

Riesgos de los líquidos criogénicos

SEBASTIÁN GONZÁLEZ ÁLVAREZ, FRANCISCO JOSÉ GÓMEZ GÓMEZ, IGNACIO GARCÍA DELGADO Y ANTONIO ÁNGEL CHAVES MANCERAS

Las quemaduras frías, la congelación, la deficiencia de oxígeno y la asfixia son los principales riesgos de estos líquidos, muy habituales en el ámbito hospitalario

Introducción

En el ámbito sanitario existen una serie de riesgos propios, entre los que se encuentran principalmente contaminantes biológicos y físicos, asociados tanto a la actividad propia de los centros hospitalarios como a los usuarios del sistema.

Las principales características de los riesgos de los centros hospitalarios son la variedad, la intensidad y la multiplicidad.

1. La variedad: conviven riesgos de origen y consecuencias muy diferentes que dependen de las instalaciones existentes, de las operaciones y procedimientos de trabajo que se realicen en ellas.

2. La intensidad: podemos tener exposiciones puntuales muy intensas a determinados agentes biológicos, sustancias químicas o energías y momentos de baja o nula intensidad.

3. La multiplicidad: es habitual trabajar con varios productos, muestras biológicas y equipos o técnicas sofisticadas que puedan emitir energías, por lo que el conocimiento sobre ellas y el modo de prevenir los efectos negativos que puedan ocasionar sobre los trabajadores que las utilicen es básico.

En contraposición a la característica de la intensidad encontramos otra serie de riesgos que están limitados a zonas

localizadas de los centros donde se tratan patologías que requieren equipos especiales con riesgos específicos. La criogenización se encuentra enclavada en este tipo de riesgos, aunque actualmente se está evolucionando a la utilización de líquidos criogénicos en áreas dispersas. Esto hace que no tengamos localizado el peligro, sino que por el contrario éste se expanda por todo el centro hospitalario desde cualquier consulta de dermatología a laboratorios de investigación, quirófanos de trasplantes...

La criogenización consiste en la congelación a muy baja temperatura (-196 °C) y es usada para la congelación de tejidos o células germinales. Los peligros asociados a la criogenización derivan del líquido usado para obtener esas temperaturas próximas a los cien grados Kelvin.

La preservación de material biológico a temperaturas criogénicas (criogenización o criopreservación) consigue detener completamente las reacciones biológicas, lo que permite el almacenamiento indefinido del citado material.

Los procesos de criogenización pueden controlarse de forma que el daño que sufran las células sea mínimo y, por tanto, la recuperación sea máxima.

La congelación incontrolada de células puede producir la formación de hielo intracelular o daños osmóticos, pero existen diversas formas para intentar evitar estos daños. La más eficiente es la congelación controlada mediante congeladores programables alimentados por nitrógeno líquido.

Criobiología

La criobiología es la ciencia que trata el comportamiento de los seres vivos o de sus constituyentes a muy bajas temperaturas. La preservación del material biológico tiene por objeto mantenerlo en estado viable para que pueda ser utilizado en trasplantes y pueda llevar a cabo su función fisiológica después de la misma.

La criopreservación biológica se utiliza para almacenar a largo plazo materiales biológicos que deben ejercer sus funciones fisiológicas normales después de descongelados.

Es particularmente útil para mantener viable el material entre su obtención y su utilización cuando hay un período de tiempo largo entre ambos procesos.

El desarrollo de las técnicas de criobiología y criopreservación ha permitido el progreso de muchas terapias de trasplante y de reproducción asistida.



Agentes biológicos criopreservados

Hay una gran variedad de materiales biológicos que se criopreservan para ser utilizados posteriormente.

1. Médula ósea
2. Tendones
3. Stell cells
4. Córneas
5. Linfocitos
6. Paratiroides
7. Hematíes
8. Hepatocitos
9. Plaquetas
10. Piel
11. Embriones
12. Válvulas cardíacas
13. Ovocitos
14. Arterias y venas
15. Tejido ovárico
16. Islotes de Langerhans
17. Semen
18. Tráquea
19. Huesos
20. Uretra
21. Cartílagos
22. Placenta
23. Condorcitos

Todos estos materiales tienen en común que son células individuales o tejidos en los que la administración de crioprotectores y el cambio de temperatura de todo el material puede hacerse de

manera homogénea. Este no es el caso de órganos o miembros completos, porque la variedad de tejidos y tipos celulares que integran los mismos impide la utilización de la congelación idónea para todos los tipos a la vez.

