

INSTALACIONES Y REGLAMENTACIÓN ESPECÍFICA

4.1. Clasificación de zonas ATEX

Xavier de Gea Rodríguez

Licenciado en Ciencias Químicas



ENGINYERS | BCN



COL·LEGI D'ENGINYERS GRADUATS
I ENGINYERS TÈCNICS INDUSTRIALS
DE BARCELONA

Con el soporte de:

oñaz® 

Créditos

Autor:

Xavier de Gea Rodríguez

Coordinación:

Laia Liébana y Òscar Rosique

Revisión:

Comissió de Seguretat Contra Incendis i Emergències

Coordinación editorial:

Departament de Formació, Comunicació i Màrqueting

1ª Edición:

Octubre de 2020

Edita:

Col·legi d'Enginyers Graduats i Enginyers Tècnics Industrials de Barcelona

Consell de Cent, 365 - 08009 Barcelona

Tel.: 934 96 14 20 - Fax: 932 15 20 81

ebcn@ebcn.cat - www.enginyersbcn.cat

Corrección y asesoramiento lingüístico:

l'Apòstrof

Diseño gráfico:

[María Luque](#)

Índice

1. Introducción: ¿Qué son las atmósferas explosivas?	04
2. Directivas y normas de aplicación en atmósferas explosivas	12
2.1. Directiva sobre equipos en áreas de trabajo 2014/34/UE. Real Decreto 144/2016	12
2.2. Directiva sobre instalaciones de trabajo 1999/92/CE. Real Decreto 681/2003	16
3. Términos y definiciones	18
3.1. Variaciones del vocabulario entre norma 2010 y 2016	22
4. Principios y metodología para la clasificación de zonas	23
4.1. Clasificación de zonas con atmósferas explosivas gaseosas (gases, vapores y nieblas)	32
4.1.1. Ejemplos de gases y vapores	70
4.2. Clasificación de zonas con atmósferas explosivas de polvo	77
5. Anexos	90

1. Introducción: ¿Qué son las atmósferas explosivas?

Para empezar, hay que definir qué son las atmósferas explosivas (en adelante, ATEX) y, una vez definidas, saber cuándo empiezan a generar riesgo para ponderarlo clasificando este riesgo en lo que se conoce como clasificación de zonas.

ATEX es el acrónimo que proviene del francés “ATmosphere EXplosive” y se utiliza para referirse a la mezcla de aire con una sustancia inflamable o combustible en estado gas, vapor de líquido inflamable, niebla de líquido combustible o polvo combustible. Esta mezcla, en condiciones atmosféricas y en cantidad suficiente y no excesiva, que cuando se inflama, se propaga cuasi instantáneamente a todo el conjunto de la mezcla, liberando mucha energía muy rápidamente (*).

Hay que tener en cuenta que no siempre una sustancia puede generar una atmósfera explosiva peligrosa, ya que esta debe alcanzar una concentración mínima (límite inferior de inflamabilidad) y no superar una máxima (límite superior de inflamabilidad).

Siendo el rango de explosividad el valor de concentraciones de la sustancia inflamable comprendido entre el LII (límite inferior de inflamabilidad) y el LSI (límite superior de inflamabilidad), para identificar este riesgo ATEX lo primero que debemos conocer son estos límites para cada sustancia y saber si se alcanzan o superan estos límites o si se está dentro del rango de explosividad y por tanto existe ATEX.

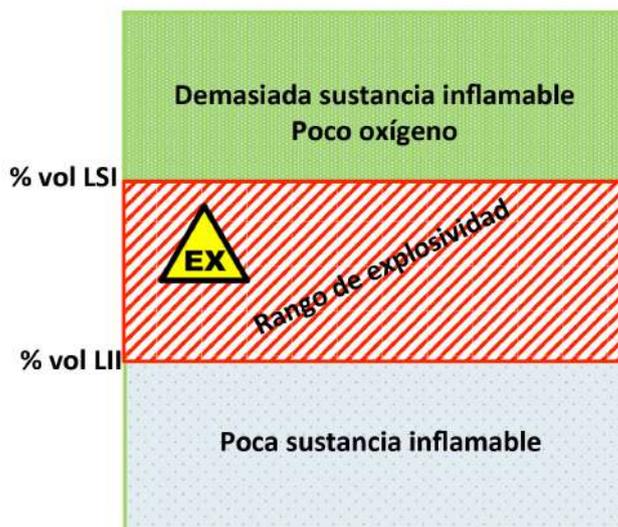


Fig. 1. Rango de explosividad

El enfoque de la presente guía, siempre que sea posible, será “el de no tener ATEX” y, por tanto, la eliminación de un riesgo. Para ello, es básico conocer cómo y cuándo pueden aparecer las atmósferas explosivas e intentar que no vuelvan a hacerlo durante el proceso productivo. Es nuestra obligación, si es posible, procesar por debajo de una concentración mínima (LII) o tener demasiada sustancia (LSI), es decir, tener una concentración de saturación (LSI).

Una vez determinada la presencia de estas mezclas peligrosas, se debe evaluar la duración de estas apariciones, ya que pueden ser permanentes, ocasionales o raras.

Una vez determinada la causa de la aparición, hay que intentar impedirlo o eliminarlo lo antes posible. Esta es la base de la clasificación en zonas ATEX. Por tanto, debemos disponer de dos tipos de clasificaciones: las que si no actuáramos y las que si actuamos de manera efectiva en el control o minimización de estas zonas.

Con la presente guía, queremos hacer referencia a la **obligatoriedad** de no tener ATEX y, por tanto, referenciaremos los sistemas y métodos de eliminación de ATEX bien evitando que aparezcan, bien actuando sobre su aparición antes de que lleguen a un nivel peligroso.

¿Cuándo es aplicable la clasificación de zonas?

Hay que apuntar que no se puede aplicar el término ATEX a sustancias que, aun pudiendo provocar una explosión, sobre ellas existen reglamentaciones específicas, ya sea por su naturaleza inestable o explosiva.

Será de aplicación en condiciones atmosféricas de temperatura entre $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ y de presión de entre 0,8 bara y 1,2 bara ($-0,2\text{ barg}$ a $+0,2\text{ barg}$) y, por tanto, no es aplicable si las condiciones no son presiones normales tales como hiperbáricas o hipobáricas.

Las características fisicoquímicas de las sustancias nos van a condicionar la posibilidad de formar mezclas explosivas; en este aspecto, la temperatura y las concentraciones de oxígeno son determinantes.

Los gases de por sí ya se presentan en la fase gaseosa de la sustancia y, por tanto, si son inflamables y siempre pueden generar ATEX muy fácilmente.

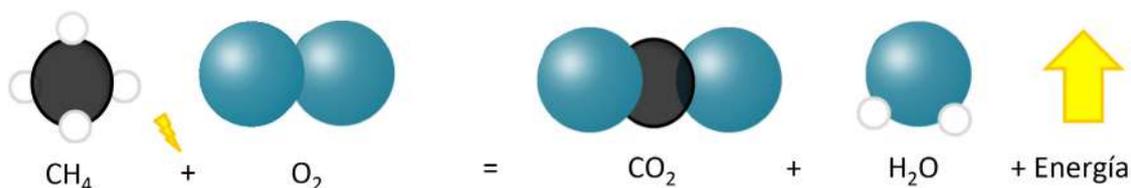


Fig. 2. Reacción de oxidación exotérmica

Así, para un líquido, la temperatura a la que se emplea puede determinar si es capaz de generar suficientes vapores inflamables o no; la temperatura que nos informa sobre esta capacidad es la temperatura de destello o *flash point*.

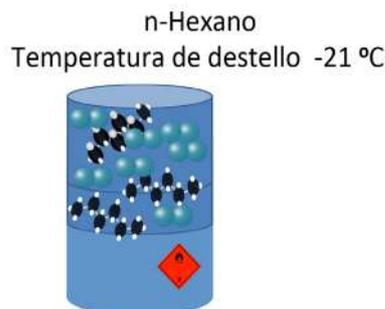


Fig. 3. Hexano temperatura de destello $-21\text{ }^{\circ}\text{C}$

El n-Hexano tiene una temperatura de destello de -21 °C y, por tanto, es inflamable y es capaz de generar vapores que se mezclarán con el aire generando ATEX, con una extensión determinada, sobre la cual podremos actuar para su minimización.

Si la temperatura de destello es inferior a 55 °C, el líquido debe ser considerado inflamable y, por tanto, debemos evaluar la posibilidad de generar ATEX; si es superior, será combustible pero deberemos comprobar la temperatura de uso y si esta está por encima de su punto de destello podría generar zonas ATEX. Hay que recordar que las condiciones atmosféricas en cuanto a temperatura son hasta 80 °C, pero se debe considerar, siempre y cuando se procesen a temperaturas superiores al punto de destello, el riesgo de formación de ATEX.

Los vapores van a reaccionar igual que los gases.

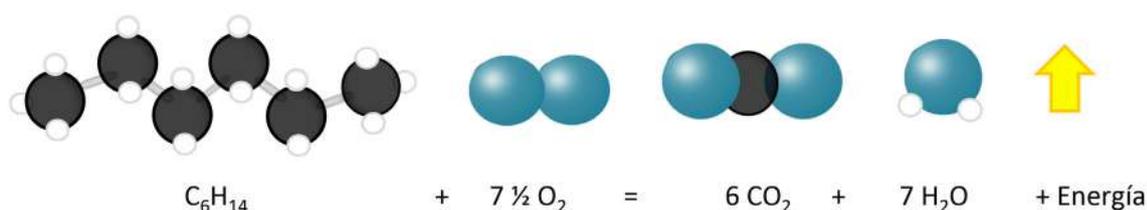


Fig. 4. Estequiometría de la reacción

Para los sólidos, hay que decir que son combustibles y no inflamables, ya que no generan vapores suficientes para llegar a formar ATEX y, por tanto, no tienen temperatura de destello.

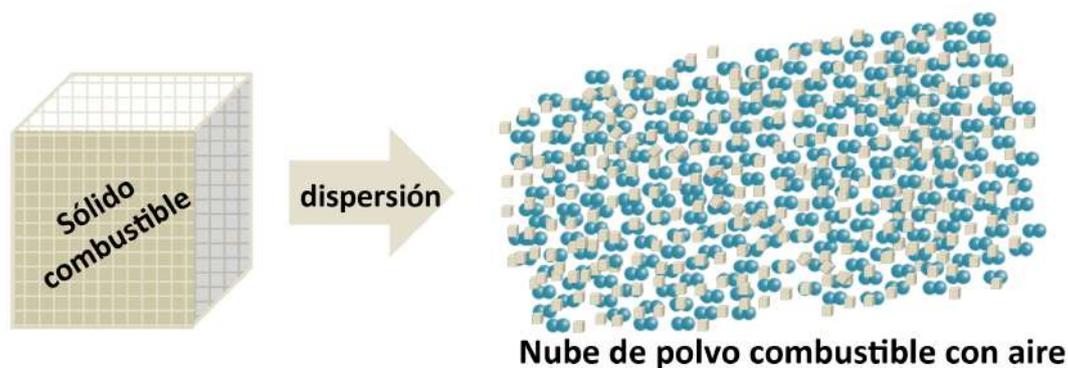


Fig. 5. El sólido debe dispersarse en nube para generar ATEX esto requiere de aporte energía de dispersión

Otro aspecto físico a remarcar en el caso de sólidos combustibles es el tamaño de partícula. Este nos va a determinar la facilidad de generar o no ATEX, si son capaces de generar nubes de polvo o fibras, teniendo en cuenta que se denomina polvo a aquellas partículas sólidas esféricas de un radio inferior a las 500 micras (<0,5 mm) y fibras a las partículas alargadas de hasta 3.000 micras (3 mm) de longitud y un máximo diámetro de 500 micras. Desde el punto de reactividad hay que remarcar que a menor tamaño más riesgo.

En el aspecto físico, el polvo siempre pesa más que el aire, por lo que la duración de las nubes de polvo es temporal y tiende a sedimentarse y generar capas de polvo, con lo que la ATEX desaparece también temporalmente.

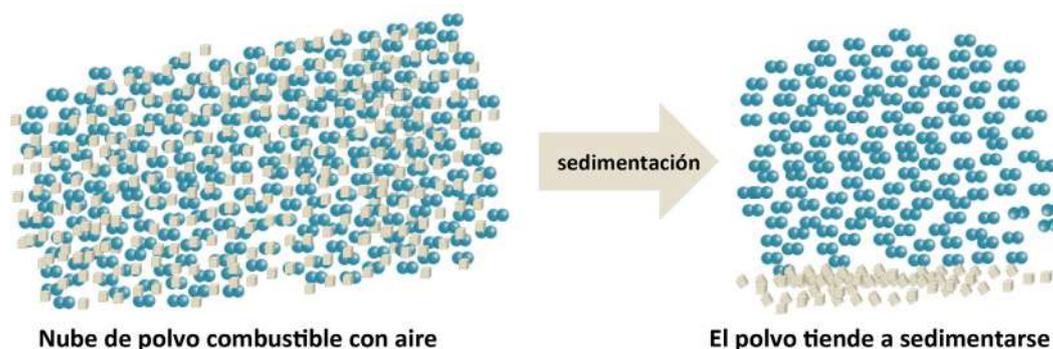


Fig. 6. Sin energía de dispersión el polvo tenderá a depositarse al ser más pesado que el aire

Estas capas de polvo, si no se eliminan, pueden volver a formar nubes de polvo y, por tanto, ATEX si se dispersan por una acción mecánica de soplido de aire. Por ejemplo:

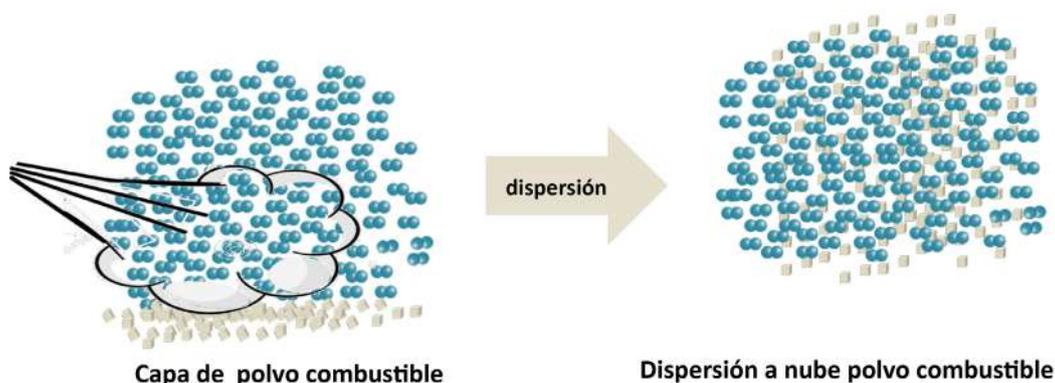


Fig. 7. Las capas de polvo pueden volver a formar nubes.

En la mayoría de ocasiones, las sustancias no se presentan puras sino que forman parte de mezclas de sustancias y, por tanto, sus características de explosividad pueden variar sustancialmente e incluso dejar de ser inflamables, ya que si se mezclan con otras inertes (no oxidables) en cantidad suficiente pueden llegar a dejar de ser combustibles.

Así pues, los parámetros que determinan la aparición o no de ATEX son los relativos a la concentración (**), a las condiciones de uso (temperatura y presión) y a las características de la sustancia tamaño de partícula en los sólidos. Sin olvidar la concentración de oxígeno, que en algunos procesos puede ser inferior a la ambiental y afectar drásticamente a la inflamabilidad de la sustancia.

Así pues, en ocasiones podríamos actuar sobre las condiciones de proceso para que no aparezcan ATEX:

- Ventilación natural o forzada que diluye la sustancia hasta niveles inferiores al LII.
- Aspiración en puntos de generación de polvo impidiendo que se llegue al LIE.
- Humidificación en polvos que aumentan el tamaño de partícula, haciendo que no puedan existir nubes de polvo.
- Reducir la concentración de oxígeno. En sólidos se utiliza la CLO (concentración límite de oxígeno).

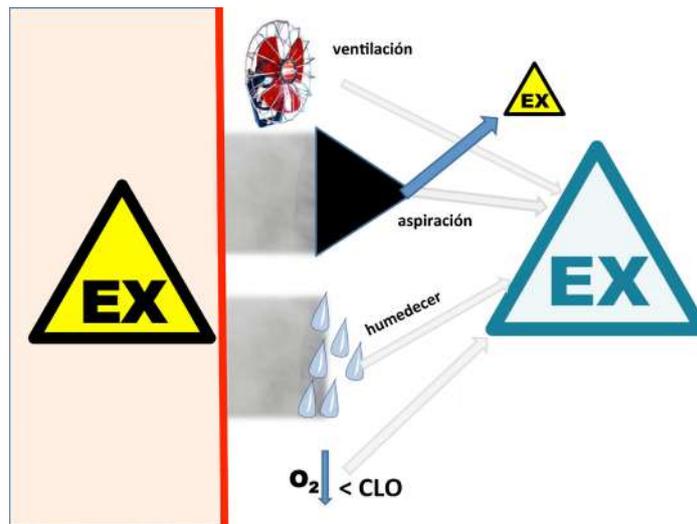


Fig. 8. Podemos eliminar ATEX por ventilación, mojando el polvo o eliminando el oxígeno o podemos aspirar ATEX cuando empieza a formarse y moverla a otro lugar

Peligrosidad de la ATEX generada

Una vez identificada la posibilidad de formación de ATEX, para acabar de ponderar el riesgo de esta atmósfera explosiva se debe saber si esta ATEX es potencialmente generadora de una explosión peligrosa o solo de una deflagración atmosférica. Si bien ambos casos tienen riesgo, la explosión lo es más; la diferencia la marca si esta ATEX se genera en un recipiente o en un ambiente o espacio abierto.

ATEX en un recipiente

Si una ATEX está en un recipiente, el riesgo es que al inflamarse, la combustión será sumamente rápida y se liberará mucha energía en forma de calor (aumento de temperatura) en el interior del recipiente, el cual, al tener un volumen acotado, no permitirá expandirse a los gases y, por tanto, aumentará la presión hasta que el recipiente no resista y “explote”. Es este el mayor riesgo asociado a las ATEX, la explosión.

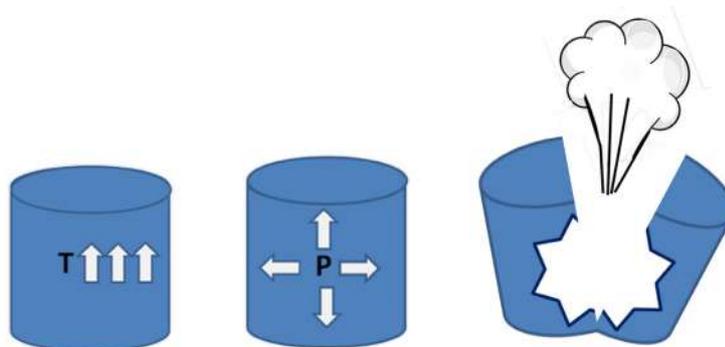


Fig. 9. La temperatura sube rápidamente, hace que la presión aumente muy rápido y provoca la rotura del recipiente, que “explota”.

Las consecuencias de esta explosión serán mayores cuanto más volumen tenga el recipiente, cuanto mayor presión alcance antes de explotar, según su ubicación, etc.

El tamaño del recipiente también condiciona los efectos de la explosión: uno pequeño se podrá llegar a saturar fácilmente de combustible y uno grande tendrá la dificultad de conseguir una mezcla homogénea de una gran cantidad necesaria de combustible, ya que la máxima explosividad se da en la mayoría de sustancias a concentraciones de entre 750 y 1.250 g/m³.

ATEX y la concentración

Los mismos procesos en función de su uso pueden generar ATEX o no, en función de las concentraciones y de las condiciones. Pueden no darse las concentraciones necesarias. En los siguientes tres ejemplos, hay que ver en qué concentración y dónde se encuentran las sustancias.

Transporte neumático

En un transporte neumático, acostumbran a darse concentraciones muy altas de sustancias y solo casualmente pueden llegar a darse concentraciones dentro del intervalo de explosividad:

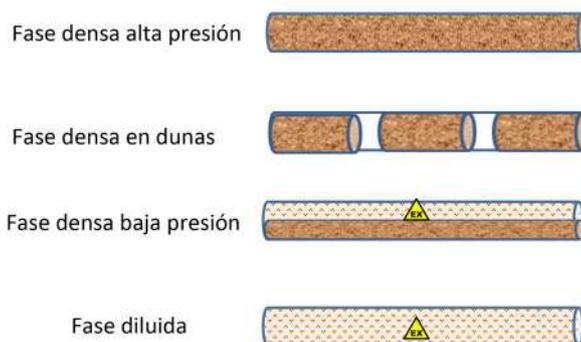


Fig. 10. En función de la concentración habrá o no ATEX

En las tuberías de transporte difícilmente habrá ATEX. Pero cuando llegan a una tolva o silo si, ya que cuando se llenan y se producen nubes de polvo. Su concentración será diferente en función de su volumen pequeño o grande.

