, o por los cuales circule oxígeno, deben estar exentos de aceite, grasa o materias fácilmente oxidables. Igualmente, el pavimento de la zona circundante al depósito y la de aparcamiento de vehículos de trasvase de oxígeno debe estar exenta de asfalto o productos bituminosos.

En toda central de oxígeno, nitrógeno o argón deberá colocarse en lugar bien visible (preferiblemente en el exterior del cerramiento y junto a la puerta de acceso) un cartel que indique el gas contenido, los peligros específicos y los medios de seguridad recomendados (fig. 6).

La instalación eléctrica en el recinto de los depósitos de oxígeno, nitrógeno y argón no requiere especiales condiciones y sólo debe seguirse lo indicado en el *Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión* (Ref. 6) para instalaciones eléctricas (alumbrado del recinto, cuadro para la bomba de trasvase de la cisterna y, en su caso, cuadro para gasificador eléctrico) a la intemperie.

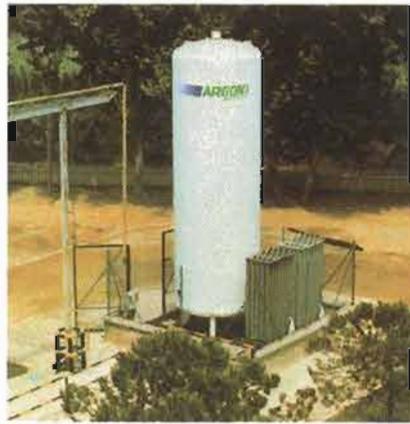


FIGURA 4. Depósito criogénico.

Normalmente, el suministro es en forma líquida, y sólo cuando la presión del tanque excede de un valor prefijado, se produce en forma gaseosa, con lo cual se alivia la presión. Este funcionamiento automático y que elimina pérdidas por evaporación, se explica más detalladamente a continuación. El tanque posee seis circuitos que permiten su funcionamiento y el fácil manejo de las presiones.

- Circuito de consumo en fase líquida (V-14). Por este circuito se extrae líquido que se canaliza a punto de consumo.
- Circuito de seguridad (RV-6; BD; V-13). Impide que en ningún

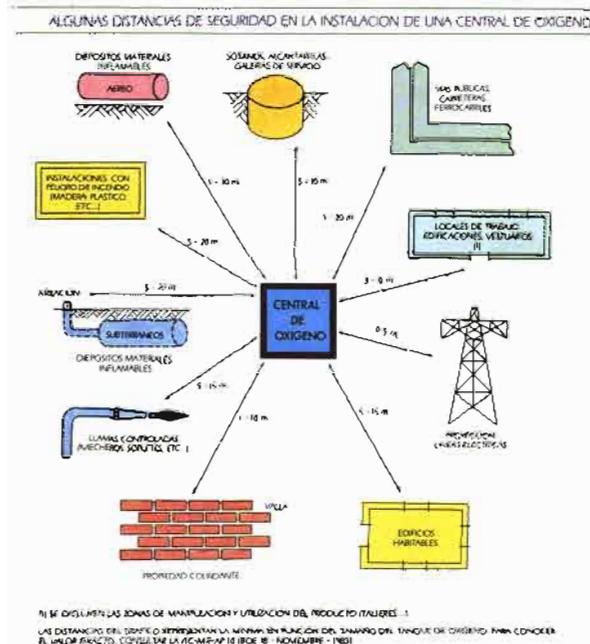


FIGURA 5. Algunas distancias de seguridad en la instalación de un depósito de oxígeno líquido.

También se recomienda que el depósito, los equipos auxiliares y la cerca metálica estén conectados a tierra con resistencia inferior a 20 ohmios.

En cuanto a la protección contra incendios, los depósitos de oxígeno, nitrógeno y argón no requieren especiales medidas de protección. No obstante, es recomendable que en las inmediaciones del tanque exista un puesto de manguera con presión y caudal de agua adecuados con el fin de refrigerar el tanque si se produjera un incendio en sus inmediaciones o para abatir los gases con agua pulverizada en caso de fuga de líquido.

**Funcionamiento:** De los tanques criogénicos el producto (líquido o gas) sale impulsado por su propia presión. El esquema de un tanque puede verse en la figura 7.

caso la presión del tanque sea excesiva. La presión del tanque puede aliviarse a voluntad por medio de V-13 y automáticamente por medio de RV-6. En todo caso, un disco de ruptura BD está en reserva.