La situación se complica porque el tamaño de los órganos hace que la transmisión de calor sea más difícil que en células individuales o tejidos. Así, si se congela en condiciones óptimas la parte exterior de un órgano, probablemente dichas condiciones no serán las idóneas en el centro del mismo.

Almacenamiento de materiales biológicos criopreservados

A la temperatura del nitrógeno líquido a presión atmosférica (-196°C), las reacciones bioquímicas se paran y no se producen procesos biológicos que puedan dar lugar a daños o envejecimiento. Se considera que el único factor limitador del tiempo de almacenamiento es la radiación cósmica, que puede llegar al material almacenado y dañar el ADN. El tiempo necesario para que estos daños sean significativos ha sido estimado entre 5.000 y 11.000 años. Es decir, a efectos prácticos, el almacenamiento puede considerarse como indefinido.

Uso del nitrógeno líquido

El nitrógeno líquido se usa en el ámbito sanitario como elemento de criopreservación biológica y con fines terapéuticos en:

1. Centros de transfusiones sanguíneas.
2. Bancos de tejidos (centros en los que se procesan, criopreservan y almacenan tejidos de donantes con el fin de mantenerlos para posibles aplicaciones médicas).
3. Hematología (clínica y laboratorio).
4. Centros de reproducción asistida.
5. Oncología.
6. Alergología.
7. Investigación.
8. Dermatología.

Riesgos de la criogenización

Los líquidos que se utilizan en la criogenización son oxígeno, nitrógeno, argón, helio y dióxido de carbono. Las medidas de seguridad que se propondrán en el estudio son asimilables a todos los líquidos criogénicos, aunque el estudio está realizado sobre el nitrógeno líquido que es el que se usa comúnmente en los centros hospitalarios.

Características físicas de los líquidos criogénicos

Las características físicas del nitrógeno, helio, argón, hidrógeno y oxígeno se resumen en la *tabla 1*.

RESUMEN

La utilización de los líquidos criogénicos está muy extendida en el ámbito sanitario. Los principales peligros que presentan se deben a las condiciones físicas en las que se encuentran (temperatura, presión de vapor...). Los riesgos más comunes de estos líquidos son: quemaduras frías, congelación e hipotermia, deficiencia de oxígeno en el aire y asfixia. Estos riesgos se controlan por medio de unas medidas de protección colectivas (detectores de concentración de oxígeno, diseño de instalación...) e individuales (guantes, gafas...)

Principales peligros del nitrógeno líquido

Los principales peligros que presenta el nitrógeno líquido son:

1. Quemaduras frías, congelación e hipotermia.
2. Deficiencia de oxígeno en el aire y asfixia.
3. Enriquecimiento de oxígeno.
4. Presurización y explosión.
5. Daño a equipos.

La deficiencia de oxígeno es un peligro "silencioso", debido a que sin medios técnicos no es detectable, además se puede presentar en las condiciones normales de funcionamiento.

El nitrógeno líquido, al cambiar de fase líquida a gaseosa, incrementa su volumen un 683% (a 15 °C y 1 atm.). Este cambio de volumen es el que genera variaciones en la concentración de oxígeno en el lugar donde se produce la manipulación.

Efectos de la concentración en el cuerpo humano

Una concentración deficiente de oxígeno provoca efectos adversos en el cuerpo humano hasta producir incluso la muerte (tabla 2).

Las concentraciones inferiores al 6% es posible obtenerlas si se produce un derrame del líquido criogénico o si respiramos en las proximidades del depósito por realizar alguna manipulación incorrecta.

Otro factor que va a influir en la concentración de oxígeno en los lugares donde se manipule nitrógeno líquido son las renovaciones de aire del local.