Como ponderación del riesgo, podemos ver que un recipiente pequeño va a tener concentraciones saturadas, mientras que si aumenta el volumen se pueden formar más frecuentemente ATEX.

	Tolva	Silo pequeño	Silo grande
Cantidad de polvo	1 m ³	50 m ³	500m ³
1 kg	1.000 g/m ³	20 g/m ³	2 g/m ³
5 kg	5.000 g/m ³	100 g/m ³	10 g/m ³
100 kg	100.000 g/m ³	2.000 g/m ³	200 g/m ³
1.000 kg	Lleno	20.000 g/m ³	2.000 g/m ³
	Existe ATEX		
	No hay ATEX		

Fig. 11. Los volúmenes pequeños tienden a saturarse rápidamente y los grandes les cuesta llegar a tener ATEX

Las concentraciones de generación de ATEX son entre los 10 g/m³ y los 5.000 g/m³. Evidentemente, los recipientes llenos no permiten nubes de polvo; así, conforme se llenan, las concentraciones aumentan hasta llegar a la saturación. Es por ello que las tolvas de proceso de entre 1 a 10 m³, si bien pueden presentar ATEX en algunos momentos de operación normal, esta es de corta duración.

Filtros de mangas y cartuchos

La industria emplea filtros de mangas habitualmente para evitar que el polvo salga del proceso. Su efecto es tal que eliminan el polvo en muchas zonas, pero lo concentran en su interior. Es por ello que contienen todos los ingredientes para sufrir una explosión.

Como en el caso de los recipientes, los filtros tienen concentraciones distintas en función de su aplicación:

	FILTRO			
	Seguridad	Ensayadora	Desempolvado	Proceso
Polvo en conducto	0,001 g/m ³	0,01 g/m ³	(*) 10 g/m ³	1.000g/m ³
Zona Sucia Filtro	0,1 g/m ³	1 g/m ³	100 g/m ³	(*) 10.000 g/m ³
ATEX	NO	NO	SI	SI

	Existe ATEX 	(*) considerar ATEX
	No hay ATEX	

Fig. 12. Los filtros en función de su aplicación concentran más o menos ATEX

Cuando esta ATEX se genera en un espacio abierto, es decir, fuera de un recipiente, o incluso en un recipiente suficientemente abierto, las consecuencias de la inflamación de esta ATEX serán las de una deflagración atmosférica, una llamarada u onda de temperatura elevada que puede llegar a inflamar otras sustancias de su entorno, pero claramente el riesgo es muy inferior.

Carga de baterías

Las baterías de electrolito con agua y ácido sulfúrico desprenden H₂, en función de los Ah (amperios hora) de carga, así:

1 Ah descompone 0,336 g H₂O a 0,42 l H₂ más 0,21 l O₂
 cada 3 Ah descompone 1 cm³ (ml) de H₂O: 1,26 l H₂ y 0,63 de O₂

Así, una batería típica para una carretilla elevadora de 48 voltios formada por 24 elementos se carga a 30 y 100 A va a desprender 42 l de H₂. A razón de la corriente empleada.

Esto va a requerir una ventilación mínima de $Q = 0,055 \times n \times I_{gas}$ [m³/h].

La ventilación, pues, deberá tener en cuenta la tasa de emisión, así:

n es el número de células de carga

I_{gas}: $0,4 \times I_n$ [A] valor para cargadores no regulados **I_n** es el 40 % de la corriente asignada (en el ejemplo 100 A, por tanto, en la ecuación 40)

Así $Q = 0,055 \times 24 \times 40 = a 52,8$ m³/h

Si se emplea un cargador regulado con una carga máxima de 30 A, entonces el valor será 30 y el $Q = 39,6 \text{ a } 30$ y el $Q = 39,6 \text{ m}^3/\text{h}$.

Esta operación no debería realizarse en un local cerrado de volumen menor a 100 veces ese volumen, 15 m^3 .

Hay que tener en cuenta otros aspectos como los arrastres de ácido sulfúrico por las burbujas de hidrógeno y oxígeno ocasionan a su vez una pérdida de la capacidad de carga de la batería.

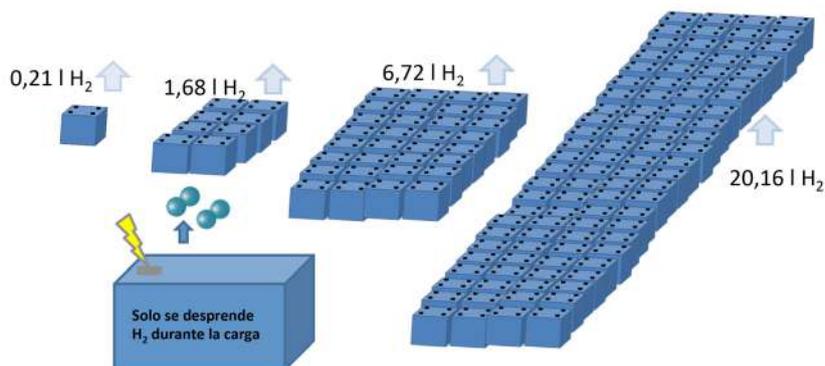


Fig. 13. A más células de carga, mayor cantidad de hidrógeno liberado durante la carga.

Solo teniendo en cuenta todo lo anteriormente relatado, podremos sacar partido de la gran utilidad de la clasificación en zonas ATEX, teniendo siempre en cuenta que todas las zonas ATEX pueden ser modificadas por actuaciones técnicas u organizativas.

Señalización

Según el RD 681/2003, la señalización de riesgo de ATEX es el siguiente:



Fig. 14. Señal utilizada para referirse a un área con peligro por atmósferas explosivas. Puede estar acompañada de un letrero.

(*)

- En condiciones atmosféricas, se refiere a las condiciones normalizadas de presión y temperatura. Van desde presiones de 0,8 a 1,2 barg y temperaturas de $-10 \text{ }^\circ\text{C}$ a $80 \text{ }^\circ\text{C}$. Por ello, estarían fuera del presente escrito aquellas condiciones hiperbáricas o hipobáricas que requerirían de estudios específicos.

(**)

- Con cantidad suficiente: nos referimos a los límites inferiores de inflamabilidad para gases y vapores (LII) y a los límites inferiores de explosividad para polvos (LIE).
- Cantidad no excesiva: nos referimos a circunstancias que superen el límite superior de inflamabilidad para gases y vapores (LSI) o a los límites superiores de explosividad para polvos (LSE).

2. Directivas y normas de aplicación en atmósferas explosivas

Para entender de dónde proceden las directivas y hacia donde van sus aplicaciones, podemos ver el siguiente organigrama:



2.1 Directiva sobre equipos en áreas de trabajo 2014/34/UE. Real Decreto 144/2016

Los cambios recientes han sido: la Directiva 94/9/CE ha sido derogada por la Directiva 2014/34/UE y, en consecuencia, las transposiciones a reales decretos también. El RD 400/1996 es sustituido por el RD 144/2016.

La directiva 2014/34/UE referente al mercado ATEX solo se aplicará a:

1. Aparatos y equipos para uso en atmósferas explosivas.
2. Dispositivos de seguridad, control y reglaje que se tengan que utilizar dentro de atmósferas explosivas y que son necesarios y contribuyen al funcionamiento seguro de los aparatos y sistemas de protección en relación con los riesgos de explosión.
3. Componentes destinados a ser incorporados en los aparatos y sistemas de protección contra atmósferas explosivas.
4. Sistemas de protección contra explosiones.

Esta directiva excluye entornos con legislación específica, tales como:

1. Dispositivos médicos para uso en entorno sanitario.
2. Aparatos y sistemas de protección cuando el peligro de explosión se deba exclusivamente a la presencia de sustancias explosivas o sustancias químicas inestables.
3. Equipos destinados a usos en entornos domésticos y no comerciales donde las atmósferas explosivas se crean muy ocasionalmente, únicamente como consecuencia de una fuga fortuita de gas.
4. Los equipos de protección individual amparados bajo la directiva 89/686/CEE del Consejo, de 21 de diciembre de 1989, sobre aproximación de las legislaciones de los Estados miembros relativa a los equipos de protección individual.
5. Navíos marinos y unidades móviles *offshore*, así como los equipos de a bordo de dichos navíos o unidades.
6. Medios de transporte, como vehículos y sus remolques destinados únicamente al transporte de personas por vía aérea, por red vial, red ferroviaria o por vías acuáticas y los medios de transporte que estén concebidos para el transporte de mercancías por vía aérea, por la red vial pública, red ferroviaria o por vías acuáticas; no estarán excluidos del ámbito de aplicación de la presente directiva los vehículos destinados al uso en atmósfera explosiva.
7. Productos contemplados en el artículo 346, apartado 1, letra b), del Tratado de Funcionamiento de la Unión Europea: todo estado miembro podrá adoptar las medidas que estime necesarias para la protección de los intereses esenciales de su seguridad y que se refieran a la producción o al comercio de armas, municiones y material de guerra; estas medidas no deberán alterar las condiciones de competencia en el mercado interior respecto de los productos que no estén destinados a fines específicamente militares.

La Directiva 2014/34/UE sobre la armonización de las legislaciones de los Estados miembros en materia de aparatos y sistemas de protección para uso en atmósferas potencialmente explosivas, junto con el Real Decreto 144/2016 por el que se establecen los requisitos esenciales de salud y seguridad exigibles a los aparatos y sistemas de protección para su uso en atmósferas potencialmente explosivas.

Esta directiva expone los requisitos esenciales de seguridad que deben cumplir tanto los productos como los sistemas de protección, y además las medidas que se tendrán que llevar a cabo para garantizar que estos se encuentren convenientemente instalados, mantenidos y manipulados conforme al uso al que están destinados.

Los tres principios por los que se rige esta directiva son:

1. Se tiene que evitar, ante todo, que los aparatos y sistemas de protección produzcan o liberen ellos mismos atmósferas explosivas.
2. Se tiene que impedir la ignición de atmósferas explosivas teniendo en cuenta la naturaleza de cada fuente de ignición eléctrica o no eléctrica.
3. Y si se produjese una explosión que pudiera poner en peligro a personas o bienes por efecto directo o indirecto, detenerla o limitar a un nivel de seguridad suficiente la zona afectada por las llamas y la presión resultante de la explosión.

Siguiendo esas directrices los equipos eléctricos y no eléctricos que se instalen en zonas con riesgo de atmósfera explosiva tiene que cumplir unos requisitos específicos para obtener una certificación y ser marcados conforme a las disposiciones que dicta el Real Decreto 144/2016.

Por esto, cada equipo debe ir correctamente marcado siguiendo una serie de criterios para que el usuario final tenga una idea clara de cuáles son las especificaciones de acuerdo con la aplicación que se van a llevar a cabo.



Fig. 16. Ejemplo de señal utilizada para marcar equipos que cumplen requisitos específicos y tienen una certificación contra atmósferas explosivas.

Se tienen que diferenciar dos grupos de sustancias combustibles:

- Por un lado: **clase I** que haría referencia a sustancias combustibles que se encuentran en forma de gas, vapor o niebla y se identifican por la letra **G** (“gas”).
- Por otro lado: **clase II** que se refiere a aquellas formadas por pequeñas partículas de polvo o fibras combustibles y se identificarían por la letra **D** (“dust”, en inglés polvo)

Los equipos utilizados en zonas industriales se clasifican en dos grupos:

- **Grupo I:** en este caso son dispositivos que se van a utilizar en sistemas de minería de carbón, en particular al gas inflamable “grisú”.
- **Grupo II:** para dispositivos destinados en instalaciones con riesgo de presencia de atmósfera explosiva que no se tienen en cuenta dentro del grupo I.

Para el grupo I (minería de carbón), existen las categorías M1 y M2:

- **M1:** están diseñados para asegurar un nivel muy alto de protección durante el funcionamiento normal y en caso de avería.
- **M2:** aseguran un nivel alto de protección para el funcionamiento normal y las condiciones de uso más extremas.

En los dos casos, esta categoría de aparatos estaría destinada para trabajos subterráneos de minería o de superficie donde pueda haber presencia de grisú y/o carbón en polvos.

Gases, vapores y nieblas (G)

Los diferentes compuestos gaseosos pueden ser clasificados dependiendo de su Intersticio Máximo de Separación Experimental (IMSE) y su Corriente Mínima de Ignición relativa a la del metano (CMI).

Grupo	CMI	IMSE	Sustancia
IIA	$0,8 < CMI$	$0,9 < IMSE$	Metano
IIB	$0,45 < CMI < 0,8$	$0,5 < IMSE < 0,9$	Etileno
IIC	$CMI < 0,45$	$IMSE < 0,5$	Hidrogeno

Fig. 17. Grupos de inflamabilidad para gases y vapores.

Los equipos que vayan a ser utilizados con sustancias que puedan producir atmósferas explosivas también tienen que utilizar un marcaje especial para saber la temperatura superficial máxima.

Clases de temperatura	Temperatura superficial máxima
T1	450 °C
T2	300 °C
T3	200 °C
T4	135 °C
T5	100 °C
T6	85 °C

Fig. 18. Clase térmica de equipos basada en la temperatura máxima superficial del mismo.

Sólidos combustibles

Se dividen en tres grupos: fibras, polvo no conductor y polvo conductor:

Grupo	Tipo
IIIA	Fibras y pelusas
IIIB	Polvo no conductor
IIIC	Polvo conductor

Fig. 19. Grupos de combustibilidad en sólidos.

El marcado asociado a su temperatura superficial se realizará en °C, siendo el valor el menor entre los 2/3 de la TMI_n y TMI_c – 75 °C

T xxx °C

Marcado



Fig. 20. Placas de equipos marcados ATEX eléctricos y no eléctricos

- | | |
|--|--|
| 1 Nombre e información del fabricante o distribuidor. | 8 Paramatros eléctricos (opcionales). |
| 2 Nombre/tipo del producto. | 9 Certificado adicional (opcional). |
| 3 Número de série. | 10 Marcado ATEX (EX - Atmósferas explosivas): Grupo del equipo (II) y Categoría (2). Tipo de atmosfera explosiva: G (gas, vapor o niebla) o D (polvo). |
| 4 Año de fabricación del equipo. | 11 Temperatura ambiente de uso si la temperatura fuera distinta de -20°C a +40°C. |
| 5 Marcado CE. | 12 Marcado del modo de protección normal IEC/CENELEC. |
| 6 Organismo Notificado responsable de la supervisión del Sistema de Calidad. | 13 Información adicional (opcional). |
| 7 Número de certificado examen de tipo. | |

Fig. 21. Explicación descripciones placa equipos

2.2. Directiva sobre instalaciones de trabajo 1999/92/CE. Real Decreto 681/2003

La protección contra explosiones debe enfocarse a la seguridad de los trabajadores y a que una potencial explosión no afecte a su salud.

Así pues, la Directiva 1999/92/CE sobre disposiciones mínimas para la mejora de la seguridad y salud de los trabajadores expuestos a riesgos derivados de atmósferas explosivas desarrolla de forma específica para el riesgo de explosión lo establecido en la Directiva 89/391/CEE relativa a la aplicación de medidas para promover la mejora de la seguridad y la salud de los trabajadores en el trabajo. También establece cómo tiene que ser la manipulación de los distintos aparatos dentro de la instalación haciendo que el empresario asegure la formación de los trabajadores para que manipulen y procesen sustancias con riesgo de formación de atmósferas explosivas.

Por consiguiente, el Real Decreto 681/2003 constituye la base legal para garantizar la seguridad y salud de los trabajadores expuestos a los riesgos asociados a la presencia de atmósferas explosivas.

El RD 681/2003 entró en vigor el 1 de julio del 2003 para todas las instalaciones nuevas, y a partir del 1 de julio de 2006 es obligatorio para todas las actividades, y hace responsable al empresario de su cumplimiento.

Asimismo, el RD 681/2003 obliga a realizar una clasificación en zonas ATEX de las áreas de trabajo donde se puedan formar atmósferas explosivas y también redactar y elaborar un documento de protección contra explosiones que debe mantenerse actualizado.

Son obligaciones del empresario, por este orden de prioridad:

1. Impedir la formación de atmósferas explosivas.
2. Cuando la naturaleza de la actividad no lo permita, debe evitar la ignición de la atmósfera explosiva.
3. Tiene que atenuar los efectos de una explosión de forma que se garantice la salud y la seguridad de los trabajadores.

En consecuencia, se obliga al empresario a realizar las siguientes funciones de protección contra explosiones:

- Determinar y valorar los riesgos asociados a cada lugar de trabajo.
- Tomar las medidas específicas para proteger la seguridad y salud de los trabajadores expuestos al riesgo de atmósferas explosivas.
- Garantizar un entorno de trabajo seguro y asegurar su mantenimiento.
- Determinar las necesarias medidas y modalidades de coordinación cuando trabajen varias empresas en un mismo emplazamiento.
- Elaborar un documento de protección contra explosiones (DPCE).

Se consideran ATEX los emplazamientos con gases, vapores o nieblas en cantidad suficiente para producir atmósferas explosivas o inflamables, así como los emplazamientos con polvo o fibras combustibles.

Ante este enfoque, ATEX está presente en muchas las actividades profesionales; no obstante, la realidad es otra, ya que muchas sustancias pueden llegar a ser tóxicas o nocivas si los trabajadores se ven expuestos a ellas. Si se cumple este control de exposición a agentes y sustancias nocivas (gases, vapores o polvos), la presencia de ATEX es muy remota, ya que difícilmente se alcanzan concentraciones mínimas.

También desde el punto de vista económico, para que exista una atmósfera explosiva es necesario que exista un porcentaje de sustancia en el ambiente de trabajo. Si evaluamos el % y las horas, en muchas ocasiones veremos que es imposible alcanzar concentraciones de riesgo, entre otras cosas porque la empresa no adquiere suficiente sustancia como para generar ATEX. Vamos, que “nadie compra las sustancias para tirarlas por sus instalaciones, y que a su vez los trabajadores se vean expuestos a un riesgo”.

“La sustancia dentro del proceso genera un beneficio a la empresa, si se sale del proceso además de generar un riesgo para la salud genera un coste, de material no procesado y de residuo a recoger, siempre evitable.”

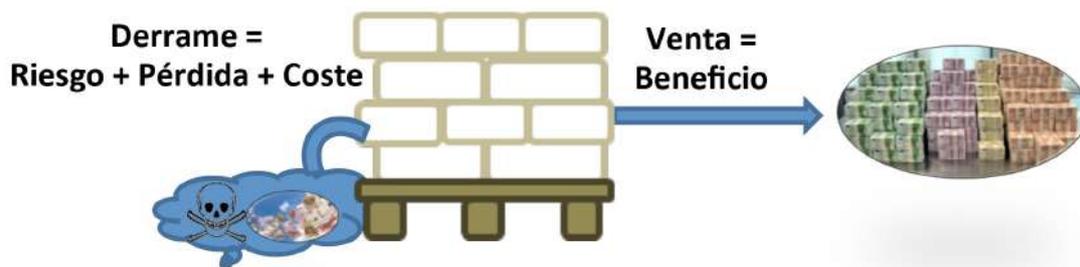


Fig. 22

No queremos tampoco dejar de mencionar que en el caso del polvo y las fibras combustibles la generación de ATEX está asociada al aporte de suficiente energía capaz de poner en suspensión y, por tanto, generar nubes de sólidos, que a su vez deben tener una homogeneidad para generar estas ATEX.

Por tanto, la presencia de suficiente sustancia generadora de ATEX hace que esta no aparezcan con la frecuencia se podría creer.

Por tanto si no hay ATEX los dos puntos siguientes son más fáciles de resolver, y es por ello que el enfoque de la presente ficha es evitar la formación de ATEX, es decir:

DESCLASIFICAR

Siempre y cuando sea posible.

3. Términos y definiciones

Las definiciones se han ordenado alfabéticamente para facilitar su consulta durante el uso de la presente guía.

Atmósfera explosiva (ATEX): mezcla con aire, en condiciones atmosféricas, de sustancias inflamables en forma de gas, vapor, polvo, fibras, o partículas en suspensión, las cuales, tras la inflamación, permiten una propagación autosostenida de la llama.

Atmósfera explosiva gaseosa: mezcla con aire, en condiciones atmosféricas, de sustancias inflamables en forma de gas o vapor, las cuales, tras la inflamación, permiten una propagación autosostenida de la llama.