- Circuito de medida (P-1; L-1). Indica la altura de líquido en el tanque, por medio de un manómetro diferencial entre la presión del fondo (presión de gas más altura de líquido) y la presión de la cámara gaseosa (presión de gas).
- Circuito de puesta a presión (PCV-1; PBC). Mantiene la presión del tanque a un valor prefijado. Si, por efecto de consumo excesivo, la presión del tanque baja, el regulador PCV-1 abre y permite el paso de líquido, que se evapora en PBC, aumentando la presión en el tanque.
- Circuito de consumo en fase gas (PCV-3). Cuando la presión del

tanque aumenta, por efecto de la evaporación, por encima de un valor prefijado, el regulador PCV-3 se abre, permitiendo el paso de gas a consumo, con lo cual baja la presión sin producirse pérdida alguna.

• Circuito de carga (V-1; V-2). Utilizado para llenar los tanques desde las cisternas de transporte. Se puede llenar por fase gas, por

fase líquida o por ambas, según se quiera bajar la presión o subirla o mantenerla.

**Gasificadores.** Para la utilización en forma gaseosa del oxígeno, nitrógeno y argón almacenados en tanques criogénicos, se diseñan e instalan los gasificadores más adecuados, según los caudales a utili-

zar y su continuidad o intermitencia (fig. 8).

Los gasificadores son intercambiadores de calor entre un medio caliente, aire atmosférico, aire forzado, agua corriente, vapor, agua calentada por resistencia y un medio frío, que es el gas licuado.

Las instalaciones de gasificación más habituales son las que utilizan como medio caliente el aire atmosférico o agua calentada por resistencias o una combinación de ambos.

A continuación describimos los dos tipos de gasificadores más usuales.

• Gasificadores atmosféricos: están formados por un serpentín de aleación de aluminio, con aletas, por el cual circula el líquido. Son muy adecuados para consumos de caudal constante. Se pueden acoplar varias unidades para obtener mayores capacidades de consumo. El gas se obtiene a la salida del gasificador a una temperatura aproximada a 7° C. y 8° C. inferior a la del ambiente.

• Gasificadores eléctricos: están formados por un serpentín de cobre, por el cual circula el gas líquido y en el cual se vaporiza, sumergido en un recipiente de acero lleno de agua. Este recipiente es cilíndrico, de 1,5 m de diámetro por 2 m de altura, con capacidad para 3.500 l de agua. El agua circula por convección natural, por lo que no son necesarias bombas. El calor es aportado al agua por resistencias eléctricas, controladas por un termostato instalado en el centro del depósito de agua.

Este gasificador está especialmente diseñado para grandes consumos y, sobre todo, para consumos irregulares con puntas muy fuertes, ya que el calor almacenado en el agua sirve para hacer frente a los consumos de punta.

En el caso de consumos regulares con puntas fuertes se debe colocar un sistema mixto de gasificación, en el cual el gasificador atmosférico funciona durante el consumo regular, y el gasificador eléctrico durante las puntas.

#### Botellones móviles

Para consumos pequeños (200/3.000 Nm<sup>3</sup>/mes) no es adecuada la utilización de tanques, por lo que se desarrollaron, y su utilización va en aumento, los denominados botellones criogénicos, que son la solución intermedia entre el suministro de gran consumo, por medio de tan-

**FIGURA 6**  
Cartel de aviso de riesgos y medidas de seguridad para depósitos de oxígeno líquido

### INSTRUCCIONES SOBRE ALMACENAMIENTO DE LIQUIDOS CRIOGENICOS

#### OXIGENO LIQUIDO

#### GAS LICUADO A BAJA TEMPERATURA (-183 °C)

REGLAMENTO DE APARATOS  
A PRESION  
I.T.C. MIE-AP-10

#### PELIGROS

- No arde por sí mismo, pero activa violentamente la combustión.
- Provoca la inflamación espontánea de grasas, aceites y productos petroleros.
- La ropa impregnada de oxígeno puede inflamarse y arder con gran rapidez.
- En contacto con la piel, produce quemaduras debido a su baja temperatura.

#### MEDIDAS DE SEGURIDAD RECOMENDADAS

- No accionar ningún mando salvo persona autorizada.
- No almacenar materiales combustibles e inflamables a menos de 15 metros.
- No fumar ni mantener llamas a menos de 8 metros.
- No aparcar vehículos cerca del tanque.

#### PROTECCION PERSONAL

- Emplear pantalla facial y guantes resistentes a bajas temperaturas.

#### MEDIDAS DE URGENCIA EN CASO DE ACCIDENTE

#### INSTRUCCIONES GENERALES

- Los excesos de presión son evacuados por las válvulas de seguridad (o el disco de rotura en su caso).
- Si una válvula de seguridad no cerrase, después de eliminar el exceso de presión, deshelar con agua.
- Las salidas de gas por las válvulas de seguridad no entrañan riesgo.