El cerebro y la falta de oxígeno

Todos los tejidos del organismo pueden verse afectados por un cuadro de anoxia o por uno de hipoxia; todos, en mayor o en menor medida, sufren dicha situación y pueden verse dañados en forma

a veces irreversible e irreparable. El daño depende siempre del grado de dificultad en la llegada del oxígeno y del tiempo que dure el cuadro.

Pero sin lugar a dudas, es el tejido neurológico el que sufre con mayor severidad estos cuadros ya que, por su carácter inherente de ser irreparable, cualquier obstrucción en la llegada de oxígeno al mismo puede dejar secuelas irreparables. El daño que ocasiona la anoxia en el cerebro puede traducirse en la pérdida de aquellas funciones cognitivas, motoras o del lenguaje, cuyo sustrato orgánico se encuentra en la región cerebral afectada por el cuadro particular de falta de suministro de oxígeno.

Otros tejidos que sufren en gran medida la falta de oxígeno son el corazón y el riñón.

Cálculo de la concentración de oxígeno

La concentración de oxígeno es un factor determinante en la seguridad y salud del trabajador, se considera una ventaja tener conocimiento de ésta a la hora de poder adoptar medidas preventivas específicas.

Se analizan varias hipótesis de cálculo para obtener la concentración de oxígeno en varias circunstancias; llenado del recipiente, derrame del depósito y derrame del depósito a la vez del llenado.

Llenado del depósito

Las ecuaciones que rigen la concentración de oxígeno durante el llenado de los depósitos de nitrógeno líquido son:

$$C_{O_2} = (100 / VR) * 0,21 * [VR - (0,1 * VD * F_g / 1000)]$$

Donde:

Cox = Concentración de oxígeno en la sala donde se produce el llenado.

0,1 = Aproximadamente se evapora el 10% del producto de llenado.

VR = Volumen de la sala donde se produce el llenado (en m³).

VD = Volumen del depósito donde se encuentra el líquido criogénico.

0,21 = Concentración normal de oxígeno en el aire (21%).

Fg = Factor del gas que se evapora, en este caso nitrógeno líquido (683).

/ = dividido por.

* = multiplicado por.

Derrame del depósito

En esta situación se produce el derrame de todo el contenido del depósito (por vuelco, rotura...). Las ecuaciones que rigen la concentración de oxígeno

Tabla 1. Características físicas de líquidos criogénicos.

Características físicas	Helio	Hidrógeno	Nitrógeno	Argón	Oxígeno
Temperatura de ebullición a 1 atm (en °C)	-269	-253	-196	-186	-183
Densidad del líquido a 1 atm (en Kg/l)	0,125	0,071	0,808	1,40	1,142
Densidad del gas a 1 atm y 15 °C. (en kg/m³)	0,167	0,084	1,17	1,67	1,34
Densidad relativa respecto del aire a 1 atm y 15 °C.	0,136	0,068	0,95	1,36	1,09
Volumen del gas obtenido del 1 litro de líquido a 15 °C y 1 atm	749	842	691	836	854

Tabla 2. Efectos y síntomas según la concentración de oxígeno.

Concentración de oxígeno	Efectos y síntomas (en condiciones normales)
[18 - 21]	No existen síntomas apreciables
[11 - 18]	Pérdida de reflejos sin pérdida de conocimiento
[8 - 11]	Posibilidad de desmayo en pocos minutos sin previo aviso Riesgo de muerte por debajo de 11%
[6 - 8]	Desmayo en pocos minutos Reanimación posible si es rescatado
[0 - 6]	Desmayo casi inmediato Pueden ocurrir daños cerebrales incluso si es rescatado.



Figura 1. Almacenamiento exterior de nitrógeno líquido.



Figura 2. Depósito de nitrógeno líquido.

durante el derrame de los depósitos de nitrógeno líquido son:

$$C_{ox} = (100 / VR) * 0,21 * [VR - (1 * VD * Fg / 1000)]$$

Donde:

Cox = Concentración de oxígeno en la sala donde se produce el llenado.

1 = Se derrama todo el contenido del depósito.

VR = Volumen de la sala donde se produce el llenado (en m³).

VD = Volumen del depósito donde se encuentra el líquido criogénico.

0,21 = Concentración normal de oxígeno en el aire (21%).