Atmósfera combustible de polvo: mezcla con aire de sustancias inflamables en forma de polvo que, en condiciones atmosféricas que tras inflamarse se transmite a toda mezcla instantáneamente.

Concentración de fondo: concentración media de sustancia inflamable dentro del espacio considerado fuera del penacho o chorro del escape.

Defecto catastrófico: circunstancia que supera los parámetros de diseño de la planta de proceso y del sistema de control que ocasiona un escape mayor de material inflamable.

Deflagración: frente de combustión que se propaga a una velocidad subsónica en el que el frente de presión va por delante del de llamas.

Densidad relativa de un gas o vapor: densidad de un gas o vapor respecto a la densidad del aire a la misma presión y temperatura (la del aire se considera 1,0).

Desclasificación de zonas: medidas adoptadas para disminuir o eliminar las diferentes zonas con riesgo de formación de atmósferas explosivas y convertirlas en zonas sin riesgo.

Dilución: mezcla de vapor o gas inflamable con aire que, en el transcurso del tiempo, reducirá la concentración inflamable.

Emplazamiento no peligroso: emplazamiento en el que no se espera que esté presente una atmósfera explosiva en cantidades tales que se requieran precauciones especiales para la construcción, instalación y uso del material.

Emplazamiento peligroso: emplazamiento en el que una atmósfera explosiva está presente, o se espera que esté presente en cantidades tales que se requieren precauciones especiales para la construcción, instalación y uso del material.

Emplazamiento: lugar o espacio tridimensional.

Energía mínima de inflamación (EMI): es la menor energía que inicia la combustión de una mezcla gaseosa o de polvo en el aire.

Equipo (para atmósferas explosivas): término genérico que comprende los equipos, accesorios, dispositivos, componentes, etc. usados como una parte de, o en combinación con, una instalación en una atmósfera explosiva.

Espacio considerado: volumen ventilado en las cercanías del escape considerado.

Extensión de la zona: distancia en cualquier dirección desde la fuente de escape de gas o polvo al punto donde la mezcla con aire se diluirá a una concentración por debajo del límite inferior de explosividad.

Fibra: partículas con forma alargada de menos de 500 μ de diámetro y menos de 3000 μ de longitud (0,5 mm x 3 mm).

Fuente de escape: punto o lugar desde el cual un gas, vapor, niebla, líquido inflamable o polvo combustible pueden liberarse en cantidad suficiente a la atmósfera de tal forma que se podría formar una atmósfera explosiva.

Fallo de funcionamiento inusual: tipo de fallo de funcionamiento que puede ocurrir en casos excepcionales.

Fallo catastrófico: incidencia que supera los parámetros de diseño de la planta de proceso y del sistema de control y que provoca el escape de una sustancia inflamable.

Funcionamiento normal: los equipos trabajan conforme a sus especificaciones eléctricas y mecánicas y se utilizan dentro de los límites indicados por el fabricante.

Gas: término utilizado para referirse a moléculas en suspensión que tienden a expandirse ocupando todo el volumen disponible.

Gas inflamable licuado: sustancia inflamable que se almacena o manipula como un líquido y que a temperatura ambiente y a presión atmosférica es un gas inflamable.

Gas o vapor inflamable: gas o vapor que, si se mezcla con el aire en determinadas proporciones, formará una atmósfera explosiva gaseosa.

Gas más pesado que el aire: gas con densidad relativa al aire superior a 1,0.

Gas más ligero que el aire: gas con densidad relativa al aire inferior a 1,0.

Grado de escape continuo: escape o emanación de sustancia que se espera que ocurra frecuentemente o durante largos periodos.

Grado de escape primario: escape que se espera que ocurra periódicamente u ocasionalmente durante el funcionamiento normal.

Grado de escape secundario: escape que no se espera que ocurra en funcionamiento normal y, que si ocurre, es probable que lo haga infrecuentemente y durante periodos cortos.

Inertización: adición de sustancias inertes para impedir formación de atmósfera explosiva, las cuales reducen % de sustancia combustible o comburente hasta niveles de no inflamación.

Intersticio máximo de separación experimental: intersticio máximo de la unión entre las dos partes de la cámara interna de un aparato de ensayo que, cuando la mezcla gaseosa interna se inflama y en condiciones de ensayo determinadas, impide la ignición de una mezcla gaseosa externa a través de una junta de 25 mm de longitud, cualquiera que sea la concentración en el aire del gas o del vapor ensayado. El IMSE es una propiedad de la mezcla del gas dado.

Límite inferior de inflamabilidad (LII): concentración de gas, vapor o niebla inflamable en aire por debajo del cual no se formará una atmósfera explosiva gaseosa.

Límite superior de inflamabilidad (LSI): concentración de gas, vapor o niebla inflamable en el aire por encima de la cual no se formara una atmósfera explosiva gaseosa.

Líquido inflamable: es un líquido capaz de producir un vapor inflamable en todas las condiciones de operación previsible.

Mantenimiento sistemático: acción a llevar a cabo ocasionalmente o periódicamente en funcionamiento normal para mantener el desempeño adecuado del material.

Mezcla híbrida: mezcla de un gas o vapor inflamable con polvo combustible.

Niebla inflamable: gotas pequeñas de líquido inflamable dispersas en el aire de forma que originen una atmósfera explosiva.

Niveles de limpieza: hace referencia al grado de limpieza dependiendo de la eficacia del mantenimiento.

Polvo: partículas sólidas de diámetro inferior a 500 μ .

Polvo combustible: partículas sólidas que, al mezclarse con aire, pueden combustionar o deflagrar.

Polvo conductor: partículas sólidas con una resistividad eléctrica menor o igual a 10³ Ω ·m.

Polvo no conductor: partículas sólidas con una resistividad eléctrica mayor de 10³ Ω ·m.

Presión de vapor: presión ejercida cuando un sólido o líquido está en equilibrio con su propio vapor.

Punto de inflamación: mínima temperatura de un líquido a la cual, bajo ciertas condiciones normalizadas, este desprende vapores en una cantidad tal que se puede formar una mezcla vapor/aire inflamable.

Punto de ebullición: temperatura de un líquido hirviendo a la presión ambiente de 101,3 kPa (1.103 mbar).

Referencia para clasificación de gases (IIA, IIB, IIC): metodología para referirse a diferentes tipos de sustancias que componen las atmósferas explosivas dependiendo de su peligrosidad: IIA (propano), IIB (etileno) y IIC (hidrógeno).

Referencia para clasificación de polvos (IIIA, IIIB i IIIC): metodología para referirse a los diferentes tipos de partículas sólidas que puedan formar atmósferas explosivas de polvo. Si están formadas por fibras serían de tipo IIIA, si fueran no conductoras serían del tipo IIIB y si se trataran de conductoras serían del tipo IIIC.

Sustancia inflamable: sustancia que es inflamable por sí misma o es capaz de producir un gas, vapor o niebla inflamables.

Temperatura de destello: es la temperatura más baja del líquido a la que, bajo ciertas condiciones normalizadas, este desprende vapores en cantidad suficiente que pueden originar la formación de una mezcla inflamable. Es, por tanto, un parámetro solo aplicable a sustancias combustibles que, en condiciones atmosféricas, son líquidos.

Temperatura de inflamación en capa (TMlc): temperatura más baja de una superficie a la que se produce la inflamación de una película de polvo de 5 mm de espesor.

Temperatura de inflamación nube (TMln): temperatura más baja a la que una superficie caliente es capaz de inflamar una nube de polvo.

Temperatura mínima de inflamación (TMI): temperatura mínima de una superficie caliente a la cual, bajo condiciones específicas (en norma IEC 60079-20-1), inflamará una sustancia en forma de mezcla de aire con gas, vapor, niebla o polvo. También se denomina temperatura de ignición (TI).

Velocidad de escape: cantidad de gas, vapor o niebla inflamable emitida por unidad de tiempo desde la fuente de escape.

Ventilación: movimiento del aire y su sustitución por aire fresco debido a los efectos del viento, gradientes de temperatura o medios artificiales (por ejemplo, ventiladores o extractores).

Volumen de dilución: volumen en la cercanía de una fuente de escape en el que la concentración de gas o vapor inflamable no está diluida a un nivel seguro.

Zonas: clasificación de emplazamientos peligrosos basándose en la frecuencia de aparición y en la duración de la presencia de una atmósfera explosiva.

Zona 0: lugar en el que la atmósfera gaseosa explosiva en forma continua, durante largos periodos o frecuentemente.

Zona 1: lugar en el que es probable que se produzca una atmósfera explosiva gaseosa ocasionalmente en funcionamiento normal.

Zona 2: lugar en el que no es probable se produzca atmósfera explosiva gaseosa en funcionamiento normal, pero si se genera persiste solo durante un corto periodo.

Zona 20: lugar en el que una atmósfera explosiva en forma de nube de polvo combustible está presente de forma permanente, durante largos periodos de tiempo o frecuentemente.

Zona 21: lugar en el que es probable que se produzca una atmósfera explosiva en forma de nube de polvo combustible ocasionalmente en funcionamiento normal.

Zona 22: lugar en el que no es probable se produzca atmósfera explosiva en forma de nube de polvo combustible en funcionamiento normal, pero si se genera persiste sólo durante un corto periodo.

Zona desclasificada, por...: lugar en el que por acciones técnicas u organizativas se actúa de manera que la atmósfera explosiva no llega a formarse, siempre y cuando estas acciones persistan.

3.1. Variaciones del vocabulario entre normas 2010 y 2016.

Antes (2010) Grado de Ventilación ahora (2016) Grado de Dilución y eficiencia de la ventilación

En la edición del 2010 se citaba el grado de ventilación en la nueva edición se especifica mejor el grado de dilución, ya que la dilución es una medida de la capacidad de ventilación

Aparecen los conceptos de dilución alta, media y baja:

Dilución alta: La concentración cerca de la fuente de escape se reduce rápidamente y prácticamente no habrá ninguna persistencia después que el escape haya parado

Dilución media: La concentración está controlada resultando una zona de límite estable mientras el escape se está produciendo, y la atmósfera explosiva gaseosa no persiste indebidamente después que el escape haya parado.

Dilución baja: Existe una concentración significativa mientras se está produciendo el escape y/o persistencia significativa de la atmósfera inflamable después que el escape haya parado.

- Para Gases:

Antes en el 2010 se decía: Explosividad ahora en la versión 2016 se habla de Inflamabilidad.

Límite Inferior de explosividad (LIE) pasa a decirse **Límite Inferior de Inflamabilidad (LII)**
Límite Superior de explosividad (LSE) pasa a decirse **Límite Superior de Inflamabilidad (LSI)**

Esta modificación viene de IEC 60050-426:2009 definición 426-02-09 y 426.02-10 modificada (la cual se refiere a Límite Inferior de Explosividad y Límite Superior de Explosividad respectivamente)

Se introduce el concepto **Funcionamiento Normal**: Situación en la que el material opera dentro de sus parámetros de diseño:

Nota 1: Pequeños escapes de material inflamable pueden considerarse dentro del funcionamiento normal. Por ejemplo, fugas de ejes que se sellan con el mismo fluido que se bombea, se consideran como pequeños escapes.

Nota 2: Los Fallos que precisan una reparación urgente o una parada de la planta no se consideran como parte del funcionamiento normal ni como situación catastrófica.

Nota 3: El funcionamiento normal incluye las condiciones de puesta en servicio y paradas

También se introduce el concepto **fallo catastrófico**: incidencia que supera los parámetros de diseño de la planta de proceso y del sistema de control y que provoca el escape de una sustancia:

Nota 1: los fallos catastróficos incluyen accidentes mayores como rotura de recipientes de procesos o fallos a gran escala de material o tuberías tales como roturas de una brida o sello.

- Para Polvos:

Se incorpora el concepto en funcionamiento Normal a la formación de zonas, además semánticamente se dice "Lugar" por emplazamiento, quedando así:

Zona 20: Lugar en el que una atmósfera de polvo explosiva, en forma de nube de polvo en el aire, está presente de forma continua, o durante largos periodos o frecuentemente.

Zona 21: Lugar en el que es probable que se produzca, en funcionamiento normal y de forma ocasional, una atmósfera de polvo explosiva, en forma de nube de polvo en el aire.

Zona 22: Lugar en el que no es probable en funcionamiento normal que en funcionamiento normal se produzca una atmósfera de polvo explosiva, en forma de nube de polvo en el aire, pero que si sucede persistirá solo durante un corto periodo.

Se cita específicamente que hay que considerar que una capa de polvo puede llegar a crear una nube de polvo.

Estos conceptos de **funcionamiento normal** y **fallo catastrófico** hacen que la clasificación de emplazamiento ahora se refiera **sólo a las operaciones habituales desde la puesta en marcha a la parada y no debe contemplar las averías, las roturas o las malas prácticas**, que lógicamente se deben evitar pero que serán objeto de otros procedimiento y análisis.

4. Principios y metodología para la clasificación de zonas

El presente enfoque va a ser eminentemente práctico, en pro de la seguridad y sin olvidar la fiabilidad, aplicando la lógica y de la manera más simple posible.

Existen varios métodos. Según la norma EN 60079-10-1:

- Por fuentes de escape.
- Códigos industriales y normas nacionales.
- Métodos simplificados que exageran las extensiones.
- Combinaciones varias de métodos.

En el presente escrito vamos a basarnos en las fuentes de escape, pero con el siguiente enfoque no tener ATEX, de la siguiente manera:

1. Si es posible, eliminar la fuente de escape.
2. Cuando no se pueda eliminar la fuente de escape, se minimizarán las consecuencias del escape, reduciendo su extensión hasta una deseada ED (extensión despreciable).
3. Si no podemos ni eliminarla ni minimizarla asumiremos la zona generada.

Cuando no podamos dejar de tener esa fuente de escape, el correcto dimensionado de los emplazamientos en los que puedan producirse escapes de sustancias inflamables y determinar si esta sustancia formará concentraciones dentro del intervalo de explosividad, es decir, superior al límite inferior inflamabilidad (**LII**) y el límite superior de inflamabilidad (**LSI**).

Un primer cálculo nos puede indicar la existencia de una zona, el siguiente paso es ver qué actuaciones deben realizarse para reducir su extensión o incluso su eliminación hasta una **ED**.

Todas las sustancias inflamables o combustibles se consideran capaces de formar atmósferas ex-

plosivas en unas condiciones determinadas; por ello, el análisis de sus propiedades puede determinar el alcance y las dimensiones de los emplazamientos con riesgo, y determinarán las acciones técnicas u organizativas que puedan llevarse a cabo para que las atmósferas explosivas sean inofensivas o con el mínimo riesgo posible.

La eliminación de ATEX debe ser la prioridad; por ello, siempre se realizará un estudio preliminar de la planta, tras el cual se realizarán las medidas que reduzcan la extensión de las zonas preliminares. Este estudio debe ser exhaustivo y consecuente, y debe analizar la posibilidad de formación de la atmósfera explosiva de acuerdo con la frecuencia de formación y así determinar las zonas.



Fig. 23. Sistema de detección de puntos potenciales de ATEX



Fig. 24. Duración y Zonas ATEX

Según se indica en el Real Decreto 681/2003, los procesos industriales se deben diseñar para que los emplazamientos sean no peligrosos para los trabajadores o, en última instancia, zona 2 o zona 22. Por ello, es una obligación legal desclasificar las zonas siguiendo una metodología y, en el caso que sea inevitable un escape, se debe intentar acotarlo a grado secundario y hacer que la cuantía del escape sea mínima.

El criterio fundamental, si no se conoce un dato o valor específico, debe ser el de adoptar medidas de máximos en pro de obtener una mayor seguridad. Pero será nuestra obligación determinar estos valores mediante ensayos o caracterizaciones de las sustancias presentes, con el fin de conseguir un análisis lo más ajustado posible a la realidad.

No por tratar una sustancia como si fuera más peligrosa mejora la seguridad, ya que seguramente estamos complicando la instalación innecesariamente o, en ocasiones, incluso inviablemente.

Solo una vez adoptadas todas las medidas técnicas y organizativas que eliminan las ATEX, se tomarán medidas especiales para proteger la seguridad de las personas y de las instalaciones.

Es fundamental para poder llevar a cabo una clasificación de zonas conocer las diferentes características relevantes de cada sustancia:

Gases y vapores:

- Densidad relativa al aire.
- Punto de destello para líquidos.
- Límite inferior (**LII**) y superior (**LSI**) de inflamabilidad o explosividad.

Polvos y fibras:

- Tamaño de partícula.
- Humedad del polvo.
- Temperatura mínima de inflamación en nube (**TMin**) y capa (**TMlc**).
- Resistividad.

La clasificación de zonas se basa en determinar la presencia de fuentes de escape y en la probabilidad de que se puedan formar mezclas explosivas gas/aire o polvo/aire. Y también el grado de frecuencia en la que se pueden producir la formación de atmósferas explosivas, ya que el mismo proceso que se realice continuamente o que se realice esporádicamente puede dar lugar a zonas diferentes y, en consecuencia, a medidas diferentes.

Se tiene que evaluar la frecuencia, el impacto y la duración que puede tener un escape (continuo, primario y secundario), teniendo en cuenta la tasa de escape, la concentración, la ventilación y otros factores que pueden afectar el resultado de la fuga, describiendo el tipo y la extensión de la zona tanto de la atmósfera explosiva gaseosa o de polvo que se pueden llegar a provocar.

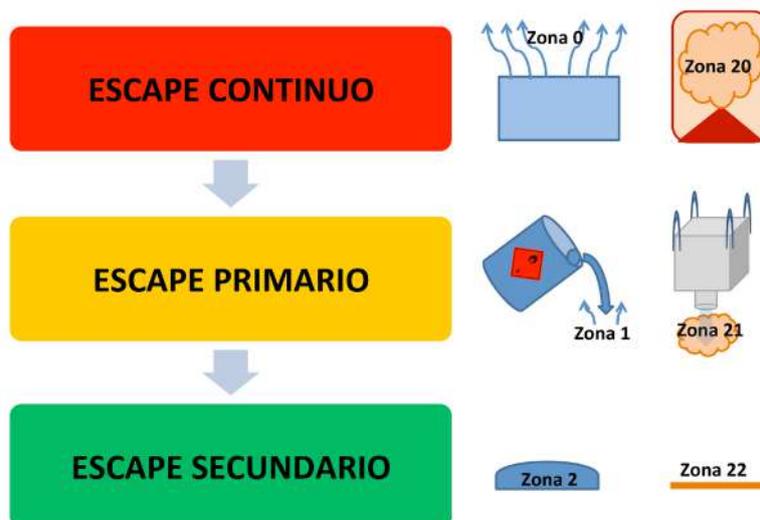


Fig. 25. Tipos de fuentes de escape

Cualquier modificación que se lleve a cabo en los equipos o en los procesos que pueda afectar a la clasificación de zonas se debe revisar para asegurar que no afecte a la seguridad de las personas y ni de las instalaciones, actuando en consecuencia.

Se debe asegurar que las operaciones habituales, así como las de mantenimiento en las zonas con riesgo de atmósfera explosiva, no modificarán ninguna condición de seguridad de los equipos ni menos de las instalaciones.

Para llevar a cabo una buena clasificación de zonas ATEX, hay que:

1. Identificar las diferentes fuentes de escape y evaluar la formación de estas.
2. Condiciones de la fuente de escape y las medidas de reducción adoptadas.
3. Debemos verificar si las fuentes de escape son evitables, fugas reparables, derrames no recogidos, etc. Según el Real Decreto 681/2003, se tiene que impedir la formación de atmósferas explosivas. Es por eso que siempre se tiene que intentar neutralizar las zonas ATEX.

No se consideraran zonas ATEX y, por tanto, se tratarán como emplazamientos desclasificados:

- **Los almacenes de productos inflamables o combustibles debidamente envasados y en los que no se manipulan sus recipientes** no deben considerarse zonas ATEX.

“Ya que no es normal que los recipientes pierdan la sustancia que contienen. Y si accidentalmente se vertiera el contenido de uno de ellos debe existir un protocolo de recogida, neutralización y eliminación.”

- **Zonas de carga y descarga de camiones y trasiego de sustancias:**

Las descargas de cisternas se realizan mediante protocolos específicos y con control de las fuentes de ignición, si bien durante la descarga pueden aparecer zonas ATEX. Una vez finalizada la misma, no deben quedar sustancias en concentraciones peligrosas:

“Ya que no es normal que se den derrames y no se recojan, existen protocolos de recogida de derrames e incluso materiales absorbentes.”

- **Las bridas no gotean, ni fugan.**

Las uniones de tuberías se hacen con bridas, roscas o con clamp y juntas de estanqueidad. Por ello, si hay pérdidas de fluido, se trata de una avería y esta debe repararse, lo normal es que no fuguen; cuando se trata de gases a alta presión, las tasas de escape “aceptables” son compensadas por disponibilidad de la ventilación que otorga una dilución segura, y siempre se trata de pequeñas cantidades y, por tanto, de extensiones despreciables (ED).