#### FUGAS

- Eliminar las fugas, si es posible.
- Evitar las proyecciones de líquido.
- Si la fuga es importante (se forman nubes blancas de condensación del vapor atmosférico), formar con tierra una barrera para impedir que el líquido pueda alcanzar a materiales de origen orgánico: (papel, madera) o combustibles (aceites, plásticos).
- Procurar conseguir el cierre perfecto de válvulas. No intentar reapretar los racores de conexión que presenten fugas.

#### INDENCIO

- Si el fuego no es activado por el oxígeno, utilizar cualquier tipo de extintor.
- Si el fuego es activado por el oxígeno, mantener el tanque frío rociándole con agua y protegiéndole del calor.
- Cerciorarse del correcto funcionamiento de las válvulas de seguridad.
- Avisar a los bomberos.

#### SOCORRISMO

- Inflamación de la ropa: apagar con agua.
- Quemaduras por frío: descongelar con agua tibia.
- Quemaduras por fuego: no tocarlas y tapar al herido.
- Avisar a un médico.

PARA MAS INFORMACION CONSULTE LAS INSTRUCCIONES DE FUNCIONAMIENTO Y SEGURIDAD QUE SE LES ENTREGO EN LA PUESTA EN MARCHA DE LA INSTALACION.

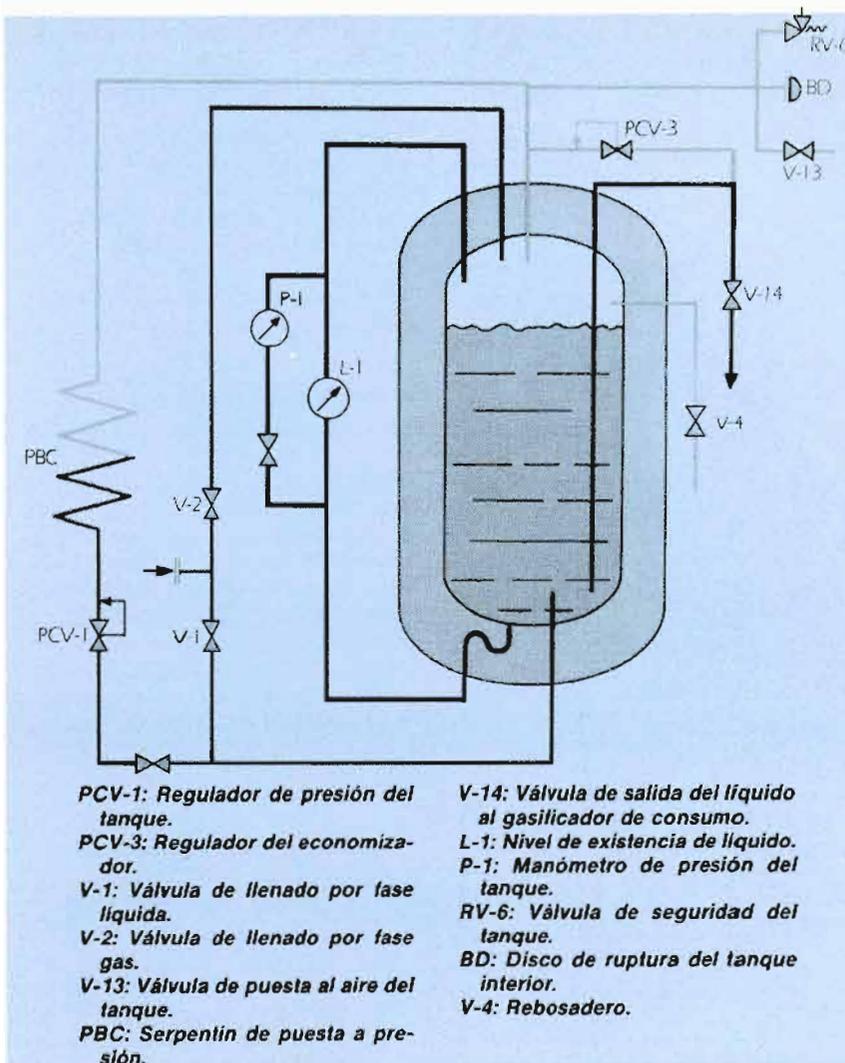


FIGURA 7. Esquema de funcionamiento de un tanque criogénico.

ques, y el suministro pequeño, por medio de botellas de gas comprimido.