Fg = Factor del gas que se evapora, en este caso nitrógeno líquido (683).

/ = dividido por.

* = multiplicado por.

Llenado y derrame del depósito

Nos encontramos en el peor de los casos previsibles, debido a que se evaporará el total del volumen del depósito más lo que se evapora al llenar el depósito. Las ecuaciones que rigen la concentración de oxígeno durante el derrame y llenado de los depósitos de nitrógeno líquido son:

$$C_{ox} = (100 / VR) * 0,21 * [VR - (1,1 * VD * Fg / 1000)]$$

Donde:

Cox = Concentración de oxígeno en la sala donde se produce el llenado.

1,1 = Se derrama todo el contenido del depósito más lo que se evapora al llenarlo.

VR = Volumen de la sala donde se produce el llenado (en m³)

VD = Volumen del depósito donde se encuentra el líquido criogénico.

0,21 = Concentración normal de oxígeno en el aire (21%)

Fg = Factor del gas que se evapora, en este caso nitrógeno líquido (683).

/ = dividido por.

* = multiplicado por.

En la *tabla 3* se presenta la concentración de oxígeno presente en el ambiente al producirse un derrame de un “vaso dewar” o depósito dependiendo del lugar donde se produzca dicho derrame (se ha supuesto para el cálculo del volumen de la habitación que la altura de la misma corresponde a 3 metros)

Medidas de prevención ante líquidos criogénicos

Principios de la acción preventiva

Las actuaciones preventivas en materia de líquidos criogénicos deben ir encami-

nados a cumplir los principios básicos previstos en la ley de prevención de riesgos laborales:

Evitar los riesgos. En nuestro caso no disponemos de ningún método alternativo que nos elimine los riesgos de trabajo con nitrógeno líquido.

Evaluar los riesgos que no se puedan evitar.

Combatir los riesgos en su origen. Si es posible utilizar otra sustancia menos peligrosa, debemos utilizarla.

Adaptar el trabajo a la persona, en particular en lo que respecta a la concepción de los puestos de trabajo, así como a la elección de los equipos y los métodos de trabajo y de producción, con miras, en particular, a atenuar el trabajo monótono y repetitivo y a reducir los efectos del mismo en la salud.

Tabla 3. Concentración de oxígeno en locales según superficie y volumen del derrame.

Superficie habitación (m²)	Volumen del derrame (en litros)						
	1	5	10	50	100	500	2000
10	20,52	18,61	16,22	0	0	0	0
30	20,84	20,2	19,41	13,03	5,06	0	0
40	20,88	20,4	19,8	15,02	9,05	0	0
50	20,9	20,52	20,04	16,22	11,44	0	0
60	20,92	20,6	20,2	17,02	13,03	0	0
70	20,93	20,66	20,32	17,59	14,17	0	0
80	20,94	20,7	20,4	18,01	15,02	0	0
90	20,95	20,73	20,47	18,34	15,69	0	0
100	20,95	20,76	20,52	18,61	16,22	0	0
200	20,98	20,88	20,76	19,8	18,61	9,05	0
300	20,98	20,92	20,84	20,2	19,41	13,03	0