- **Donde hay emisiones de polvo y se dispone de una aspiración adecuada.**

El polvo generado debe desaparecer; por ello, las instalaciones no deben funcionar si la aspiración no funciona.

Ya que no es normal que los filtros no capten, si no filtran correctamente no podremos desclasificar, y seguramente los trabajadores estarán expuestos a concentraciones de polvo superiores a las permitidas; por ello, es una situación anormal.

El mantenimiento es la clave de la no generación de ATEX

Las tareas de mantenimiento habitual van dirigidas al buen funcionamiento de la instalación, tanto desde el punto de vista de la seguridad como de la productividad:

“Sustancia que se sale del proceso genera un coste de limpieza, incluso de gestión de residuo y que la sustancia que sigue su curso en el proceso o bien se vende o se emplea para lo que se adquirió y, por tanto, genera un beneficio.”

Muchas sustancias son perjudiciales para la salud de los trabajadores por lo que, desde el punto de vista de vigilancia de la salud, muchas zonas ATEX implicarían un riesgo, que no se da; si nos fijamos en el LII de las sustancias, veremos que los trabajadores no pueden estar expuestos ni por cortos periodos a estas.

En definitiva, las zonas ATEX se limitarán, en **la mayoría de instalaciones, al interior de los equipos de proceso y en algunos casos (puntos de transferencia) tendremos pequeñas extensiones fuera del mismo.**

Una vez que se han tenido en cuenta todas estas reducciones, si incluso así hay una zona con peligro ATEX, se determinará la extensión de la misma.

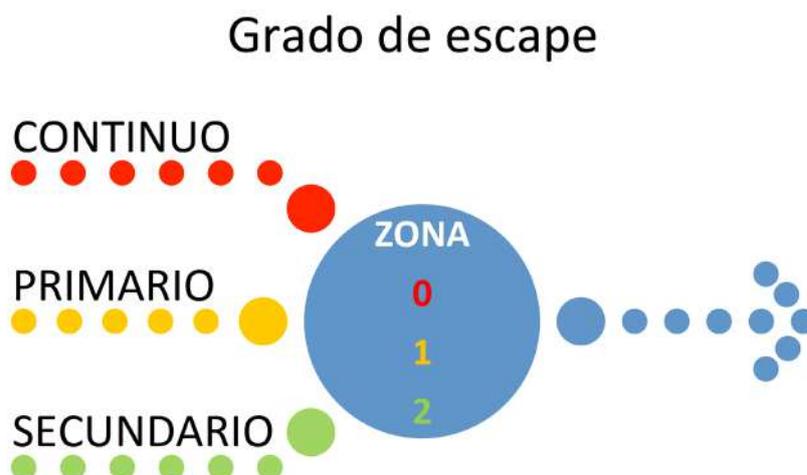


Fig. 26. Grados de escape

Siempre nos surge la misma pregunta:

¿Quién debe realizar la clasificación de zonas?

Debería llevarla a cabo personal que entienda las propiedades de las sustancias, los principios de dispersión de gases/vapores y que está familiarizado con los procesos y los equipos.

Por ello, puede ser aconsejable que un equipo multidisciplinar esté implicado en la clasificación de zonas. Tal como dice la norma de clasificación de emplazamientos peligrosos, *“puede ser beneficioso para otras disciplinas de la ingeniería como ingenieros eléctricos y mecánicos, juntamente con los responsables de seguridad, ser parte del proceso del proceso de clasificación de emplazamientos, y tener su aportación”*.

Normas para la clasificación de emplazamientos con riesgo de incendio o explosión

Genéricas:

- **UNE-EN-60079-10-2016.** Atmósferas explosivas. Parte 10-1: Clasificación de emplazamientos. Atmósferas explosivas gaseosas. (*)
- **UNE-EN-60079-10-2 2016.** Atmósferas explosivas. Parte 10-2: Clasificación de emplazamientos. Atmósferas explosivas de polvo
- **UNE-EN-202007-2006IN.** Guía de aplicación de la norma UNE-EN-60079-10. Material eléctrico para atmósferas de gases explosivos. Clasificación de emplazamientos peligrosos.

Específicas:

- **UNE-EN-60601:2006.** Salas de máquinas y equipos autónomos de generación de calor o frío o para cogeneración que utilizan combustibles gaseosos. GAS NATURAL. En su anexo A, da indicaciones sobre ventilación a efectos de reducir las zonas ATEX.

(*) en el momento de la publicación de esta guía, está en revisión la edición 2019 por lo que puede haber algún cambio con la aplicada edición 2016, el autor la ha revisado y no son sustanciales.

- **UNE-EN-60601:2013.** Salas de máquinas y equipos autónomos de generación de calor o frío para cogeneración que utilizan combustibles gaseosos. GAS NATURAL. Determina la desclasificación por uso de detectores y corte suministro instalación.
- **Reglamento técnico de distribución y utilización de combustibles gaseosos 8919/2006.** GAS NATURAL. En su instrucción IGC-07, remite a UNE-60601.
- **UNE-EN-50272-3. Requisitos de seguridad para las baterías e instalaciones de baterías.** Parte 3. Baterías de tracción. HIDRÓGENO. En su apartado 6, da indicaciones de cómo se debe clasificar, yo interpreto un grado de escape primario (solo emite durante la carga), un grupo de gas IIC, una temperatura superficial T 3 (independientemente de que el H2 sea T 1) y una distancia de 0,5 metros alrededor de la batería durante el proceso de carga.
- **APQ-1. Almacenamiento de productos químicos.** Remite al Reglamento de Baja Tensión, con lo cual son de aplicación UNE-EN-60079-10-1 y UNE-600679-10-2.
- **IP-03 e IP-04. Instalaciones de suministro de gasolina o gasoil.** Remite al Reglamento de Baja Tensión, con lo cual es de aplicación UNE-EN-60079-10-1.
- **Reglamento de seguridad frigorífica. AMONÍACO para refrigeración.** En su IF-12 apartado 3.4.2 determina que el amoníaco no clasifica y obliga a ventilación, detección y equipos de extracción con modo de protección para zona 1 IIA T 1, cuando se alcanza la concentración regulada. En IF-07 apartado 5, se establecen los requisitos de ventilación.

POLVO

La definición de polvo es importante, ya que se trata de sólidos con tamaño de partícula medio inferior a 500 micras.

Una misma operación en función de las técnicas aplicadas da como resultado distintas clasificaciones.

En la norma EN 60079-10-2, aparece en el anexo A un ejemplo de vaciado de sacos, sin y con aspiración. Si además le aplicamos el anexo B sobre limpieza, podemos ir reduciendo las zonas ATEX técnicamente con la aspiración y organizativamente con la limpieza.

Caso 1: estación de vaciado de sacos en interior de edificio sin ventilación por extracción:

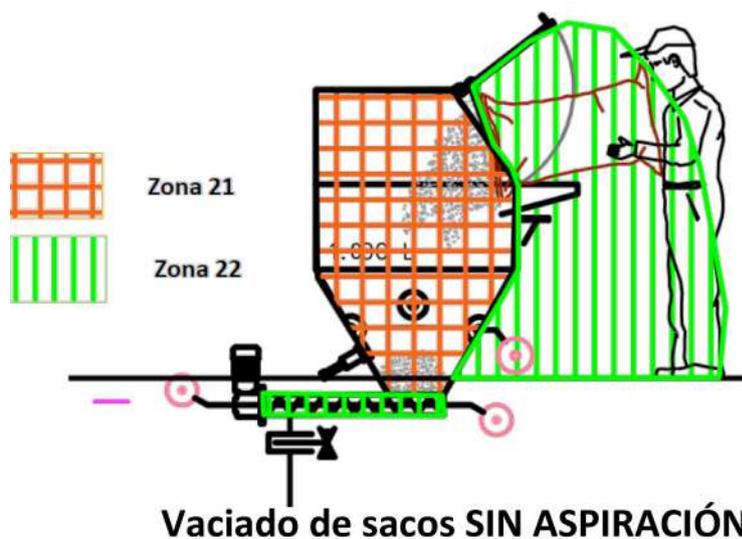
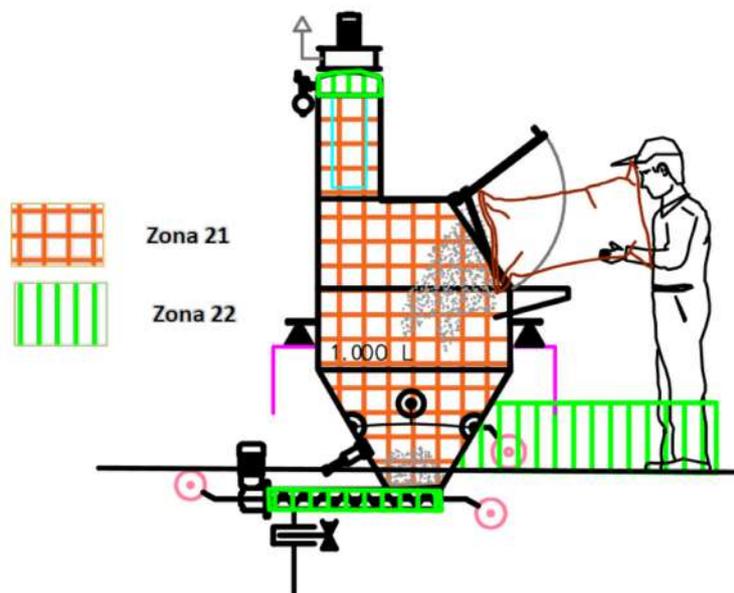


Fig. 26 b

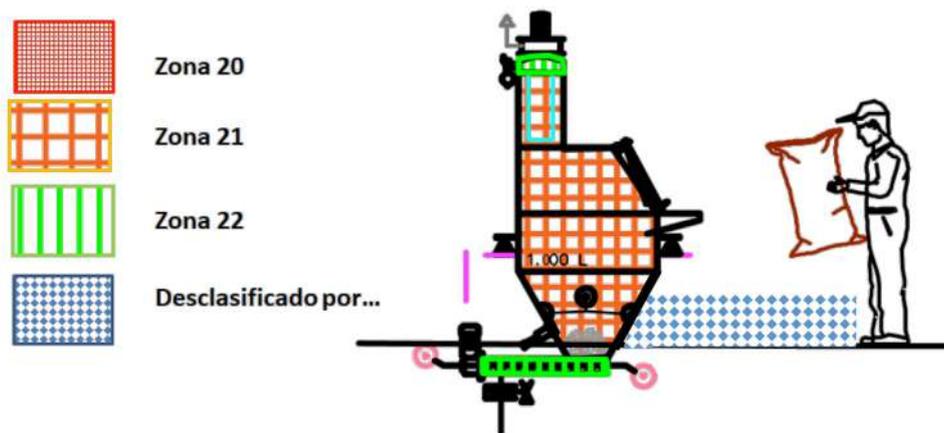
Caso 2: Estación de vaciado de sacos en interior de edificio con ventilación por extracción:



Vaciado de sacos CON ASPIRACIÓN

Fig. 27

Caso 3: Si además aplicamos lo dicho en el anexo B sobre limpieza, podemos eliminar la zona 22 en los alrededores



Vaciado de sacos CON ASPIRACIÓN y preventivo de limpieza

Fig. 28

Además en función de la frecuencia del vaciado y de la eficiencia de la aspiración, así como de las características del producto, en el interior de la tolva podemos pasar zona 21 o incluso zona 22; incluso si el producto no genera polvo por su humedad o por el tamaño de partícula, podremos hasta desclasificar el interior.

GASES, VAPORES Y MEZCLAS

En función de la ventilación y/o inertización, podemos tener distintas zonas.

En el caso de un reactor que en su interior contenga un líquido inflamable, en función de si está abierto sin aspiración o si dispone de una aspiración, si está cerrado o se inertiza, las zonas variarán sustancialmente, tanto en su interior como en su entorno.

Caso 1: Reactor abierto sin extracción:

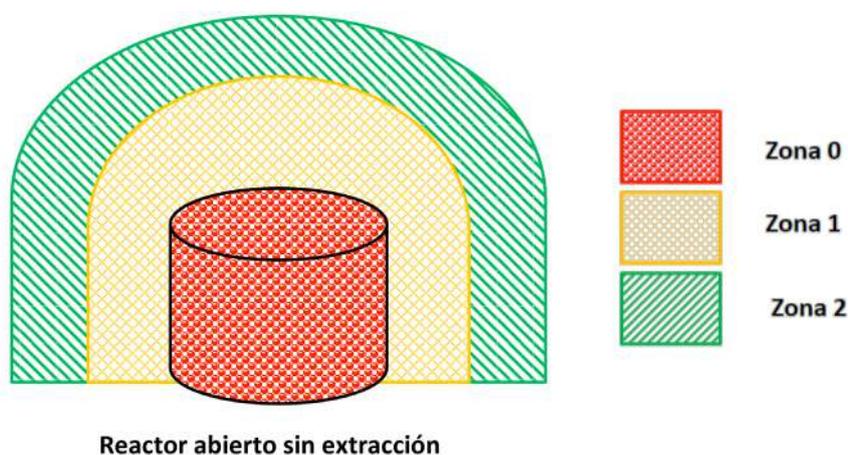


Fig. 29. Reactor abierto sin extracción es una situación no habitual, pero que suele emplearse para la selección de equipos, y es conveniente no confundir.

Caso 2: Reactor abierto con extracción:

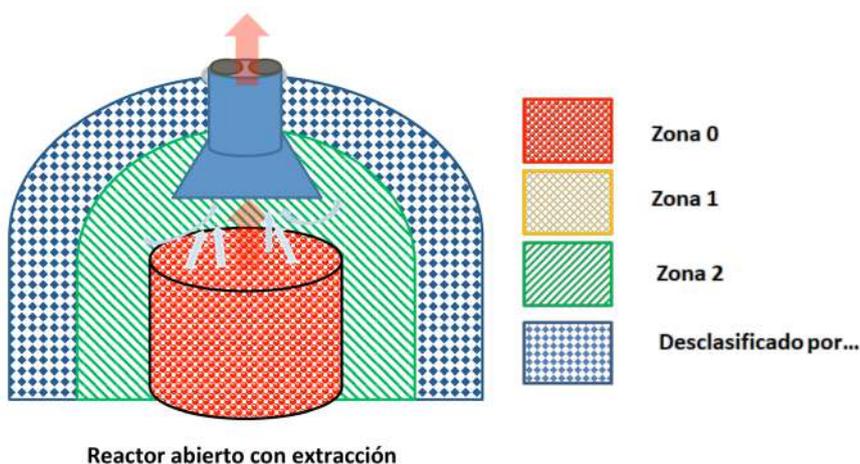


Fig. 30

Caso 3: Reactor cerrado y estanco:

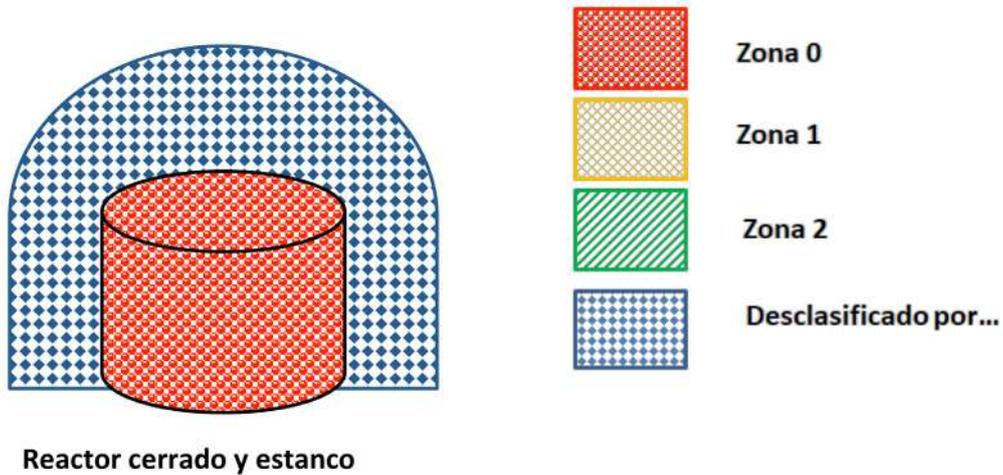


Fig. 31. Esta es la situación habitual en instalaciones con reactores con líquidos inflamables.

Caso 4: Reactor cerrado e inertizado con gas inerte:

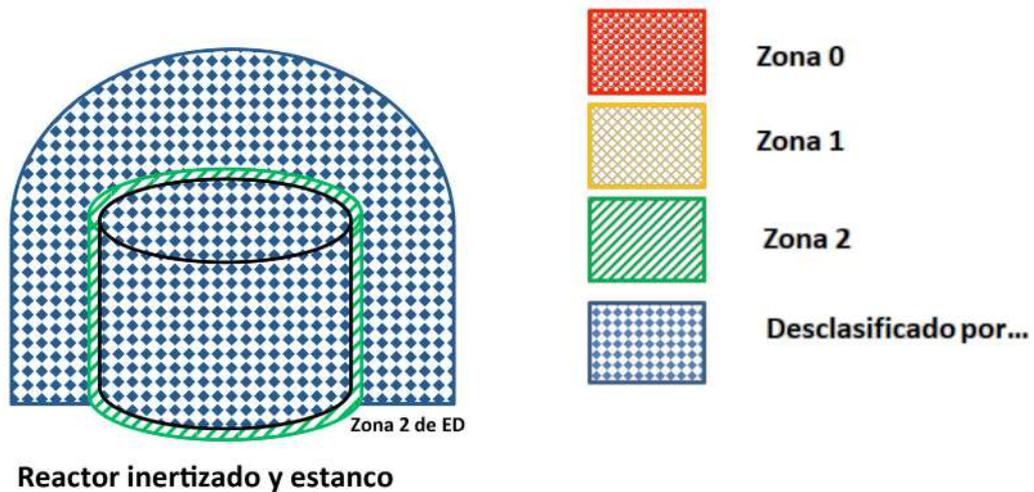


Fig 32 Reactor inertizado

Al tener el reactor presión interior por efecto de la inertización, podría darse una pequeña zona 2 a su alrededor, siendo esta de extensión despreciable, siempre y cuando se dé una buena ventilación en la estancia.

4.1. Clasificación de zonas con atmósferas explosivas gaseosas (gases, vapores y nieblas)

El comportamiento fisicoquímico de sustancias gaseosas nos va a decir cómo se van a formar mezclas con el aire; la comparación con la densidad del medio (el aire) no indicará cómo actúan los escapes. Así, los gases más ligeros que el aire escaparán de sus recipientes y pueden formar atmósferas explosivas en zonas superiores siendo a su vez fácilmente eliminables, ya que tenderán a salir de los recintos; por contra, los gases más pesados se pueden acumular en partes bajas, tales como fosos, sumideros.

Los vapores de líquidos siempre serán más pesados que el aire y tenderán a condensar; por ello, si bien tenemos riesgo de explosión con gases, con los líquidos inflamables el riesgo es más de inflamación e incendio, pero este incendio podría llevar a generar explosiones posteriores.

Partiendo de este comportamiento, se evalúa la probabilidad de aparición de una atmósfera explosiva debido a un escape dependiendo del grado de este: continuo, primario o secundario. Conocido el grado de escape, se procederá a evaluar las otras características que determinará la extensión y peligrosidad de la zona creada, tales como:

- la velocidad y grado de escape,
- la característica de escape,
- la concentración (LII),
- ventilación,
- otros factores relacionados.

Con estos valores, ya es posible realizar un análisis de posibilidad de aparición de una atmósfera explosiva y así conocer el tipo de zona creada y su extensión.

La densidad relativa es fundamental para determinar dónde irán los escapes.