La capacidad útil de los botellones criogénicos puede alcanzar los 450 litros, el modelo más extendido, denominado comercialmente PGS-45, tiene una capacidad de 170 litros, equivalente a unas 14 botellas de gas comprimido, por lo que duran mucho más, evitan manipulaciones continuas y molestias, ahorrando gran cantidad de espacio y tiempo, haciendo innecesario trabajar con recipientes en alta presión (200 Kg/cm<sup>2</sup>), lo que puede ser un menor riesgo.

El botellón PGS-45 (fig. 9) es un recipiente de doble pared con superaislamiento al vacío, diseñado para su utilización como suministro portátil de oxígeno, nitrógeno y argón. Su diseño, construcción y pruebas periódicas deben cumplir lo indicado en la Norma 12 «Botellones Criogénicos» (Ref. 7) de la ITC MIE-AP 7 del Reglamento de Aparatos a Presión,

que es la normativa legal específica para estos recipientes.

Está provisto de un serpentín elevador de presión y de un gasificador, lo que le permite suministrar caudales continuos de 7 Nm<sup>3</sup>/h, con puntas de 28 Nm<sup>3</sup>/h, a presiones de hasta 14 kg/cm<sup>2</sup>. El recipiente interior está protegido contra sobrepresiones mediante una válvula de alivio y un disco de ruptura. A su vez, la intercámara se protege mediante un disco de vacío de cualquier presión que se produzca por fuga del recipiente interior.

Tiene un anillo antichoque en su base y un aro de acero inoxidable alrededor de la parte superior, que protege los controles y proporciona un medio sencillo para manejarlo.

El transporte debe hacerse en una carretilla diseñada al efecto (fig. 9). Debe darse un trato cuidadoso a los botellones criogénicos conforme a lo indicado en la etiqueta de la figura 10.

En cuanto a la utilización del pro-

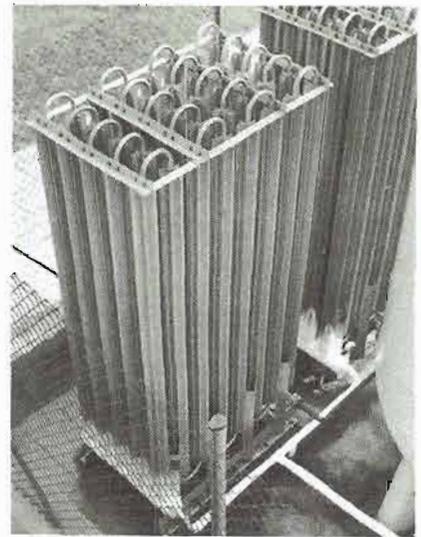


FIGURA 8. Gasificador atmosférico.

ducto, deberá seguirse lo indicado en la correspondiente etiqueta (por ejemplo, para el nitrógeno ver la figura 10) que lleva el botellón para información del usuario.

Este tipo de botellones es muy versátil, ya que puede utilizarse individualmente, con gasificador exterior; en parejas con colector, o con colector y gasificador; en juegos de cuatro con cuadro automático; con cuadro y gasificadores, y en juegos de cuatro con cuadro, gasificador y sistema de reserva con botellas normales (este último sistema está especialmente diseñado para hospitales).

## Termos

La utilización de termos para contener gases criogénicos, principalmente el nitrógeno líquido, está incrementándose de forma considera-

*La transformación del volumen de líquido en gas en proporciones tan altas (alrededor de 800 veces), cuando se produce en recipientes cerrados, obliga a prever los consiguientes aumentos de presión y a diseñarlos con los apropiados sistemas de alivio de presión*



FIGURA 9 Botellones criogénicos y carretilla para su transporte.

<b>NITROGENO N<sub>2</sub> LIQUIDO PRESURIZADO</b>		<b>MANTENGA SIEMPRE EL RECIPIENTE EN POSICION VERTICAL</b>	
		<b>PRECAUCIONES</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• LIQUIDO Y GAS MUY FRIOS</li> <li>• PUEDE CAUSAR QUEMADURAS POR BAJA TEMPERATURA</li> <li>• PUEDE CAUSAR ASFIXIA POR DESPLAZAMIENTO DEL OXIGENO</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Almacene y use el Nitrógeno con una ventilación adecuada.</li> <li>• Evite el contacto del líquido con los ojos, piel y ropa</li> <li>• Cuando utilice el Nitrógeno líquido, use pantalón o gafas y guantes de seguridad.</li> <li>• Mantenga la válvula de uso cerrado mientras no utilice el gas o el recipiente esté vacío</li> </ul>
<small>1-21</small>	<small>1985</small>	<b>SECO - ALTA PUREZA</b>	

Para más información, ver nuestro folleto de Instrucciones de Seguridad

FIGURA 10 Etiqueta para utilización de nitrógeno líquido en botellones criogénicos.

ble, dadas las múltiples aplicaciones que la criogenia está encontrando:

Hospitales: Criomedicina (conservación de muestras biológicas, reproducción humana asistida, investigación genética, etc.). Criocirugía.