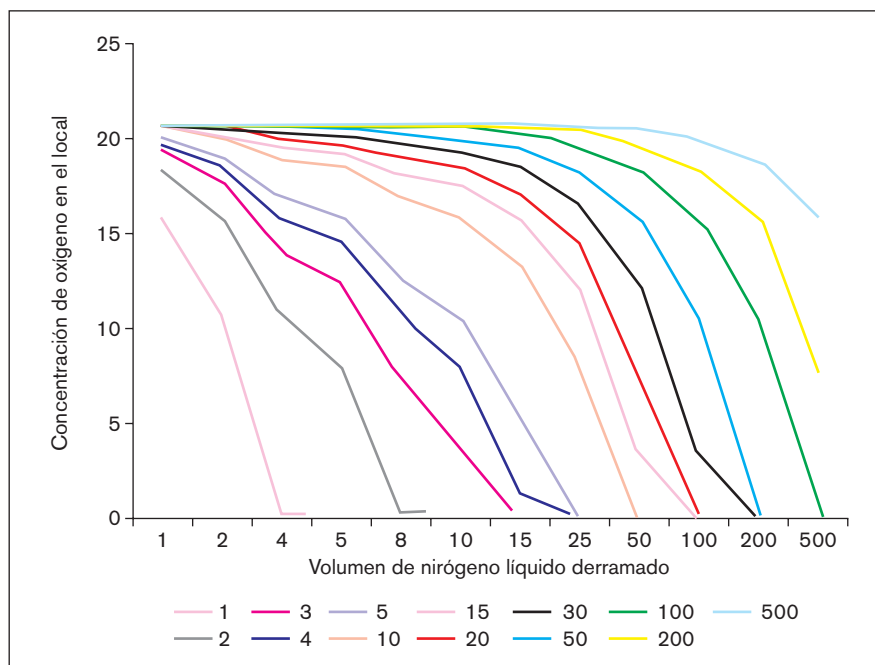


Tabla 4. Concentración de oxígeno en locales según superficie y volumen de derrame.

Tener en cuenta la evolución de la técnica. Los depósitos de nitrógeno líquido han evolucionado desde su comienzo; en la actualidad disponen de un material absorbente que en caso de derrame impide la salida del gas licuado.

Sustituir lo peligroso por lo que entrañe poco o ningún peligro.

Planificar la prevención, buscando un conjunto coherente que integre en ella la técnica, la organización del trabajo, las condiciones de trabajo, las relaciones sociales y la influencia de los factores ambientales en el trabajo.

Adoptar medidas que antepongan la protección colectiva a la individual.

Dar las debidas instrucciones a los trabajadores.

Relativas a los trabajadores

Los trabajadores que manipulen equipos criogénicos deben tener formación sobre sus riesgos específicos, así como conocer las propiedades físicas y químicas de los líquidos utilizados.

Los trabajadores que realizan la manipulación diaria de estos equipos deben ser personal cualificado con formación específica y deben conocer los riesgos propios de esta actividad. El resto de trabajadores y personal expuesto deben conocer la existencia (señalización, etiquetado...) y los riesgos que presentan estos equipos.

Equipos de protección individual

Estos equipos están destinados al contacto accidental con el líquido criogé-

nico, en ningún caso su misión es la inmersión o contacto prolongado.

Equipos para la cara

Debe proteger contra contactos por salpicaduras durante la manipulación, podrán ser de tipo gafas o protector facial, debiendo cumplir la norma UNE EN 166, categoría 3.

Equipos para manos

Deben ser guantes especiales contra protección al frío UNE EN 511. Debe tenerse en consideración posibles salpicaduras en la entrada al guante, por lo que deben llegar hasta el antebrazo.

Equipos para el cuerpo

Deben evitarse la existencia de bolsillos u orificios donde se puedan almacenar salpicaduras.

Equipos para los pies

No se permiten sandalias o zapatos abiertos. Deben usarse zapatos cerrados que no permitan el almacenamiento de salpicaduras.

Equipos de respiración autónoma

En caso de atmósfera con baja concentración de oxígeno, equipos según UNE EN 137.

Relativas a las instalaciones

La concentración de oxígeno en el local debe ser controlada para indicar al trabajador la existencia de una atmósfera pobre en oxígeno.

Deberemos tener un control permanente (monitorización) de las características del aire ambiental. Cuando éstas se encuentren cercanas a unos niveles peligrosos para el usuario, se debe activar una señal que permita al trabajador evitar el riesgo.

Debemos tener una ventilación en condiciones normales de 15 renov/h en el local donde se encuentren los líquidos criogénicos, y en condiciones de riesgo, debemos disponer de un medio auxiliar que permita mantener una calidad del aire adecuada para el trabajador.

Las características técnicas del local deben ser las adecuadas para soportar el peso de los depósitos y los efectos adversos de posibles derrames.

Relativas al transporte de los vasos dewar

La manipulación del nitrógeno líquido es necesaria en el ámbito sanitario. Se deben adoptar las medidas preventivas adecuadas para el transporte, tanto horizontal como vertical. Estas medidas deben introducirse en los procedimientos de trabajo y ser conocidas por los trabajadores. Especial peligrosidad presenta el transporte horizontal en ascensores (al convertirse en un espacio confinado). Durante el transporte vertical se debe vigilar siempre el vaso dewar para evitar posibles manipulaciones inadecuadas por personal no formado.