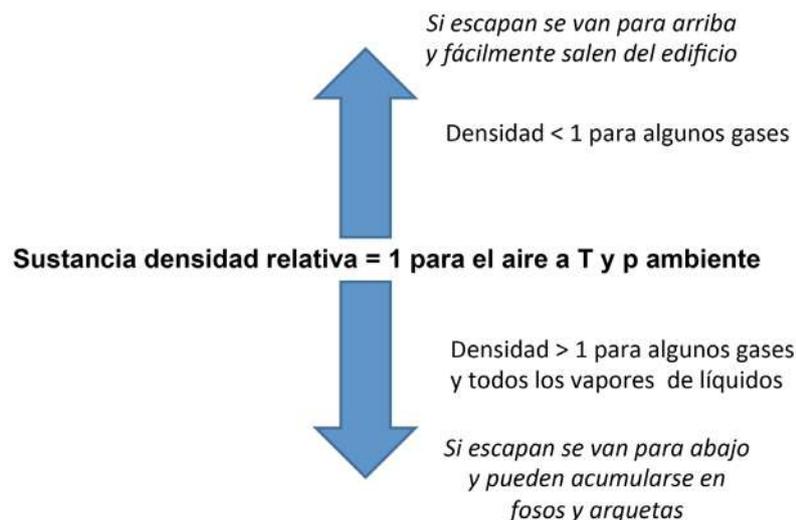


Fig. 33. Densidad relativa al aire

Método de clasificación por fuentes de escape

El procedimiento para el estudio de una zona de atmósfera explosiva puede resumirse en los siguientes pasos:

- 1. Se identifican las fuentes de escape.**
Se analizan de manera detallada todos los puntos en los equipos y emplazamiento que pueden ser considerados como tales.
- 2. Se determina la frecuencia o probabilidad, la velocidad de escape y el grado de escape.**
Se calculará en función de las condiciones de proceso y de las sustancias implicadas.
- 3. Se evalúan la efectividad de la ventilación, la dilución y el emplazamiento.**
Se estudiará la desclasificación del proceso en base a la distribución de los diferentes tipos de aberturas y/o ventilación.
- 4. Se determina el tipo de zona.**
Se crea una zona alrededor de la fuente de escape o pudiendo llegar a desclasificarla.
- 5. Se determina la extensión de la zona.**
Se delimita el alcance efectivo que puede tener el escape de gas alrededor del punto de estudio, siendo esta extensión el objeto de cálculo.

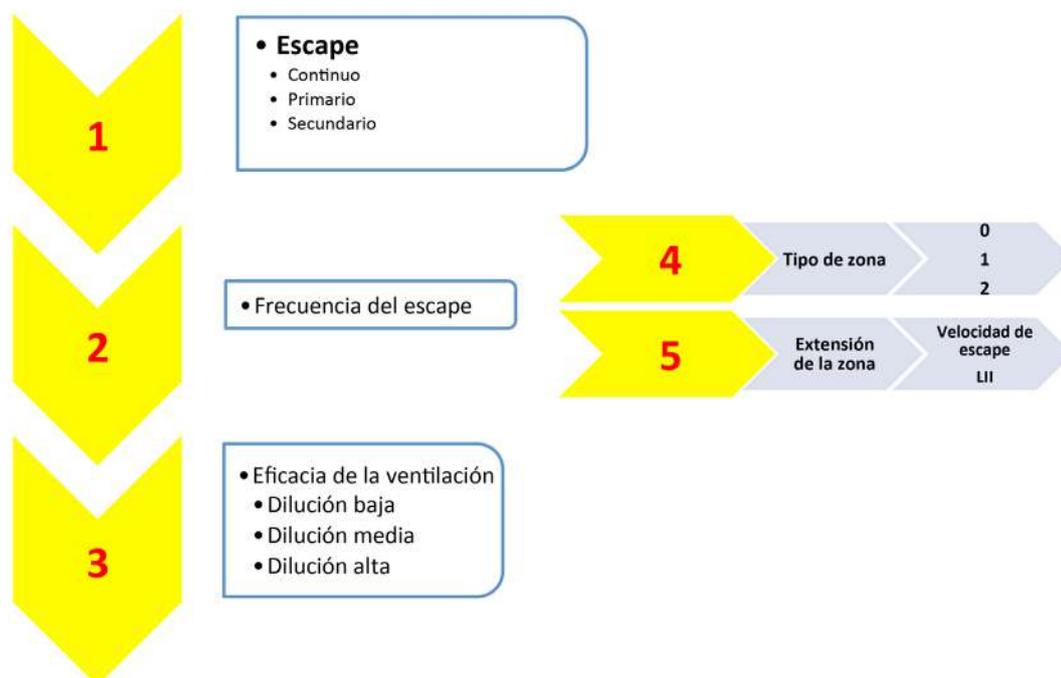


Fig. 34

Determinación de la extensión de las zonas

El valor más importante a la hora de clasificar una zona es la **velocidad de escape** que puede alcanzar esa fuente, ya que determinará en gran medida la extensión máxima de la zona. El otro valor que va a determinar la clasificación es el **límite inferior de inflamabilidad**. No es lo mismo tener una fuga de hidrógeno, con un **LII** de 4,4%, ya que podrá alcanzar la concentración más fácilmente, que el amoníaco, con un **LII** de 15%.

Zona 0: solo se considera la que de manera permanente presenta una atmósfera explosiva gaseosa. Sería el interior de un depósito de sustancia inflamable siempre y cuando se almacene con aire; si solo es la sustancia, como pasa en las bombonas de gases, no tendríamos mezcla explosiva y, por tanto, ATEX.

Nota: se acostumbra a considerar zona 0 en el interior de depósitos y bombonas de gas, haciendo clara referencia a la selección de equipos a instalar en su interior, como niveles, manómetros, etc. En un concepto de mayor seguridad, que no debemos extrapolar a otros casos.

Zona 1: se consideran dónde aparece atmósfera explosiva gaseosa cuando realizamos alguna tarea habitual y normal. Podría tratarse de la apertura de un recipiente de un gas o líquido para su uso, dosificación o extracción.

Zona 2: son atmósferas que aparecerán de manera rara (no se consideran las roturas accidentales). Las que pudieran aparecer por efecto de las fuentes de escape no evitables que quedarán ventilados, pero que no pueden llegar a desaparecer.

Zona desclasificada: las actuaciones sobre las fuentes de escape derivan hacia la eliminación del riesgo. Por eso es necesario que en los procesos o puntos donde puedan producirse los escapes estén debidamente ventilados, ya sea naturalmente o artificialmente, y poder así desclasificar el emplazamiento.

Las actuaciones típicas de desclasificación son:

- Ventilación por soplado o por aspiración.
- Detección con actuación automática (ventilación o corte de suministro).
- Protocolos de manipulación.

Simbología:

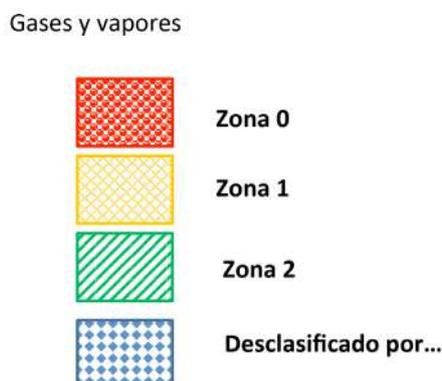


Fig. 35. Simbología zonas para gases y vapores

Escape de sustancia inflamable gaseosa

La velocidad de escape de una sustancia inflamable es el factor que más afecta a la extensión de la zona y a mayor velocidad mayor extensión.

La ventilación va actuar como un efecto diluyente de la sustancia inflamable reduciendo la concentración del gas o vapor por debajo del límite inferior de inflamabilidad (LII).

Para conocer la naturaleza de los escapes, es fundamental determinar qué elementos del proceso tienen en su interior sustancias inflamables y cuáles pueden originar una fuente de escape y que se evalúan como grados de escape:

- **Grado continuo:** continuo o frecuente o por periodos largos.
- **Grado primario:** periódico u ocasional en funcionamiento normal.
- **Grado secundario:** infrecuente, no se espera en funcionamiento normal.

Solo teniendo en cuenta el grado de escape se darían las siguientes zonas:

Grado continuo	Zona 0
Grado primario	Zona 1
Grado secundario	Zona 2

La disponibilidad de la ventilación y el grado de dilución reducen estas zonas.

Así, la eficacia de la ventilación dependerá de si la disponibilidad de la ventilación es buena, justa o pobre, así como la dilución si es baja, media o alta.

La eficiencia está directamente asociada al tipo de escape; lo que puede ser bueno para uno no puede llegar a ser suficiente para otro, así que se debe definir bien el tipo de escape.

Además de la mencionada velocidad de este escape, existen otros factores que influyen en el tipo y la extensión de zona.

Simultaneidad de escapes

Si se pueden dar más de un escape y sumar los escapes, para ello es fundamental el conocimiento del funcionamiento de la instalación. Por ejemplo, en una instalación pueden producirse escapes de grado primario simultáneamente, aunque en la práctica esto se suele impedir; por ejemplo, en una zona de descarga de líquidos inflamables se impide la descarga simultánea de cisternas o se mantienen distancias para que los escapes no se solapen.

En caso de que puedan llegar a simultanear, se sigue el siguiente criterio de suma de totales:

- **Grado de escape continuo total** es la suma de los escapes continuos individuales.
- **Grado de escape primario total** es la suma de algunos escapes primarios individuales combinada con el escape continuo total.
- **Grado de escape secundario total** es el mayor de los secundarios combinado con el escape primario total.

Si los escapes son de la misma sustancia inflamable, entonces las velocidades de escape pueden sumarse. Pero si son varias sustancias se complica y se deberá tomar el grado de escape más alto. Para la determinación del valor crítico de LII (típicamente el 25% de este LII) se deberá utilizar el LII combinado.

Formas de escape

Las formas de escape afectan a la facilidad de dilución.

- **Escape gaseoso**

Un escape de gas generará un chorro de gas o penacho en la fuente de escape en función de la presión del escape:

- De **baja velocidad**: la densidad relativa condiciona la zona. Los gases más ligeros tenderán a moverse hacia arriba, al revés de los más pesados, que tenderán a acumularse al suelo y, con el tiempo, llegarán a modificar la densidad del aire circundante y alcanzarán una flotabilidad neutra.
- A **mayores presiones**, el chorro de gas se mezcla turbulentamente con el aire y atrae más aire hacia el chorro.
- A **altas presiones**, hay un efecto termodinámico de enfriamiento que hace que gases más ligeros se vuelvan más densos hasta que se calientan, produciendo el efecto de flotabilidad neutra.

- **Licuada a baja presión**

Son gases que se licuan al aplicarles algo de presión, por ejemplo butano y propano. En caso de que la fuga fuera de líquido, este se evapora parcial y adiabáticamente, lo que mantendría charcos fríos de gas licuado que, con el tiempo, se evaporarán, siendo el comportamiento de estos gases, por estar fríos, como más densos que el aire.

- **Licuada por refrigeración**

Son gases más ligeros que el aire que solo pueden ser licuados por criogenización, es decir, por enfriamiento, con lo que en el principio de la fuga su densidad es mayor que la del aire, y se van volviendo más ligero conforme absorben la temperatura ambiental.

- **Aerosoles**

Se trata de nieblas inflamables, con partículas de menos de 50 micras, que se producen cuando un líquido combustible o inflamable a presión se fuga por un pequeño orificio, y pueden llegar a tener flotabilidad neutra.

- **Vapores**

Se producen por la evaporación de un líquido, que en condiciones ambientales se consideran extensiones demasiado pequeñas como para afectar a la clasificación de emplazamientos peligrosos.

- **Escapes de líquidos**

Un escape de líquido inflamable suele generar un charco en el suelo, con una nube de vapor en la superficie del líquido. También es habitual que estos escapes se produzcan sobre el agua. En algunos casos, el agua diluye aquellos que son polares como los alcoholes y, por tanto, pierden peligrosidad, aunque la mayoría de líquidos inflamables son apolares y menos densos que el agua y, por tanto, quedan en la superficie y pueden llegar a evaporarse más rápidamente.

Formas de escape:

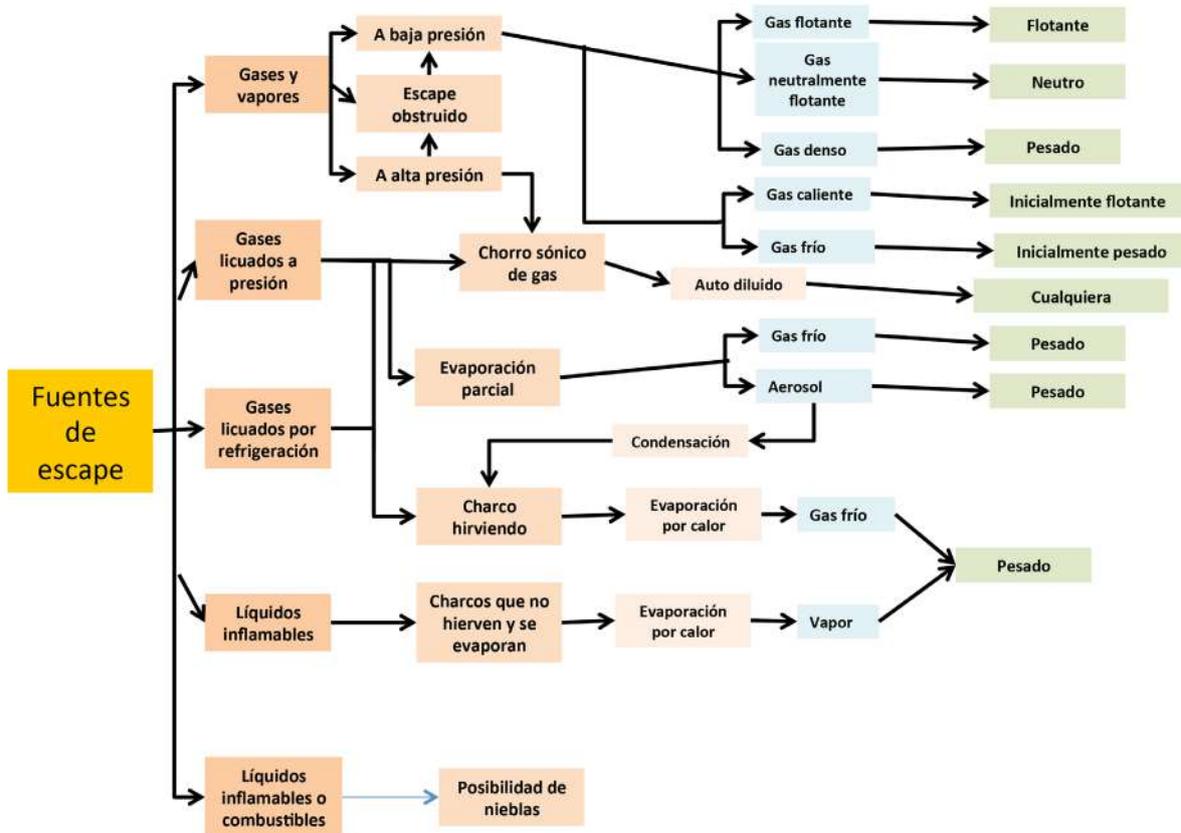


Fig. 36

Ejemplos de fuentes de escape:

Fuentes de escape en **grado continuo**.

- La superficie de un líquido inflamable en el interior de un depósito abierto a atmósfera, es decir atmosférico.
- La superficie de un líquido inflamable que está abierto continuamente o por largos periodos de tiempo.

Fuentes que da un escape de **grado primario** en los que se espera liberación de gases o vapores en parte del funcionamiento normal:

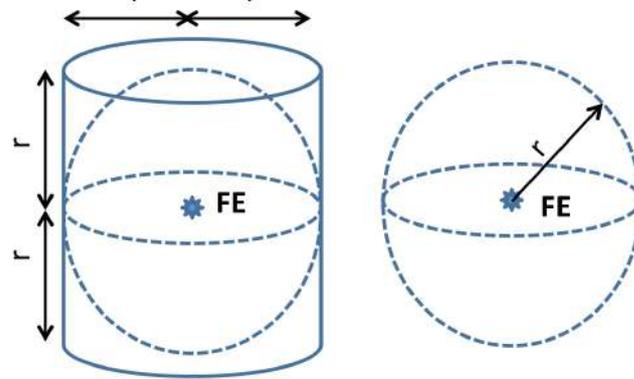
- Válvulas de sobrepresión de depósitos, purgadores y puntos de drenaje.
- Puntos de muestreo.
- Sellos de bombas, compresores y válvulas, donde se esperan escapes en funcionamiento normal.

Fuentes de escape de **grado secundario**, las anteriores pero que no se espera en funcionamiento normal.

- Bridas y uniones de conducciones en las que no se esperan escapes. En función de la sustancia, pueden ser más o menos. Estos escapes pueden eliminarse fácilmente mediante ventilación y controles de mantenimiento de estanqueidad.

Formas sugeridas por EN 60079-10-1

Para gas / vapor a baja presión:

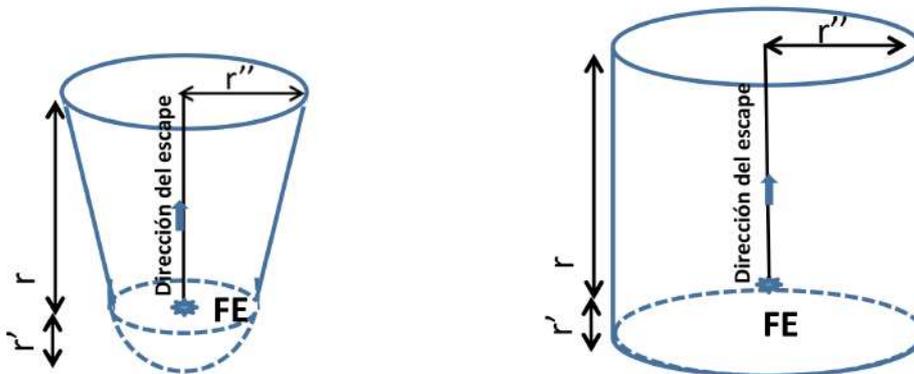


FE Fuente de escape

r Extensión principal del emplazamiento peligroso

Fig. 37

Para gas/vapor a alta presión: la dirección del escape es imprescindible



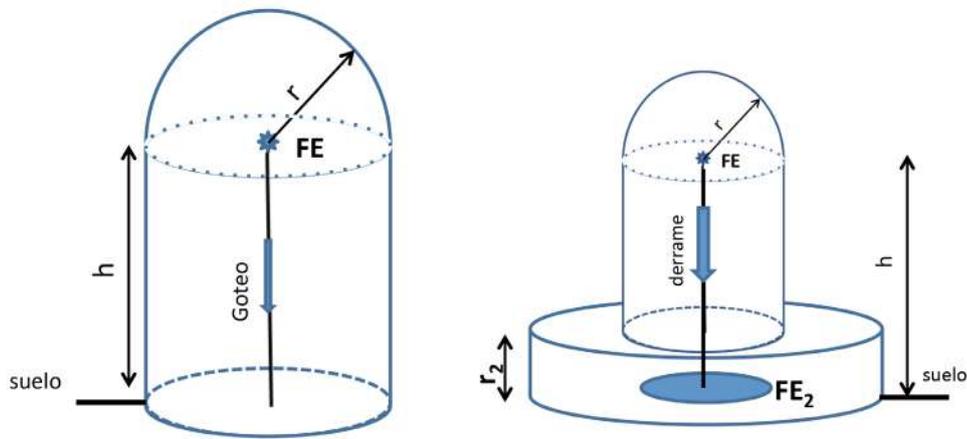
FE Fuente de escape

r Extensión principal del emplazamiento peligroso

r', r'' extensiones secundarias a definir teniendo en cuenta el comportamiento del escape

Fig. 38

En el caso de líquidos, fugas por goteo o derrame:

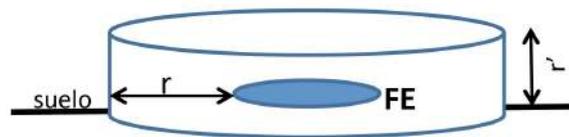


FE, FE₂ Fuente de escape

r, r₂ Extensión principal del emplazamiento peligroso
H Distancia entre escape y suelo

Fig. 39

Charco de líquido inflamable que se evapora sin llegar a ebullición:



FE, Fuente de escape

r Extensión principal del emplazamiento peligroso
H Distancia entre escape y suelo

Fig. 40

Tamaño y radio de la fuente de escape

Para cuantificar una fuente de escape, el valor crítico es el radio del orificio. Determina la velocidad de escape de la sustancia y, en consecuencia, el tipo de y extensión de la zona.

La velocidad de escape es proporcional al cuadrado del radio del orificio.