Laboratorios: Experimentación criofísica (nuevos materiales, cables superconductores, conservación de reactivos).

Reproducción animal: Inseminación artificial.

Industria: Crioaplicaciones (calado de piezas, tratamientos subcero, etc.).

Estos termos (fig. 11) no están presurizados y consiguen mantener el nitrógeno líquido con una tasa de evaporación muy baja (alrededor de 0,3 litros/día) gracias al superaislamiento que incorporan.

Existe una amplia gama de mode-

los y capacidades (entre 3 y 600 litros de nitrógeno líquido) en función de las aplicaciones:

- Refrigeradores:
  - De larga autonomía (hasta 340 días).
  - De gran capacidad (hasta 35 litros).
  - Especiales para transporte de muestras biológicas.
- Grandes unidades almacenamiento para muestras y materiales voluminosos (hasta 610 litros).
- Contenedores de nitrógeno líquido para su almacenamiento y distribución (hasta 50 litros).

En cuanto a la forma de suministro del nitrógeno líquido, puede hacerse:

- Desde tanque criogénico a rellenar por cisterna.

- A partir de botellones intermedios.

- Por medio de contenedores pequeños.

Para una utilización segura de los termos es fundamental que el usuario conozca los riesgos del nitrógeno líquido, especialmente durante las operaciones de trasvase, siguiendo las instrucciones que aparecen en las etiquetas (fig. 12) que llevan estos recipientes.

## RIESGOS DE LOS GASES CRIOGENICOS ATMOSFERICOS

La utilización segura de los gases criogénicos pasa por un conocimiento de los riesgos que tales gases pueden producir, en el supuesto de que no se haga con las mínimas, pero imprescindibles, medidas preventivas.

Los riesgos específicos son la sobreoxigenación, la suboxigenación y las bajas temperaturas. Además,

*Los tres gases criogénicos, cuando están en forma líquida cerca del punto de ebullición, tienen temperaturas extremadamente frías (-190° C.). Tales temperaturas hacen a la gran mayoría de los materiales frágiles y quebradizos.*

también debemos considerar el riesgo asociado de la presión, aunque por su carácter general no consideremos dar mayor información adicional.

### Sobreoxigenación

Este concepto se aplica al aumento de la concentración del oxígeno en el aire por encima del 21 por 100.

Muchas sustancias que normalmente no se queman en el aire, requieren sólo una pequeña chispa o calor moderado para inflamarse en una atmósfera enriquecida de oxígeno. Otras sustancias que son moderadamente combustibles en el aire, se quemarían violentamente en presencia de oxígeno o de una atmósfera sobreoxigenada. Finalmente, las materias orgánicas (aceites, grasas,

etc.) arderán con violencia explosiva cuando están en atmósfera de oxígeno puro.

Asimismo, los gases combustibles aumentan considerablemente el campo entre sus respectivos límites inferior y superior de inflamabilidad, cuando están en atmósfera de oxígeno.

Además, en el caso del oxígeno puro, no es necesario una chispa para iniciar la combustión. Basta con una aportación de energía pequeña, como la que puede producir el rozamiento de una partícula metálica arrastrada a gran velocidad por una corriente de oxígeno, o la elevación de temperatura por una compresión adiabática al abrir bruscamente una válvula de corte.

### Suboxigenación

Se entiende por tal la concentración del oxígeno en el aire inferior al 21 por 100. Esta deficiencia de oxígeno produce asfixia debido a la falta de aporte de oxígeno al cerebro a través de la sangre.

La gravedad de los trastornos irá en aumento a medida de que la concentración se aproxime al 0 por 100 de oxígeno y dependerá fundamentalmente del individuo (constitución, estado de salud, etc.) y del esfuerzo al que esté sometido. Con las debidas reservas, la forma de reaccionar puede verse en la tabla 3, recomendando que se considere, en cualquier circunstancia, que una atmósfera está suboxigenada a partir de una concentración del 18 por 100 de oxígeno en el aire.

Es obvio que la asfixia se producirá debido al desplazamiento del aire por cualquier gas (sea combustible, comburente o inerte) excepto el oxígeno, por lo tanto puede producirse con el nitrógeno y el argón.