Se debe entregar al responsable del nitrógeno líquido al responsable de su recepción, que deberá tener conocimientos de los riesgos de la manipulación y disponer de los equipos de protección adecuados.

Relativas a los primeros auxilios

Actuaciones que debemos realizar como primeros auxilios si se produce la inhalación, contacto con la piel o los ojos del nitrógeno líquido.

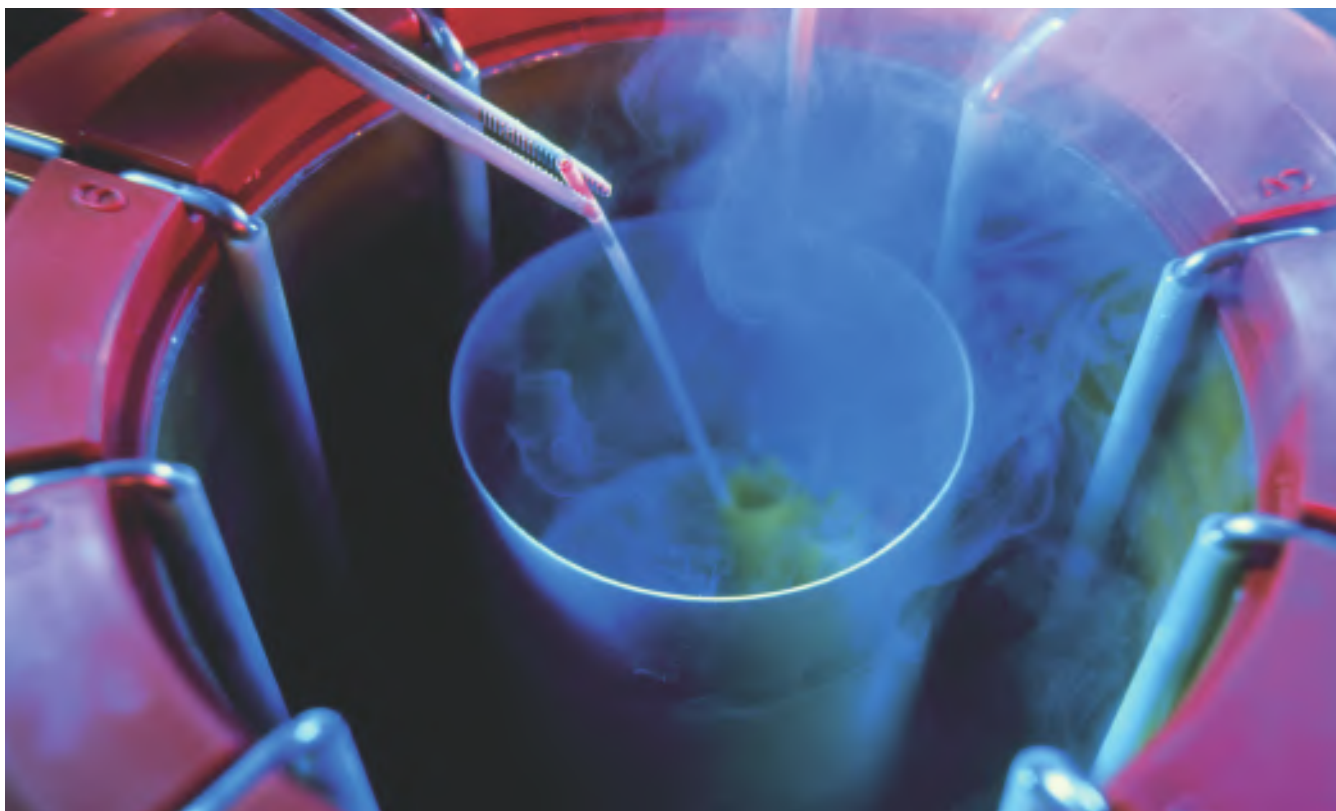
Inhalación

A elevadas concentraciones puede causar asfixia. Los síntomas pueden incluir la pérdida de la conciencia o de la movilidad. Se debe retirar al trabajador accidentado a un área no contaminada llevando colocado el equipo de respiración autónoma. Hay que mantener al trabajador accidentado caliente y en reposo.