Para grados de escape secundarios en la norma EN 60079-10-1 se sugiere:

Tipo de elemento	Elemento	Consideraciones de la fuga Valores típicos de las condiciones en las que la abertura de escape		
		No se expandirá	Puede expandirse p.e., por la erosión	Puede expandirse por un fallo severo, p.e., expulsión de gas
		S (mm ²)	S (mm ²)	S (mm ²)
Elementos de estanqueidad en partes fijas	Bridas con junta de fibra comprimida o similares	≥ 0,025 hasta 0,25	<0,25 hasta 2,5	(sector comprendido entre dos pernos) x (espesor junta) ≥ 1 mm
	Bridas con junta en espiral o similares	0,025	0,25	(sector comprendido entre dos pernos) x (espesor junta) ≥ 0,5 mm
	Conexión de junta tipo anillo	0,1	0,25	0,5
	Conexiones de pequeño calibre de hasta 50 mm ^a	≥ 0,025 hasta 0,1	>0,1 hasta 0,25	1,0
Elementos de sellado en las partes móviles a baja velocidad	Conjunto de vástagos de válvulas	0,25	2,5	A definir de acuerdo con los datos del fabricante del equipo, pero no inferior a 2,5 mm ^{2d}
	Válvulas de alivio de presión ^b	0,1 x (sección del orificio)	NA	NA
Elementos de sellado en las partes móviles a alta velocidad	Bombas y compresores ^c	NA	≥ 1 hasta 5	A definir de acuerdo con los datos del fabricante del equipo y/o la configuración de la unidad de proceso, pero no inferior a 5 mm ^{2dye}

^a Secciones rectas del orificio sugeridas para juntas de anillo, conexiones roscadas, juntas de compresión (por ejemplo, conexiones de compresión metálicas) y juntas de unión rápida en pequeñas tuberías.
^b Se refiere a fugas debidas al mal funcionamiento de los componentes de la válvula.
^c Compresores alternativos. La carcasa del compresor y los cilindros no son elementos que produzcan escapes, excepto los conjuntos de varilla y pistón y varias conexiones de las tuberías del proceso.
^d Datos del fabricante del equipo. Para evaluar los efectos, es necesaria la cooperación del fabricante.
^e Configuración de la unidad de proceso: se deberá solicitar los datos al fabricante.
 NA: no aplica

NOTA: en los códigos nacionales o industriales correspondientes a aplicaciones específicas se pueden encontrar otros valores específicos

Velocidad de escape

El tamaño de una nube de gas o vapor se determina por la velocidad de escape y la velocidad de dilución.

La velocidad de escape se va a ver influenciada por:

- La naturaleza y el tipo de escape.
- La presión del proceso que emana la sustancia. A mayor presión mayor velocidad.
- La concentración de la sustancia inflamable en el medio.
- La volatilidad del líquido inflamable, la presión vapor y la entalpía de vaporización (de no tener estos datos, se pueden estimar a partir de la temperatura de ebullición y la temperatura de inflamación), el aumento de la temperatura del líquido hace aumentar la presión vapor, y no existe riesgo de formación de ATEX si el líquido está por debajo de la temperatura de inflamación o destello.

Estimación de la velocidad de escape

Se trata de una estimación, ya que el cálculo de un asunto complejo con modelos matemáticos sencillos no dará un resultado exacto, pero sí operativo.

La viscosidad de líquidos puede reducir significativamente la velocidad de escape; se emplea un coeficiente de descarga (C_d) que, si la apertura del escape es de forma alargada, será $C_d \leq 1$.

Para orificios con forma regular, el valor es de 0,99, mientras que para orificios irregulares es de 0,75

La velocidad de escape de un líquido (W) será:

$$W = C_d S \sqrt{2 \rho \Delta p} \text{ (kg/s)}$$

Donde:

C_d es el coeficiente de descarga (adimensional) de 0,5 a 0,75 para orificios de aberturas afiladas y de 0,95 a 0,99 para orificios de aberturas redondeadas.

S es la superficie del orificio en (m²)

ρ Densidad del líquido (kg/m³)

Δp diferencia de presión entre los dos lados de la abertura (Pa)

La velocidad de escape de un gas o vapor (W_g) será:

En el caso de que la densidad del gas se aproxime a la del gas licuado, se aplica la ecuación para líquidos.

Cuando la presión del gas es mucho menor a la del gas licuado, se estima en base a la expansión adiabática de un gas ideal.

La velocidad del gas liberado es sónica si la presión en el interior del contenedor de gas es superior a la presión crítica p_c . Esta se determina:

Para gases ideales

$$p_c = p_a \left(\frac{\gamma + 1}{2} \right)^{\gamma / (\gamma - 1)} \text{ (Pa)}$$

$$\gamma = \frac{M c_p}{M c_p - R}$$

Donde

p_c es la presión crítica (Pa). Para la mayoría de gases es 1,89 pa

γ es el índice politrópico de expansión adiabática o ratio de calores específicos (adimensional)

C_p es el calor específico a presión constante

R es la constante universal de los gases (8314 J/kmol K)

M Masa molar del gas o vapor (kg/kmol)

La velocidad de escape de un gas (W_g)

A velocidad subsónica:

$$W_g = C_d S p \sqrt{\frac{M}{Z R T} \frac{2\gamma}{\gamma - 1} \left[1 - \left(\frac{p_a}{p} \right)^{(\gamma - 1)/\gamma} \right]} \left(\frac{p_a}{p} \right)^{1/\gamma} \text{ (kg/s)}$$

A velocidad sónica:

$$W_g = C_d S p \sqrt{\gamma \frac{M}{Z R T} \left(\frac{2}{\gamma + 1} \right)^{(\gamma + 1)/(\gamma - 1)}} \text{ (kg/s)}$$

La velocidad de descarga sónica es la máxima posible de descarga.

El caudal volumétrico Q_g será:

$$Q_g = \frac{W_g}{\rho_g} \text{ (m}^3 \text{ / s)}$$

Donde la densidad del gas ρ_g será

$$\rho_g = \frac{p_a M}{R T_a}$$

Donde

Cd es el coeficiente de descarga (adimensional) de 0,5 a 0,75 para orificios de aberturas afiladas y de 0,95 a 0,99 para orificios de aberturas redondeadas

S es la superficie del orificio (en m²)

p es la presión interior del recipiente (Pa)

pa es atmosférica (101 325 Pa)

M es la masa molar del gas (kg/kmol)

Z es el factor de compresibilidad (adimensional)

R es la constante universal de los gases (8 314 J/Kmol K)

T es la temperatura absoluta del gas (K)

y es el índice politrópico de expansión adiabática o ratio de calores específicos (adimensional)

La velocidad de escape de charcos de evaporación (W_e)

Un charco puede ser causado por fugas o derrames o en aquellos lugares donde existe un envase abierto. Si se encuentran en condiciones ambientales, se puede calcular la velocidad de evaporación:

$$W_e = \frac{18,3 \times 10^{-3} u_w^{0,78} A_p p_v M^{0,667}}{R \times T} \text{ (kg/s)}$$

Donde

u_w es la velocidad del viento en la superficie del charco de líquido (m/s)

A_p es la superficie del charco (m²)

p_v es la presión interior del recipiente

M es la masa molar del gas (kg/kmol)

R es la constante universal de los gases (8 314 J/Kmol K)

T es la temperatura absoluta del gas (K)

y es el índice politrópico de expansión adiabática o ratio de calores específicos (adimensional)

La densidad del vapor ρ_g en kg/m^3 es:

$$\rho_g = \frac{p_a M}{R T_a}$$

Donde

ρ_g es la densidad del gas o vapor (kg/m^3)

p_a es la presión atmosférica absoluta (101.325 Pa)

M es la masa molar del gas (kg/kmol)

R es la constante universal de los gases (8 314 J/Kmol K)

T_a es la temperatura ambiente absoluta (K)

Entonces la velocidad de evaporación Q_g (m^3/s) es:

$$Q_g \approx \frac{18,15 \times 10^{-8} u_w^{0,78} A_p p_v}{M^{0,333}} \times \frac{T_a}{T} \left(\text{m}^3/\text{s} \right)$$

Donde

Q_g es el caudal volumétrico de gas inflamable de la fuente del escape (kg/m^3)

p_a es la presión atmosférica absoluta (101.325 Pa)

u_w es la velocidad del viento en la superficie del charco de líquido (m/s)

A_p es la superficie del charco (m^2)

p_v es la presión interior del recipiente

M es la masa molar del gas (kg/kmol)

T es la temperatura absoluta del líquido (K)

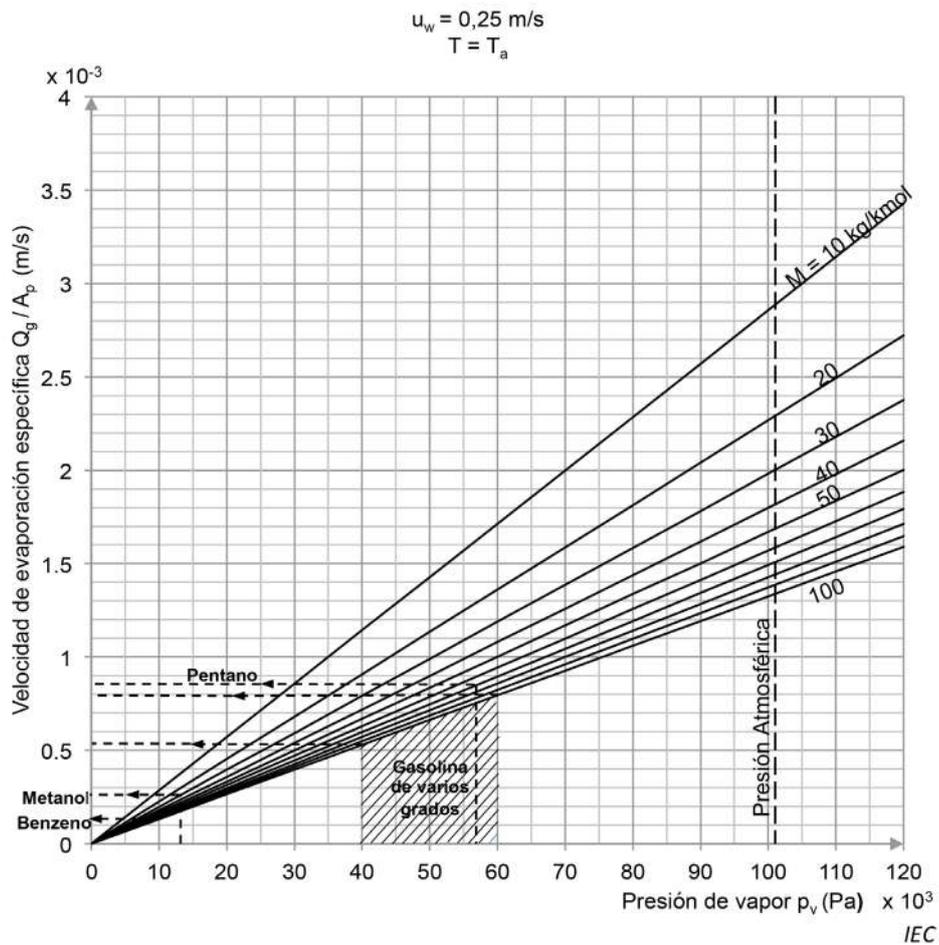
T_a es la temperatura ambiente absoluta (K)

Si suponemos valores habituales:

- Q_g es el caudal volumétrico de gas inflamable de la fuente del escape (kg/m^3)
- $p_a = 101.325 \text{ Pa}$ ($1 \text{ atm} = 760 \text{ mmHg} = 101.325 \text{ Pa} = 1.013,25 \text{ hPa}$)
- u_w 0,5 m/s (velocidad mínima del viento)
- A_p 1,0 m² (superficie del charco de 1 m² para facilitar los cálculos)
- p_v es la presión interior del recipiente
- M es la masa molar del gas (kg/kmol)
- $T = T_a$ (K) Temperatura ambiental absoluta en grados Kelvin

$$Q_g \approx \frac{6,15 \times 10^{-8} p_v}{M^{0,333}} \left(\text{m}^3/\text{s} \right)$$

p_v es la presión vapor del líquido inflamable en kPa



Velocidad de evaporación volumétrica de líquidos

Los valores del eje vertical se refieren a una superficie de charco de 1 m²; por lo tanto, la velocidad de evaporación se obtiene el valor en el eje vertical por la superficie real del charco. Y la velocidad de 0,5 m/s es la peor de los casos, ya que si esta velocidad es mayor la dispersión será mayor.

Este gráfico es a temperatura ambiente; se debe tomar la presión vapor en el eje horizontal.

Escapes a través de abertura de edificios

Se clasifican en 4 tipos: A, B, C y D

A: aberturas permanentes (pasillos, conductos, ventilaciones o que se abren frecuentemente, etc.).

B: aberturas que están normalmente cerradas (con cierre automático)

C: aberturas que están normalmente cerradas (con cierre automático) y que abren raramente.

D: aberturas que son efectivamente herméticas.

Zona aguas arriba abertura	Tipo de abertura	Grado de escape de la abertura considerada fuente de escape
Zona 0	A	Continuo
	B	{Continuo}/primario
	C	Secundario
	D	Secundario/sin escape
Zona 1	A	Primario
	B	Primario/ secundario
	C	{Secundario}/sin escape
	D	Sin escape
Zona 2	A	Secundario
	B	{Secundario}/sin escape
	C	Sin escape
	D	Sin escape
En los grados de escape indicados entre paréntesis, la frecuencia de las aberturas debería tenerse en cuenta en el diseño		

REDUCCIÓN Y ELIMINACIÓN DEL RIESGO

El sentido común nos dice que debemos eliminar el riesgo de estos escapes, pero también la norma de clasificación de emplazamientos. La UNE-EN 60079-10-1 dice literalmente:

“La clasificación de emplazamientos no debería ser una cobertura para una práctica pobre de mantenimiento”

“pero el usuario debe ser consciente de que las malas prácticas pueden comprometer la base establecida para la clasificación de emplazamientos.”

Una vez identificadas las fuentes de escape, debemos reducir su extensión o incluso eliminarla o, como dice la norma, llevarlas a ED (extensión despreciable).

La principal manera de reducción y eliminación del riesgo es la ventilación.

VENTILACIÓN (o movimiento del aire) y DISPERSIÓN o DILUCIÓN:

Un gas o vapor que se escapa a la atmósfera se mezcla de manera turbulenta y, en menor extensión, se difunde hasta que se dispersa por completo y la concentración llega a ser esencialmente nula. La ventilación natural o artificial favorece la dispersión, es decir, su dilución en el medio y de dispersar más eficazmente un gas escapado y en el caso de vapores de líquidos, se favorece la velocidad de evaporación.

Una velocidad adecuada de ventilación puede reducir el tiempo de persistencia de una ATEX e influir determinantemente en el tipo de zona.

Esta tiene dos funciones básicas:

- Aumentar la velocidad de dilución y promover la dispersión para limitar la extensión de la zona.
- Evitar la persistencia de una ATEX influyendo así en el tipo de zona.

El escape puede presentar varias formas.

- Gases, vapores o líquidos
- Interior o exterior
- Chorro sónico o subsónico, fugitivos o por evaporación
- Obstrucciones o despejado
- Densidad relativa al medio, normalmente aire, gas o vapor

La existencia de obstáculos que impidan el movimiento del aire o la ventilación pueden aumentar la extensión de la zona o limitarla dependiendo del sentido del flujo del escape. En la práctica, si esta situación, con obstáculos, se da a una velocidad alta y por cortos periodos de tiempo, no suele tenerse en cuenta, aunque si, si la velocidad es baja y los escapes son por periodos prolongados.

El aumento del movimiento de aire favorece la evaporación de un líquido; sin embargo, es más beneficioso el efecto de dispersión que el aumento de evaporación.

Por tanto, hay que determinar la **efectividad de la ventilación**:

Cantidad de aire respecto al tipo, la ubicación y la velocidad del escape de sustancia inflamable.

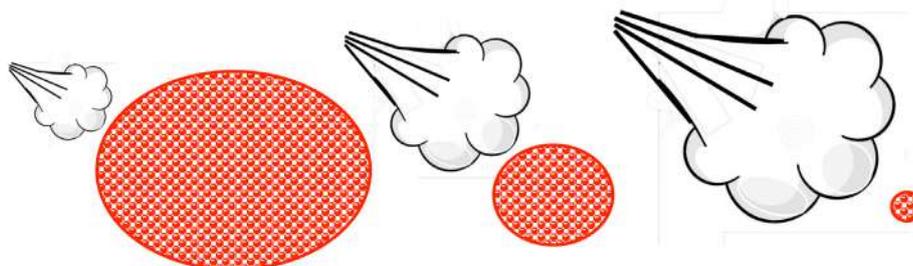


Fig. 41. A mayor ventilación mayor dilución y por tanto menor extensión de zona

Para las mismas condiciones de escape mayor ventilación menor extensión de zona.

Efectividad de la ventilación

Estará condicionada por la cantidad de aire respecto al tipo, la ubicación y la velocidad del escape.

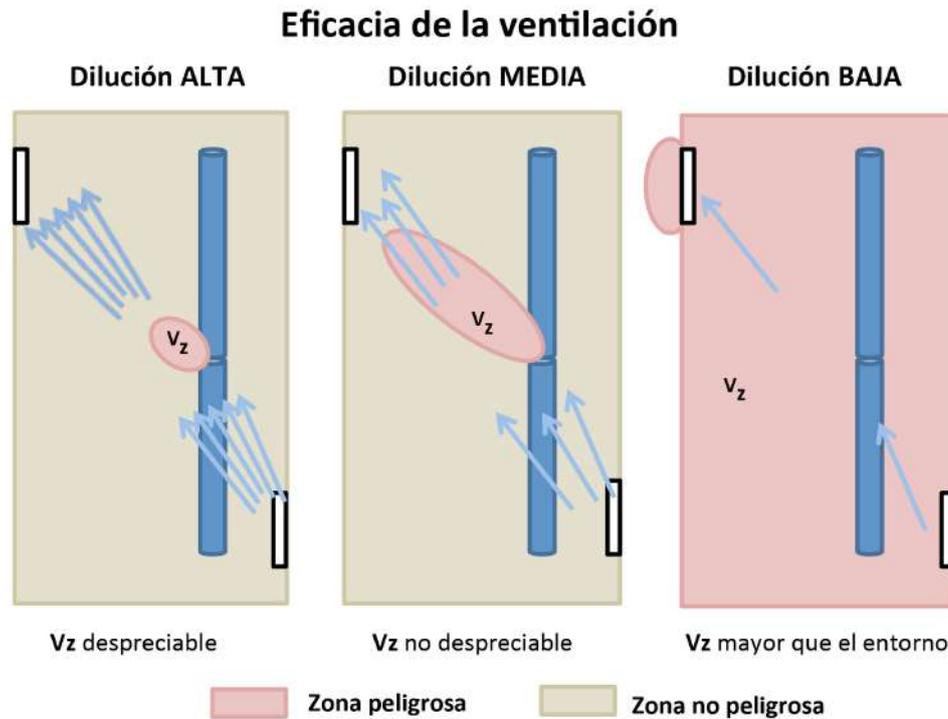


Fig. 42. La correcta dilución minimiza la extensión de zona

La efectividad puede llegar a hacer que un emplazamiento sea no peligroso.

Los criterios para obtener el grado de dilución son dos:

1. La velocidad de escape relativa (la velocidad real en relación con el LII en g/m^3).
2. La velocidad de ventilación (el flujo de aire).

Así, la eficacia de un sistema de ventilación dependerá del grado de dilución, de la disponibilidad de la ventilación o del diseño del sistema.

Se reconocen tres grados de dilución:

- a) **Dilución alta:** actúa eficazmente cerca de la fuente de escape y no permite la persistencia de la ATEX
- b) **Dilución media:** permite la existencia de una zona mientras hay escape y la elimina una vez finalizado.
- c) **Dilución baja:** no tiene efectos definitivos con las zonas ni durante, ni después del escape.

Velocidad de la ventilación

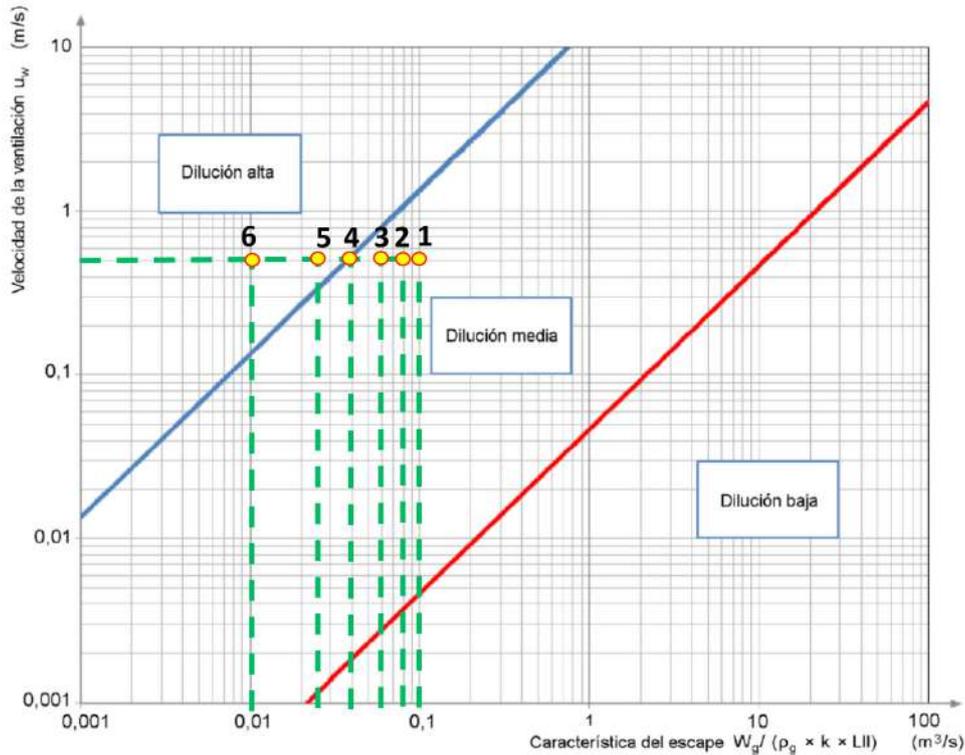
Tiene que ver con la movilidad del gas, el cual se mueve por la propia inercia de la fuga, por flotación inducida o por la ventilación.