### Bajas temperaturas

Los líquidos criogénicos deben ser manipulados con cuidado, debido a las temperaturas tan bajas a las que se encuentran, ya que pueden producir en la piel un efecto similar al de una quemadura. Los gases que se desprenden de los líquidos criogénicos están tan fríos que también pueden producir similares quemaduras en tejidos delicados como son los ojos. Debe ponerse especial cuidado en evitar la ebullición, con el consiguiente salpicado, que siempre se produce al introducir en un recipiente que no esté frío un líquido



*Suboxigenación (concentración de oxígeno en aire inferior al 21%): produce riesgo de asfixia por falta de aporte de oxígeno al cerebro.*

criogénico. Esto es debido al considerable salto térmico (210° C., aproximadamente) entre un recipiente a la temperatura ambiente y el líquido que se pretende introducir en él. En el mismo sentido, también se producen la ebullición y el salpicado cuando se introducen objetos en el líquido.

Además del riesgo de quemaduras, deberá tenerse en cuenta que los materiales blandos y flexibles a la temperatura ambiente, se harán muy duros y frágiles al contacto con un líquido criogénico.

### MEDIDAS PARA EVITAR RIESGOS DURANTE LA UTILIZACIÓN

Una vez conocidos los riesgos, pasamos a detallar las medidas preventivas que deben tomarse para evitar accidentes, considerando en

qué operaciones o situaciones pueden darse tales riesgos.

### Cómo evitar la sobreoxigenación

**Fugas de equipos:** Todo equipo instalado deberá ser comprobado en cuanto a su estanqueidad antes de su puesta en servicio, verificando las pérdidas de presión y detectando las fugas mediante agua jabonosa u otro procedimiento similar. Las pruebas de estanqueidad deben repetirse periódicamente.

Los equipos y elementos auxiliares (mangueras, etc.) deberán manejarse adecuadamente, siempre evitando golpes y daños que puedan producir fugas.

Es muy conveniente dejar sin presión los equipos al acabar la jornada, para prevenir posibles fugas durante el intervalo entre ésta y la siguiente.

**Usos incorrectos del oxígeno:** A continuación se da una lista, no exhaustiva, de usos que son peligrosos y deben estar rigurosamente prohibidos:

- Impulso de herramientas neumáticas.
- Hinchado de ruedas de vehículos, botes de goma, etc.
- Refrescamiento del aire en espacios cerrados.
- Desempolvado de bancadas, maquinaria y vestidos.
- Arranque de motores diesel.

**Derrame de oxígeno líquido:** En la tabla 1 puede verse que una pequeña cantidad de líquido produce una gran cantidad de gas, por lo que los derrames de líquido pueden causar una sobreoxigenación rápidamente, sobre todo en espacios cerrados. Deberá controlarse que durante las operaciones de trasvase o manejo de líquido no se produzcan tales derrames. Si una persona está en una atmósfera sobreoxigenada deberá salir de la zona y airear sus ropas durante varios minutos, para evitar que éstas puedan arder con cualquier chispa, por ejemplo, con un cigarrillo, debido a la concentración de oxígeno en las mismas.

**Oxígeno medicinal:** No debe permitirse a los pacientes que usen aceites cosméticos, ungüentos o grasas cuando están recibiendo oxigenoterapia, ya que tales productos podrían inflamarse espontáneamente.

**Riesgo de incendio:** Dado que la gran mayoría de las materias arderán en una atmósfera sobreoxigenada, deberán tomarse las medidas adecuadas, tales como:



*Sobreoxigenación (concentración de oxígeno en aire superior al 21%): produce riesgo de combustión violenta de sustancias que son moderadamente combustibles en el aire. Las materias orgánicas arderán con violencia explosiva.*

- Utilizar el oxígeno en zonas ventiladas.
- Eliminar las fugas inmediatamente, cortando el suministro de oxígeno, si es posible.
- Ventilar los espacios cerrados.
- Evitar chispas, puntos calientes, etc.

• No fumar.  
También insistimos en la importancia, para evitar incendios, de extremar la limpieza, tanto personal como de locales e instalaciones y equipos, evitando la posibilidad de contacto con el oxígeno de grasas, productos orgánicos, materiales combustibles, etc.

En caso de incendio, ninguna persona debe entrar en la zona sobreoxigenada, ya que corre el riesgo de prenderse las ropas. Si esto ocurre, deberá ser rociada con agua desde fuera de la zona.

Conviene tener en cuenta que si

un incendio está incrementado por una fuga de oxígeno, los sistemas de extinción pueden ser inoperantes si antes no se corta la fuga.