Debemos avisar al personal facultativo de urgencias; mientras éste llega, debemos aplicar el Soporte Vital Básico si fuera necesario.

Contacto con la piel y con los ojos

Si se ha producido un contacto con los ojos debemos lavarlos inmediatamente



con abundante agua durante 15 minutos. Debemos disponer de un lavavojos para poder realizar esta actividad con la mayor facilidad posible.

Debemos lavar la piel durante 15 minutos con agua en la zona de contacto con el contaminante.

En caso de congelación, rociar con agua durante 15 minutos y aplicar un vendaje estéril.

El personal facultativo debe atender al accidentado lo antes posible.

Relativas a escapes o derrames

Medidas que deben tomar los trabajadores del área en que se encuentran los depósitos o vasos dewar que contienen nitrógeno líquido en caso de derrame accidental.

Precauciones personales

Debemos realizar la evacuación del área en que se ha producido el derrame e informar de la situación a las áreas adyacentes. Al encontrarnos en un recinto hospitalario, podemos encontrarnos con usuarios del sistema que no puedan cooperar con los equipos de evacuación.

Para entrar en la zona donde se ha producido el derrame debemos asegurarnos que la atmósfera está en unas condiciones ambientales adecuadas para los trabajadores. Sino es así se utilizarán equipos de respiración adecuados a la atmósfera existente.

La ventilación es una medida que nos permite elevar el contenido de oxígeno del área en la que se ha producido el derrame; debemos realizar actuaciones encaminadas a favorecerla.

Precauciones para la protección del medio ambiente

Hay que intentar paralizar el derrame o escape en el menor tiempo posible y actuar sobre posible efectos de acumulación del nitrógeno líquido en sótanos, alcantarillas u otros lugares a los que pudiese fluir.

Métodos de limpieza

El mejor método de limpieza de este contaminante es la ventilación del área, con la cual conseguiremos volver a la situación originaria.

Bibliografía

- Code of Practice CP30. The safe use of liquid nitrogen dewars up to 50 litres. British Compressed Gases Association.
- Norma UNE EN 166:02; Protección individual de los ojos. Especificaciones.
- Norma UNE EN 511:96; Guantes de protección contra el frío.
- Handbook – fundamentals; 1997 ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers)
- Ficha de datos de seguridad del nitrógeno líquido (2002).

Internet

- <http://www.carbueros.com/htm/pdf/NITROGENOLIQUEIDO.pdf>.

AUTORES

Sebastián González Álvarez

sebastian.gonzalez.sspa@juntadeandalucia.es

Ingeniero técnico industrial en Mecánica y Electricidad. Técnico superior en PRL (seguridad, higiene y ergonomía). Actualmente trabajando con técnico en prevención de riesgos en el Hospital Regional Universitario Carlos Haya.

Francisco José Gómez Gómez

fjose.gomez.sspa@juntadeandalucia.es

Diplomado en Enfermería. Técnico superior en PRL (seguridad, higiene y ergonomía) por la Universidad de Málaga. Experto universitario en Prevención de Riesgos Laborales. Experto universitario en Dirección y Gestión de la Calidad en la Producción y los Servicios. En la actualidad Jefe de Unidad de Prevención de Riesgos Laborales del Hospital Regional Universitario Carlos Haya.

Ignacio García Delgado

ignacio.garcia.sspa@juntadeandalucia.es

Ingeniero industrial. Técnico superior en PRL (seguridad, higiene y ergonomía) por la Universidad de Málaga. Experto universitario en Prevención de Riesgos Laborales. Actualmente trabajando con técnico en prevención de riesgos en el Hospital Regional Universitario Carlos Haya.

Antonio Ángel Chaves Manceras

antonioa.chaves.sspa@juntadeandalucia.es

Técnico especialista en Electrónica Industrial y Equipos Informáticos. Técnico auxiliar en Cuidados de Enfermería. Desde 2004, técnico intermedio Prevención Riesgos Laborales en el Hospital Regional Universitario Carlos Haya.