Tabla de velocidades de la ventilación en exterior (al aire libre) (u_w)

Tipo de ubicación exterior	Emplazamiento sin obstáculos			Emplazamiento con obstáculos		
	≤ 2 m	>2 m a 5 m	>5 m	≤ 2 m	>2 m a 5 m	>5 m
Velocidad de escapes de gas menos denso que el aire	0,5 m/s	1 m/s	2 m/s	0,5 m/s	0,5 m/s	1 m/s
Velocidad de escapes de gas/vapor más denso que el aire	0,3 m/s	0,6 m/s	1 m/s	0,15 m/s	0,3 m/s	1 m/s
Velocidad de ventilación para determinar la velocidad de evaporación de charcos a cualquier altura	>0,25 m/s			>0,1 m/s		
Cuando la ventilación sea justa (velocidad de la ventilación que se supera el 95 % del tiempo) En un emplazamiento interior, se considerará una velocidad de 0,5 m/s						

Evaluación del grado de dilución

Puede ser alto, medio o bajo y depende de la velocidad de la ventilación y de las características del escape.



Donde:

Características del escape en (m³/s):

$$Q_c = \frac{W_g}{\rho_g k LII} \quad \rho_g = \frac{p_a M}{R T_a}$$

Densidad el gas/vapor (Kg/m³)

k Factor de seguridad atribuido al LII (0,5 y 1,0)

Notas:

La línea azul representa un volumen de 0,1 m³; así, cualquier valor a la izquierda de la misma es de menor volumen.

En el exterior, debe ser dilución media cuando haya obstrucciones significativas, pero sin obstrucciones debe considerarse dilución alta. Solo en pozos y fosas debe considerarse como interior; entonces, si la concentración de fondo es superior al 15 % del LII, será dilución baja.

Concentración de fondo X_b y escapes

La concentración de fondo es la concentración media de sustancia inflamable dentro del volumen de estudio (sala o edificio) después de un tiempo durante el cual se ha establecido un estado estable entre escape y flujo de aire inducido por la ventilación.

Esta concentración es fundamental para calcular el “grado de dilución”.

El grado de dilución puede evaluarse mediante la concentración de fondo X_b . Esta concentración puede considerarse 0 cuando la ventilación está localizada cerca de la fuente de escape, aunque normalmente, con ventilación, puede llegar a reducirse la zona peligrosa a las proximidades de la fuente de escape.

La concentración de fondo X_b en volumen es:

$$X_b = \frac{f \times Q_g}{Q_g + Q_1} = \frac{f \times Q_g}{Q_2} \text{ (vol/vol)}$$

Donde:

Q_1 es el caudal volumétrico de aire que entra a la sala

Q_2 es la frecuencia de renovaciones = CV_0 (m^3/s)

C es la frecuencia de renovaciones de la sala (s^{-1})

V_0 es el volumen de estudio (m^3)

Q_g es el caudal volumétrico de gas inflamable de la fuente de escape (m^3/s)

f es la concentración de fondo media X_b valor adimensional:

$f = 1$ la concentración de fondo es uniforme con salida alejada del escape

$f > 1$ hay un gradiente de concentración de fondo en la sala debido a una mezcla

ineficiente. Este valor puede estar entre 1,5 ligeramente ineficientes y 5 muy ineficientes.

Criterios para la disponibilidad de la ventilación

Como vamos diciendo, la ventilación en función de su eficacia va a condicionar la peligrosidad de la zona, por ello es crítica la disponibilidad de la misma. Esta disponibilidad cualitativamente se valora en tres niveles: **buena, justa y mala**

BUENA	Disponible de manera continua
JUSTA	Se espera en funcionamiento normal, permitiéndose discontinuidades cortas y poco frecuentes
MALA	Que no cumple con buena o justa , pero que no se espera interrupciones prolongadas

Nota: si la ventilación tiene una disponibilidad escasa no debe considerarse y, por tanto, se tomará un valor dilución baja.

Por norma general, en el interior de los edificios se considerará una disponibilidad de ventilación justa, y no buena, pero si se dota de ventilación artificial la disponibilidad pasará a ser buena.

La ventilación puede ser natural o artificial.

La **ventilación natural** en edificios con aberturas se produce por efecto de los gradientes de temperatura, y llega incluso a considerarse como si estuviera al aire libre si las aberturas son suficientes. Son muy importantes el dimensionado y la distribución de estas aberturas. No obstante, debe considerarse el peor de los casos. Es decir, para una ventilación natural con un grado de ventilación menor lleva a una disponibilidad mayor y viceversa; así consideraremos siempre el peor de los casos.

La **ventilación artificial** siempre en edificios puede considerarse como buena, pero hay que remarcar que una buena disponibilidad requiere de fiabilidad de los equipos y disponibilidad, que puede requerir soplantes de reserva. Es decir, que en caso de fallo active el soplante de reserva. Aunque en el caso de que impide el escape con la ventilación en funcionamiento, no tiene que modificarse y se puede considerar como disponibilidad buena.

- Es más importante una **correcta disposición** de aberturas de entrada y salida en relación con la fuente de escape que la capacidad de ventilación en sí.

Estimación de zonas peligrosas

Para estimar las zonas, hay que relacionar los correspondientes factores:

- Grado de escape.
- Efectividad de la ventilación y grado de dilución.
- Disponibilidad de la ventilación.

Como tabla resumen:

Grado de escape	Efectividad de la ventilación						
	Dilución alta			Dilución media			Dilución baja
	Disponibilidad de la ventilación						
	Buena	Justa	Pobre	Buena	Justa	Pobre	Buena, justa o pobre
Continuo	No peligrosa (Zona 0 ED)	Zona 2 (Zona 0 ED)	Zona 1 (Zona 0 ED)	Zona 0 + No Zona	Zona 0 + Zona 2	Zona 0 + Zona 1	Zona 0
Primario	No peligrosa (Zona 1 ED)	Zona 2 (Zona 1 ED)	Zona 2	Zona 1 + No Zona	Zona 1 + Zona 2	Zona 1 + Zona 2	Zona 0 o Zona 1
Secundario	No peligrosa (Zona 2 ED)	No peligrosa (Zona 2 ED)	Zona 2	Zona 2 + No Zona	Zona 2 + No Zona	Zona 2 + No Zona	Zona 0 o Zona 1

ED significa zona teórica de extensión despreciable

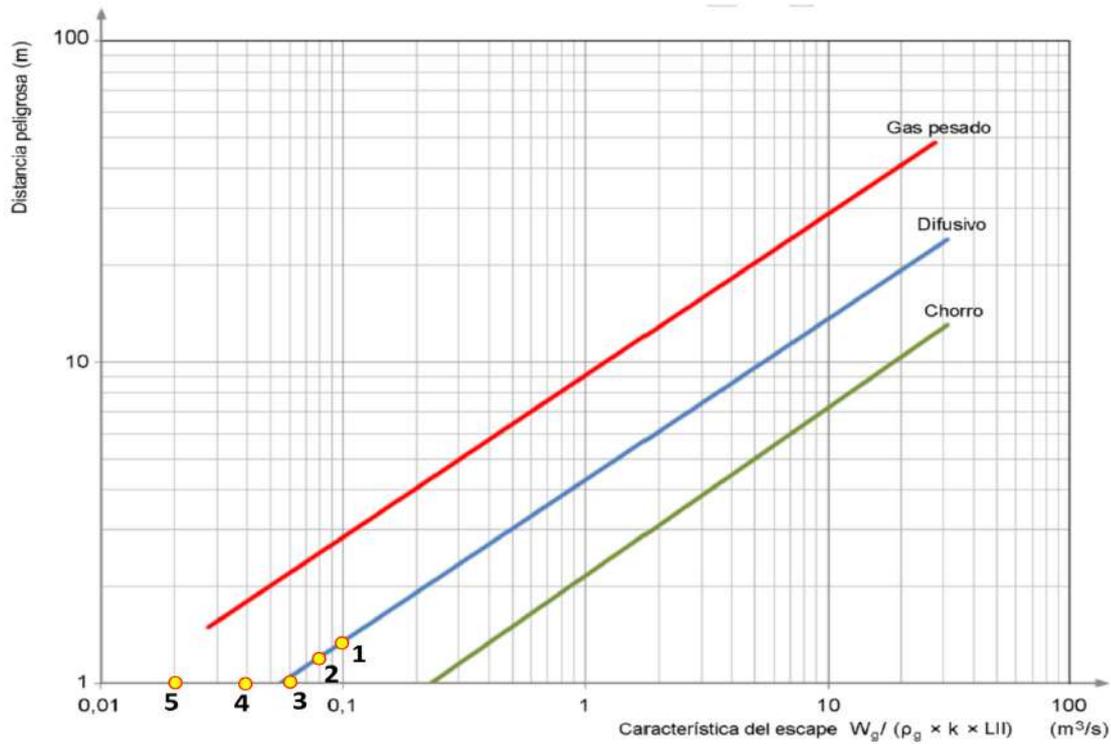
+ significa "rodeada por"

Esto va a estar condicionado por el tipo de escape

Gráfica para estimar distancias de emplazamientos peligrosos:

Tipos de escapes:

- Chorro libre a alta velocidad
- Chorro de difusión baja
- Gases pesados



Donde: Q_C es una característica de escape en (m³/s):

$$Q_C = \frac{W_g}{\rho_g k LII} \quad \rho_g = \frac{p_a M}{R T_a}$$

es la densidad del gas/vapor (kg/m³)

k: es el factor de seguridad (entre 0,5 y 1)

No aplicable a:

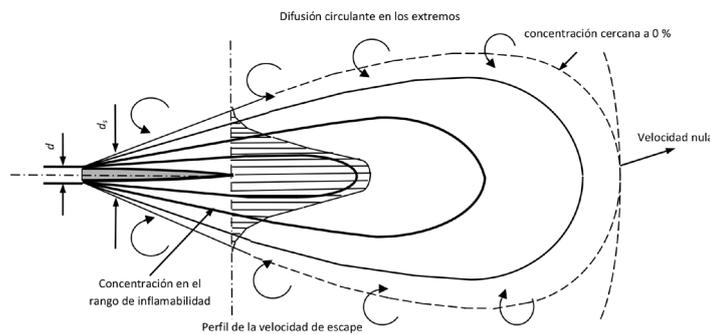
- Zonas de extensión despreciable (ED)
- Para concentración de fondo nula y no aplicables para baja dilución interior

Ejemplos de dispositivos de ventilación

La interacción entre el escape de sustancia inflamable y la ventilación determina la zona de riesgo. Hay que asumir que la dilución no va a ser homogénea y, por tanto, el cálculo de la concentración de fondo puede ser muy aproximada, siendo la disposición de las aberturas en relación entre sí y la fuente de escape determinará la dilución final.

Escape en forma de chorro en un gran edificio

Se espera que un pequeño escape en un accesorio de una tubería genere un chorro a gran velocidad si la presión interior es alta. **(Norma EN60079-10-1)**



En un edificio grande con ventilación normal de aire (puertas, ventanas, apertura techo, etc.) sugeriría que:

- Grado de dilución es medio.
- Disponibilidad de la ventilación es justa.

Y, por tanto, no se clasificaría como zona de riesgo.

En un lugar con ventilación pobre (un sótano sin ventilación) podría dar acumulación de gas y llegar a dar concentración de fondo de gas y, por tanto, da concentración de fondo.

Escape en forma de chorro en un gran edificio

Grado de escape	con ventilación normal de aire Edificio con aberturas						con ventilación pobre Sótano sin ventilación					
	Efectividad de la ventilación						Efectividad de la ventilación					
	Dilución Alta		Dilución Media		Dilución Baja		Dilución Alta		Dilución Media		Dilución Baja	
	Buena						Buena, justa o Pobre					
	Disponibilidad de la ventilación						Disponibilidad de la ventilación					
	Buena	Justa	Pobre	Buena	Justa	Pobre	Buena	Justa	Pobre	Buena, justa o Pobre		
Continuo	No peligrosa (Zona 0 ED)	Zona 2 (Zona 0 ED)	Zona 1 (Zona 0 ED)	Zona 1 + No Zona	Zona 1 + Zona 2	Zona 0 + Zona 1	Zona 1	Zona 0 + Zona 2	Zona 1 + Zona 2	Zona 0 + Zona 1	Zona 1 + Zona 2	
Primario	No peligrosa (Zona 1 ED)	Zona 2 (Zona 1 ED)	Zona 2	Zona 1 + No Zona	Zona 1 + Zona 2	Zona 1 + Zona 2	Zona 0 + Zona 1	Zona 1 + No Zona	Zona 1 + Zona 2	Zona 1 + Zona 2	Zona 0 + Zona 1	
Secundario	No peligrosa (Zona 2 ED)	No peligrosa (Zona 2 ED)	Zona 2	Zona 2 + No Zona	Zona 2 + No Zona	Zona 2 + No Zona	Zona 0 + Zona 1	Zona 2 + No Zona	Zona 2 + No Zona	Zona 2 + No Zona	Zona 0 + Zona 1	

ED significa zona teórica de extensión despreciable + significa "rodeada por"

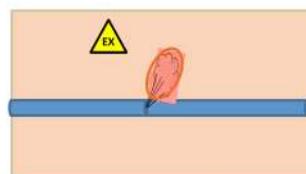
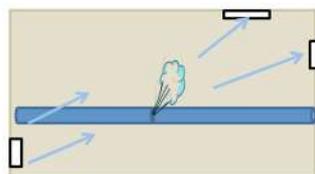


Fig. 43. La ventilación condiona la zona ATEX

Escape en forma de chorro en un pequeño edificio ventilado artificialmente

Salvo que el escape en chorro sea a baja presión, hay que esperar alguna concentración por encima del LII. Por ello, se podría hacer necesario un grado de dilución alto, que solo se asegura mediante ventilación artificial.

Puede darse un movimiento del aire en círculo que haga que este se estanque sin llegar a salir, lo que puede dar concentraciones de fondo altas.

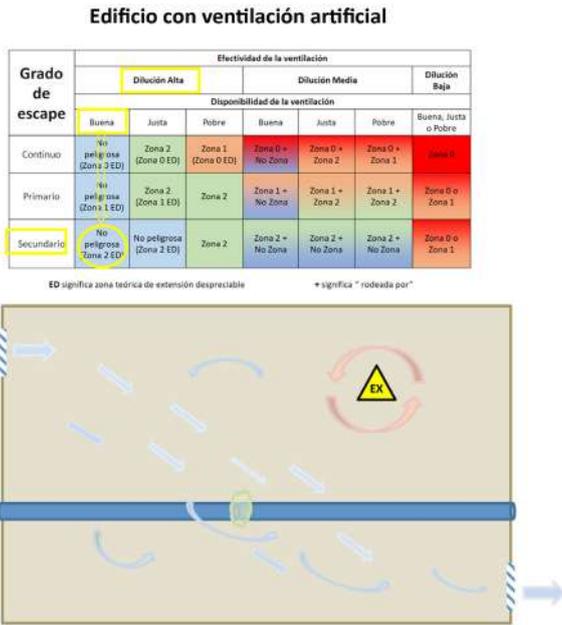


Fig. 44. La circulación del aire puede dejar zonas muertas dónde se de ATEX

Se debe complementar la ventilación con extracción.

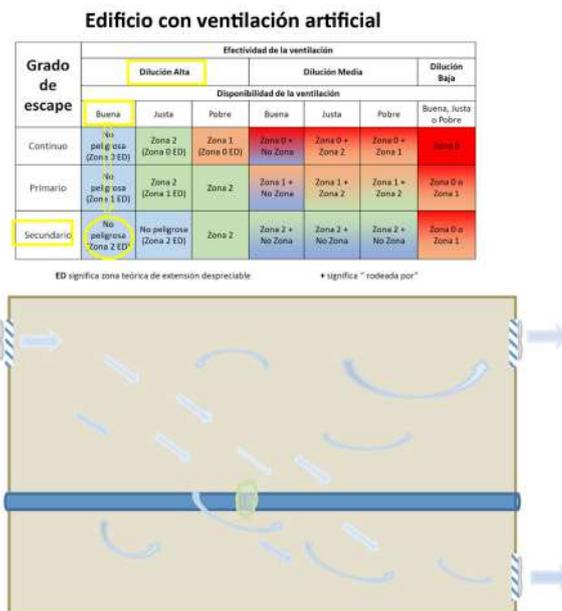


Fig. 45. Una correcta ventilación elimina los riesgos ATEX

Escapes a baja velocidad

Son los típicos de los procesos industriales, con líquidos inflamables tales como respiraderos de depósitos, baños, desagües i purgadores o imprimaciones por pintura o tinta en base a disolventes inflamables, también con los chorros que choquen contra superficies.

Su dispersión y dilución dependen del movimiento del aire, así como de la flotabilidad del gas o vapor. Y en el caso de chorros dependerá del tamaño del edificio. Pero por lo general, salvo envolventes pequeñas, la dilución será eficaz para eliminar el riesgo.

Ventilación y extracción de locales

Es siempre recomendable la ventilación artificial, ya que mejora el grado de dilución de una fuente de escape. Cuando se consigue esto, el grado de dilución alrededor de una fuente de escape es medio.

Esto es aplicable a todos aquellos procesos que emiten vapores, tales como cabinas de pintura, baños bajo campana extractora, puntos de trasiego de líquidos o llenado de envases, entre otros.

Edificio con ventilación artificial

Grado de escape	Efectividad de la ventilación						
	Dilución Alta			Dilución Media			Dilución Baja
	Disponibilidad de la ventilación						
	Buena	Justa	Pobre	Buena	Justa	Pobre	Buena, Justa o Pobre
Continuo	No peligrosa (Zona 0 ED)	Zona 2 (Zona 0 ED)	Zona 1 (Zona 0 ED)	Zona 0+ No Zona	Zona 0+ Zona 2	Zona 0+ Zona 1	Zona 0
Primario	No peligrosa (Zona 1 F)	Zona 2 (Zona 1 ED)	Zona 2	Zona 1+ No Zona	Zona 1+ Zona 2	Zona 1+ Zona 2	Zona 0 o Zona 1
Secundario	No peligrosa (Zona 2 ED)	No peligrosa (Zona 2 ED)	Zona 2	Zona 2+ No Zona	Zona 2+ No Zona	Zona 2+ No Zona	Zona 0 o Zona 1

ED significa zona teórica de extensión despreciable + significa "rodeada por"

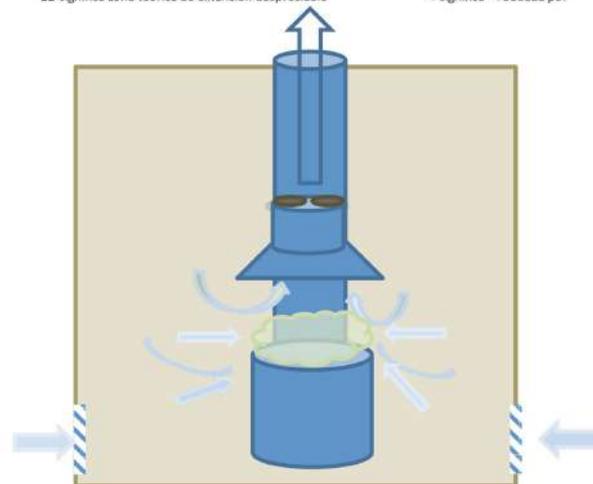


Fig. 46. Las extracciones localizadas son una eficaz manera de eliminar ATEX

Ventilación natural en edificios

Por lo general, si un edificio no se ha construido para inducir la ventilación natural, se debe considerar como dilución baja.

Ventilación inducida por el viento

Para inducir el viento exterior, hay que conocer la rosa de los vientos del lugar. Normalmente, las aberturas inferiores actúan como entrada y las superiores como salida. Así las entradas deben estar a barlovento (contra el viento) y las de salida, a sotavento (a favor del viento).

La fuerza motriz de la ventilación inducida por el viento es la diferencia entre los lados de barlovento y sotavento de un edificio.