#### Cómo evitar la suboxigenación

**Fugas de gases distintos al oxígeno:** Todo lo indicado en el apartado sobre fugas de equipos es aplicable a los recipientes, canalizaciones y equipos que utilicen gases distintos del oxígeno o aire.

**Evacuación de argón:** Debido a su densidad, mayor que la del aire, el argón es difícil de evacuar de re-

ipientes o fosos. El aire tenderá a flotar sobre el gas, mucho más si el argón está frío, haciendo la evacuación más difícil. Una solución puede ser aspirar el argón desde el fondo del recipiente o foso a evacuar.

**Derrames de nitrógeno o argón líquidos:** La conversión de una pequeña cantidad de líquido en un enorme volumen de gas (ver tabla 1) hace que los derrames puedan causar asfixia mucho más rápidamente en espacios cerrados o profundos.

**Aplicaciones criogénicas:** Algunas aplicaciones (congelación de alimen-

**FIGURA 11**  
Recomendaciones para caso de emergencia para depósitos de nitrógeno líquido

#### INSTRUCCIONES SOBRE ALMACENAMIENTO DE LIQUIDOS CRIOGENICOS

##### NITROGENO LIQUIDO

GAS LICUADO A BAJA TEMPERATURA (-196 °C)

REGLAMENTO DE APARATOS  
A PRESION  
I.T.C. MIE-AP-10

##### PELIGROS

- Gas inerte que no arde ni mantiene la combustión.
- Riesgo de asfixia con concentraciones elevadas.
- En contacto con la piel produce quemaduras debido a su baja temperatura.

##### PROTECCION PERSONAL

- Emplear pantalla facial y guantes resistentes a bajas temperaturas.

##### MEDIDAS DE URGENCIA EN CASO DE ACCIDENTE

##### INSTRUCCIONES GENERALES

- Los excesos de presión son evacuados por las válvulas de seguridad (o el disco de rotura en su caso).
- Si una válvula de seguridad no cerrase, después de eliminar el exceso de presión, deshelar con agua.
- Las salidas de gas por las válvulas de seguridad no entrañan riesgo.

##### FUGAS

- Eliminar fugas si es posible.
- Evitar las proyecciones de líquido.
- Si la fuga es importante, no acercarse hasta que el nitrógeno se haya disipado, hay riesgo de asfixia.
- Si la fuga se produce en lugar cerrado, no penetrar si no es con un equipo autónomo de respiración.
- Procurar conseguir el cierre perfecto de válvulas. No intentar reapretar los racores de conexión que presenten fugas.

##### INCENDIO

- Se pueden emplear toda clase de extintores.
- Mantener el tanque frío rociándole con agua y protegiéndole del calor.
- Cerciorarse del correcto funcionamiento de las válvulas de seguridad.
- Avisar a los bomberos.

##### SOCORRISMO

- Quemaduras por frío: descongelar con agua tibia.
- Quemaduras por fuego: no tocarlas y tapan al herido.
- En caso de asfixia, transportar la víctima al aire fresco y hacerle la respiración artificial o aplicarle un respirador de oxígeno.
- Avisar a un médico.

**PARA MAS INFORMACION CONSULTE LAS INSTRUCCIONES DE FUNCIONAMIENTO Y SEGURIDAD QUE SE LES ENTREGO EN LA PUESTA EN MARCHA DE LA INSTALACION.**

tos, cirugía criogénica, congelación de suelos) son susceptibles de vaporizar grandes cantidades de nitrógeno líquido. Deberá ponerse un cuidado especial en controlar la atmósfera de la zona donde se realicen tales aplicaciones, para que el personal no esté expuesto al riesgo de asfixia.

**Prevención de la asfixia:** Dado que los gases nitrógeno y argón no pueden detectarse por los sentidos, las víctimas de asfixia no se pueden dar cuenta, por sí mismas, de lo que les ocurre.

Conviene tomar las siguientes medidas preventivas antes de entrar en una zona con riesgo de suboxigenación:

- El personal que intervenga debe conocer el riesgo de asfixia y cómo evitarlo.

- Ventilar bien antes de entrar y efectuar un análisis del porcentaje de oxígeno. Repetir los análisis a intervalos regulares o utilizar un analizador portátil con alarma al 19 por 100 de oxígeno.

- Asegurarse de que se han cortado todos los posibles suministros de gas inerte.

- No debe intervenir nunca una persona sola. Además del operario que vaya a realizar el trabajo, otro debe estar fuera de la zona y presto para actuar con los medios adecuados para poder sacarlo de la zona.

- Si fuera necesario entrar en una zona suboxigenada. Se hará siempre, aun por breves instantes, con un equipo de respiración autónomo o semiautónomo.

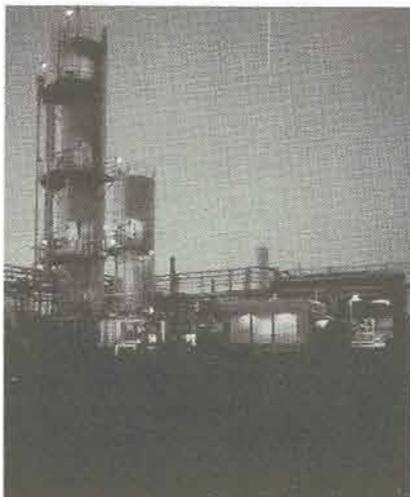
- Debe utilizarse un Permiso de Trabajo que cubra los riesgos previsibles.

Además, si una persona cae desatendida por asfixia, quien pretenda rescatarla también puede sufrir los mismos síntomas si no utiliza un equipo de respiración. Debemos advertir que las máscaras buconasales con filtro no sirven en absoluto para evitar los síntomas de asfixia.

Una vez rescatada la víctima, deberá llevarse al aire libre y restituirle la función respiratoria, haciendo la respiración artificial mediante el método boca a boca y pedir asistencia médica.

## MEDIOS DE PROTECCION PERSONAL

En función de los riesgos se indican a continuación los medios a utilizar.



### Sobreoxigenación:

- **Protección individual:** No es necesaria, dado que una persona puede sobrevivir perfectamente en una atmósfera sobreoxigenada, siempre que no haya una fuente de ignición.

- **Protección colectiva:** Para ciertas aplicaciones conviene disponer de medidores estáticos o móviles (personales), con intervalo de medida entre 0 y 40 por 100 de volumen de oxígeno en la atmósfera.

### Bajas temperaturas

- **Protección individual:** Para entrar en atmósferas suboxigenadas, usar siempre un equipo de respiración autónomo o semiautónomo.

- **Protección colectiva:** Medidores estáticos, enclavados o no con sistemas de ventilación forzada. Medidor portátil con alarma audible. Ambos deben tener prealarma al 19 por 100 y un intervalo de medida de 0 a 25 por 100 de volumen de oxígeno en la atmósfera.

### Suboxigenación

- **Protección individual:** Pantalla facial, o al menos gafas contra salpicaduras (monovisor). Guantes de cuero, que deben estar flojos, de manera que se puedan quitar rápidamente si el líquido cae o salpica en ellos. Botas de media caña, cuando se manejen líquidos en recipientes abiertos.

- **Protección colectiva:** Venteos de gas frío dirigidos adecuadamente para evitar incidir en las personas. Aislamiento de tuberías que lleven líquido para aplicaciones criogénicas, evitando la evaporación y el posible contacto corporal. Tenazas para sacar objetos sumergidos en líquido criogénico.

*Los materiales blandos y flexibles a temperatura ambiente, se harán muy duros y frágiles al contacto con un líquido criogénico.*

## ACTUACION EN CASO DE EMERGENCIA

Las recomendaciones para actuación en caso de accidente con tanques de almacenamiento de oxígeno líquido están resumidas en el cartel que debe ponerse en toda instalación con depósito criogénico, y que aparecen en la figura 6.

Similares recomendaciones para el nitrógeno líquido pueden verse en la figura 13. Para el argón son idénticas a las mismas.

Es muy conveniente que el usuario de un depósito criogénico incluya tales recomendaciones en su propio plan de emergencia, que deberá conocer el personal afectado, realizando las correspondientes prácticas de emergencia periódicas.

## REFERENCIAS

1. Normas sobre construcción, ensayo e inspecciones de cisternas para el transporte de mercancías peligrosas (BOE, 27-9-85).
2. Reglamento Nacional de Transporte de Mercancías Peligrosas por Carretera (TPC) (BOE, 25-9-84).
3. Normas sobre carga y control de la cantidad cargada en el TPC (BOE, 17-4-82).
4. Reglamento de Aparatos a Presión (BOE, 29-5-79).
5. Instrucción Técnica Complementaria MIE-AP-10 «Depósitos Criogénicos», del Reglamento de Aparatos a Presión (BOE, 18-11-83).
6. Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (BOE, 9-9-73).
7. Norma 12, «Botellones criogénicos» de la Instrucción Técnica Complementaria MIE-AP-7, del Reglamento de Aparatos a Presión (BOE, 12-11-82).