El flujo debido al viento se puede expresar como:

$$Q_a = C_d A_e u_w \sqrt{\Delta C_p} \quad (\text{m}^3 / \text{s})$$

Donde:

Q_a es el caudal volumétrico de aire (m^3/s)

C_d es el coeficiente de descarga (adimensional) característico de grandes aberturas para ventilación de entrada o salida, y que tiene en cuenta la turbulencia y la viscosidad, entre 0,5 y 0,75

A_e es el área efectiva equivalente para aberturas contra o favor del viento a la misma altura (m^2)

$$A_e = \sqrt{\frac{A_1^2 A_2^2}{A_1^2 + A_2^2}} \quad (\text{m}^2)$$

A_1 Área efectiva contra el viento, abertura inferior cuando sea de aplicación (m^2)

A_2 Área efectiva a favor del viento, abertura superior cuando sea de aplicación (m^2)

u_w es la velocidad del viento en la superficie del charco de líquido (m/s)

ΔC_p es el coeficiente de presión característico del edificio (adimensional)

Ventilación inducida por la flotabilidad

El efecto de succión es la ventilación inducida por la flotabilidad causada por el gradiente térmico entre el interior y el exterior. Las diferentes temperaturas hacen variar la densidad del aire, y se crea así un gradiente de presión vertical.

Así, el caudal volumétrico puede calcularse:

$$Q_a = C_d A_e \sqrt{\frac{4\Delta T}{(T_{in} + T_{out})} g H} \quad (\text{m}^3 / \text{s})$$

Nota: esta ecuación es válida solo cuando las aberturas están en paredes opuestas y con pocas obstrucciones.

Donde:

Q_a es el caudal volumétrico de aire (m^3/s)

C_d es el coeficiente de descarga (adimensional) característico de grandes aberturas para ventilación de entrada o salida, y que tiene en cuenta la turbulencia y la viscosidad, entre 0,5 y 0,75

A_e área efectiva equivalente para aberturas contra o a favor del viento a la misma altura (m^2)

$$A_e = \sqrt{\frac{A_1^2 A_2^2}{A_1^2 + A_2^2}} \quad (\text{m}^2)$$

A_1 Área efectiva contra el viento, abertura inferior cuando sea de aplicación (m^2)

A_2 Área efectiva a favor del viento, abertura superior cuando sea de aplicación (m^2)

g es la aceleración de la gravedad ($9,81 \text{ m/s}^2$)

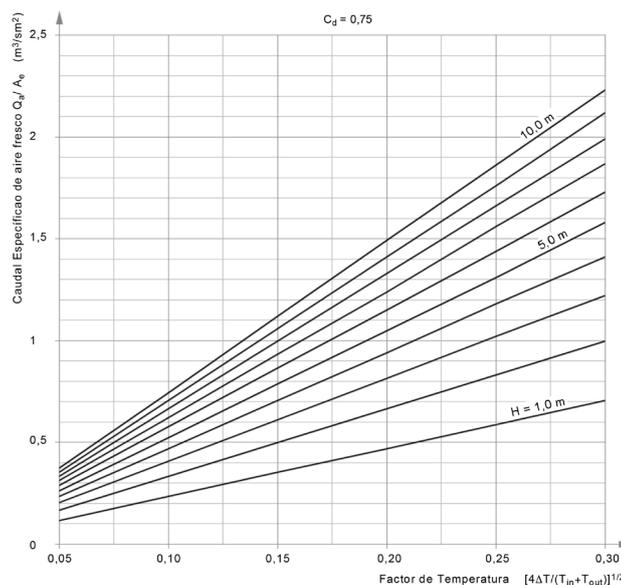
H es la distancia vertical entre los puntos medios de las aberturas inferior y superior (m)

ΔT es la diferencia de temperaturas interior y exterior

T_{in} es la temperatura interior

T_{out} es la temperatura exterior

El caudal volumétrico de aire fresco puede extraerse de la siguiente gráfica:



Combinación de la ventilación natural inducida por el viento y la flotabilidad

La ventilación natural inducida por el viento y la flotabilidad se puede producir por separado. Los flujos se calculan con la siguiente ecuación:

$$Q_a = C_d A \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho_a}} \quad (\text{m}^3 / \text{s})$$

Donde:

Q_a es el caudal volumétrico de aire (m^3/s)

C_d es el coeficiente de descarga (adimensional) característico de grandes aberturas para ventilación de entrada o salida, y que tiene en cuenta la turbulencia y la viscosidad, entre 0,5 y 0,75

A_e área efectiva equivalente para aberturas contra o favor del viento a la misma altura (m^2)

A_1 Área efectiva contra el viento abertura inferior cuando sea de aplicación (m^2)

A_2 Área efectiva a favor del viento abertura superior cuando sea de aplicación (m^2)

g es la aceleración de la gravedad ($9,81 \text{ m/s}^2$)

H es la distancia vertical entre los puntos medios de las aberturas inferior y superior (m)

Δp es la diferencia de presión debida al viento o a las temperaturas interior y exterior

$p_a = 101.325 \text{ Pa}$ ($1 \text{ atm} = 760 \text{ mmHg} = 101.325 \text{ Pa} = 1.013,25 \text{ hPa}$)

ANEXOS:
DENSIDAD RELATIVA AL AIRE DE GASES

Para establecer la densidad de un gas, se utiliza como referencia la densidad del aire, que a temperatura y presión normales (NTP: 0 °C a presión atmosférica 101 325 Pa) tiene esta densidad: 1,2928 kg/m³.

$$\text{DENSIDAD RELATIVA} = \frac{\text{Densidad GAS } 0 \text{ } ^\circ\text{C P atm}}{1,292 \text{ Kg/m}^3} = \text{VALOR ADIMENSIONAL}$$

Densidad relativa del aire respecto al aire = 1,00

La densidad y la temperatura a presión atmosférica constante

La temperatura determina la densidad de un gas, el gas gana densidad al bajar la temperatura y la pierde al aumentar la temperatura. En la tabla siguiente se toma a temperaturas ambientales. Para nuestro caso, solo nos interesa saber si pesa más o menos que el aire para determinar dónde irán a parar los gases y, por tanto, dónde los detectaremos antes y por dónde la ventilación será más eficaz.

Si queremos saber dónde se encontrará un gas, debemos tener en cuenta las densidades relativas que dependen de la temperatura y que el volumen es constante, pero la presión también, ya que si aumentamos la presión debido al incremento de temperatura y el volumen no varía la densidad sería la misma, cosa que no sucede en los procesos que son objeto de la clasificación de zonas. En definitiva, para comparar debemos tener las mismas condiciones de temperatura y presión entre el gas en cuestión y el aire.

Gas o vapor	Densidad relativa al aire	
Hidrógeno H ₂	0,07	MÁS LIGEROS
Helio He	0,14	
Metano CH ₄	0,55	
Amoníaco NH ₃	0,59	
Neón Ne	0,70	
Cianuro de hidrógeno HCN	0,97	
Nitrógeno N ₂	0,97	
Monóxido de carbono CO	0,97	
Aire	1,00	
Etano C ₂ H ₆	1,04	
Oxígeno O ₂	1,10	
Sulfuro de hidrógeno H ₂ S	1,19	
Argón Ar	1,38	
Dióxido de carbono CO ₂	1,53	
Propano C ₃ H ₈	1,56	
Ozono O ₃	1,73	
Butano C ₄ H ₁₀	2,05	
Líquidos inflamables	>>1	

Consejos sobre ventilación:

Sala de calderas a gas:

En el siguiente caso, hay una norma (UNE-EN 60601:2013) que aplica el concepto de ventilación y el de detección y corte de suministro para desclasificar un emplazamiento de sala de calderas a gas.

Ventilación

Entrada inferior de aire para combustión y ventilación de salas

Las aportaciones de aire deben venir del exterior y los orificios son independientes del tipo de ventilación. Su ubicación es la siguiente:

- Los orificios de entrada de aire deben estar dispuestos de forma que su borde superior esté a una distancia no superior a 50 cm del nivel del suelo, y para los gases más densos que el aire como máximo a 15 cm.
- Y a una distancia mínima de 50 cm de cualquier otra abertura distinta a la entrada de aire practicada en la sala.

Entrada de aire por orificios practicados en paredes exteriores

Como norma general, los orificios deben ser de 5 cm² por kw de potencia de los quemadores.

$$S = 20 \times A$$

Donde: **A** es la superficie de la sala en m² y **S** la sección libre en cm²

Entrada de aire por conducto

Debe ser 1,5 veces el anterior, es decir **S = 30 x A**

Entrada de aire por medios mecánicos

Si se utilizan medios mecánicos para suministrar el aire de combustión y ventilación, el caudal necesario debe ser superior al obtenido mediante la siguiente fórmula:

$$q = 10 \times A + 2 \times \sum Q_n$$

Donde:

q: es el caudal de aire [m³/h]

A: es la superficie en planta de la sala de calderas [m²]

∑Q_n: es la suma de los consumos caloríficos nominales [kW] de los generadores y/o equipos de cogeneración instalados en la sala

En el supuesto que sea necesario aumentar el caudal (ver tabla siguiente), el valor será el doble:

$$q = 20 \times A + 2 \times \sum Q_n$$

Ventilación superior de los locales

Los orificios de evacuación del aire interior de la sala se situarán en la parte superior de la pared directamente o mediante conducto al exterior, de modo que la distancia de su borde inferior al techo no supere los 30 cm y en el lado opuesto a la ventilación inferior.

La sección del conducto de evacuación del aire interior de la sala con sección mínima es de $10 \times A$ en cm^2 y nunca inferior a 250 cm^2 .

Funcionamiento del sistema de ventilación

Debe arrancar al encender el quemador y disponer un control de flujo combinado con la electroválvula de alimentación de gas al quemador. Debe parar los quemadores cuando este no funcione adecuadamente.

Ventilación por orificio

Deben disponer de dos partes distintas con una sección total de

$$S = 10 \times A$$

Donde: **A** es la superficie de la sala en m^2 y **S** es la sección libre en cm^2
S con un mínimo de 250 cm^2

Ventilación por conducto

Este conducto debe ser de material incombustible y desembocar en el exterior. Debe ser como mínimo la mitad de la sección de los conductos de gases combustionados y nunca inferior a 250 cm².

$$q = 10 \times A$$

Donde: **A** es la superficie de la sala [m²] y **q**: caudal de aire [m³/h]

	Suministro de aire medios naturales			Suministro de aire medios mecánicos	
	Abertura inferior	Practicada mediante orificio	Aire suministrado para ventilación y combustión: $S = 5 \times \sum Q_n$	Aire suministrado para ventilación: $S = 20 \times \sum Q_n$	Aire suministrado para ventilación y combustión (caudal normal): $q = 10 \times A + 2 \times \sum Q_n$
Practicada mediante conducto		Aire suministrado para ventilación y combustión: $S = 7,5 \times \sum Q_n$	Aire suministrado para ventilación: $S = 30 \times \sum Q_n$		
Abertura superior	Practicada mediante orificio		Practicada mediante conducto		
	$S = 10 \times A$ mín. 250 cm ²		$S = H/2$ mín. 250 cm ²		

S es la sección de aire libre mínima total requerida para los orificios de ventilación. Cuando sean circulares [cm²]

q es el caudal de aire [m³/h]

A es la superficie en planta de la sala [m²]

$\sum Q_n$ es la suma de consumos caloríficos nominales [Kw] de los quemadores

H es la suma de las secciones de los conductos de evacuación de gases de combustión

Sistema de detección y corte

Los sistemas de detección y corte de fugas deben cumplir unos requisitos mínimos de acuerdo con las normas de aplicación:

UNE-EN 50194-1, UNE-EN 50244, UNE-EN 60079-29-1 y UNE-EN 60079-29-2.

Sistema de detección

Los detectores deben activarse antes de alcanzar el 30 % del LII del gas en cuestión.

El número de detectores será de un mínimo de dos y de uno por cada 25 m² de planta de la sala.

Instalación de los detectores

Deberán instalarse en función de la densidad relativa del gas:

- Más pesados que el aire, a 20 cm del suelo, con protección de golpes.
- Más ligeros que el aire, a 30 cm del techo o en el propio techo, sin obstáculos y nunca cerca del flujo de aire; tener en cuenta la instalación para los mantenimientos de calibración periódicos.

El sistema de detección debe activar el corte.

Sistema de corte

Consiste en una válvula automática de corte tipo todo o nada, en la línea de alimentación a caldera y fuera de la sala donde se encuentre el detector.

En caso de actuación la reapertura, debe ser manual.

FACTORES QUE CONDICIONAN LA POSIBILIDAD DE UBICACIÓN DE UNA SALA DE MÁQUINAS Y LOS SISTEMAS DE VENTILACIÓN Y SEGURIDAD A EMPLEAR				Emplazamiento permitido	Sistema de ventilación y seguridad
Tipo de edificio	Tipo de gas	Emplazamiento	Superficie baja resistencia		
Nueva construcción	Menos denso que el aire	Sobre primer sótano	SÍ	SÍ	(A o B) +D
			NO	NO	*
		En primer sótano	SÍ	NO	
			NO	NO	
		Bajo primer sótano	SÍ	NO	
			NO	NO	
	Más denso que el aire	Sobre primer sótano	SÍ	SÍ	
			NO	NO	*
		En primer sótano	SÍ	NO	
			NO	NO	
		Bajo primer sótano	SÍ	NO	
			NO	NO	
Edificio existente	Menos denso que el aire	Sobre primer sótano	SÍ	SÍ	
			NO	SÍ	C + D
		En primer sótano	SÍ	SÍ	B + D
			NO	SÍ	C + D
		Bajo primer sótano	SÍ	NO	*
			NO	NO	
	Más denso que el aire	Sobre primer sótano	SÍ	SÍ	(A o B) +D + E**
			NO	SÍ	C + D + E
		En primer sótano	SÍ	SÍ	B + D + E
			NO	SÍ	C + D + E
		Bajo primer sótano	SÍ	NO	*
				NO	

SISTEMAS
A ventilación natural
B ventilación forzada (impulsión), caudal normal
C ventilación forzada (impulsión), caudal aumentado
D sistema de detección y sistema de corte (asociado al sistema de impulsión y la detección)
E extracción
 * En las condiciones indicadas el emplazamiento no está permitido, con independencia del sistema de ventilación y seguridad a emplear.
 ** El sistema de extracción solo es exigible cuando no existe orificio o conducto inferior para la evacuación de eventuales fugas de gas al exterior de sección mínima.

Hay que diferenciar la ventilación para combustión, de la ventilación para considerar la sala como recinto no clasificado, ya que esta segunda ventilación es 4 veces mayor, sea por aberturas en la ventilación natural o por caudal en la ventilación mecánica.

Inertización

Inertización es reemplazar el aire por un gas inerte, que es un gas que no reacciona con el oxígeno. Los más típicos son el nitrógeno, el CO₂, el vapor de agua, los gases de combustión y los gases nobles, por ejemplo el argón.

Por ejemplo, el metano es un gas con los siguientes parámetros de inflamabilidad:

LII 4,14 % en volumen con aire
LSI 17 % en volumen con aire

Cuando añadimos un gas inerte como el CO₂ el LII sigue siendo 4,14 % vol. pero el LSI va disminuyendo en función de la concentración de CO₂

- 1 CH₄ el LSI 14,5 % con un 10 % de CO₂ y 74,5 % de aire.
- 2 CH₄ el LSI 4,14 % con un 30 % de CO₂ y 65,86 % de aire.

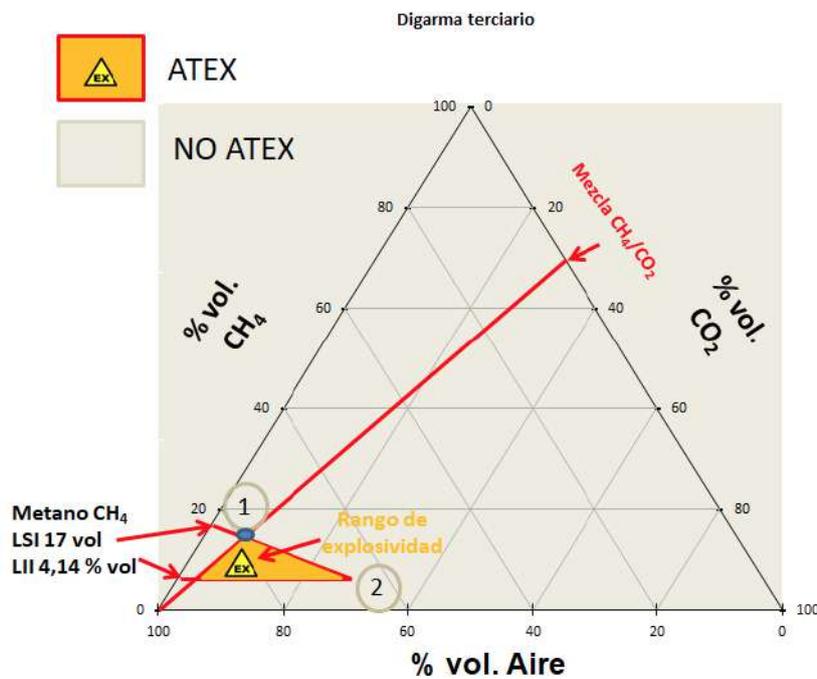


Fig. 47. Al adicionar un tercer gas (el inerte) los LII i LSI varían

Solo habrá ATEX dentro del triángulo calabaza. Si nos mantenemos fuera y podemos garantizar el no entrar dentro el proceso quedará desclasificado por inertización.

Esta inertización debe ser monitorizada y asegurada. Solo así podremos desclasificar el emplazamiento.

Es importante tener en cuenta los riesgos de hipoxia de los trabajadores. Por ello, es necesario disponer de medidores de O₂ fijos y portátiles para el personal.

Consejos sobre la detección de gases

Es fundamental conocer las características físicoquímicas del gas o vapor a detectar. Los gases tienen densidades relativas al aire que nos van a condicionar la ubicación de los detectores, que no cabe ni decir que deben ser calibrados para el compuesto en cuestión a detectar y deben soportar el contacto con dicha sustancia.

La densidad es un parámetro crítico, y es importante saber las concentraciones esperadas porque las mezclas de gases varían su densidad en función de los porcentajes de cada uno de los componentes, hasta incluso llegar a alcanzar flotabilidad neutra, es decir, densidad equivalente al aire. Por ejemplo, una mezcla del 53 % de metano y 47 % de CO₂ (típica del biogás) tiene densidad similar al aire.

Pero en principio los gases más ligeros tenderán a subir y los más pesados a bajar. Los gases con densidades relativas de 0,8 a 1,2, tienen una densidad parecida y, por tanto, circularán en todas direcciones.

Hay que saber que todos los vapores inflamables son tóxicos a niveles bastante inferiores al 25 % de LII y la mayoría son tóxicos por debajo del 1% del LII. Los gases son en el mejor de los casos asfixiantes, por lo que el control sobre la salud de las personas hace que difícilmente se alcancen concentraciones y explosividad en el ambiente de trabajo. Y, por tanto, los controles sobre la vigilancia de la salud justifican en muchos casos la desclasificación de emplazamientos.

La detección de vapores es más complicada que los gases debido a que la evaporación depende de la temperatura del líquido y si este está por encima o no de su temperatura de destello o *flash point*. Además, cuando alcanzan el punto de saturación o de rocío, empiezan a condensar, por lo que fácilmente pueden darse lecturas erróneas. La detección de vapores es una técnica poco usada para ambientes.

Los detectores de gases deben cumplir con los requisitos de la norma UNE-EN 60079-29-1 y 60079-29-2, y es muy importante la declaración del funcionamiento verificado.

El calibrado es fundamental, y debe hacerse en base al LII de la sustancia patrón, y conocer la equivalencia con el gas a determinar. Y nunca debe utilizarse la detección de oxígeno como medida de detección del gas inflamable.

Para desclasificar un emplazamiento por detección, se debe actuar de acuerdo con la detección de gases:

La concentración debe estar por debajo del 25 % del LII:

Si el nivel de alarma principal es del 20 % del LII o superior, debe iniciarse una alarma audible y visual.

Se debe actuar sobre la eliminación de posibles fuentes de ignición, parando equipos eléctricos. Se activan sistemas de ventilación forzada para reducir las concentraciones e incluso corte de suministro como en el ejemplo citado en las calderas a gas.

Si existen medidas de sectorización, estas deben cerrarse aislando los habitáculos.

Para niveles de detección inferiores, deben establecerse avisos de mantenimiento, de aumento de ventilación.

En su implementación, se deben seguir el manual de instrucciones, y además es fundamental la correcta ubicación, la calibración inicial y tener en cuenta el fácil acceso para las calibraciones periódicas que deben realizarse en el tiempo.

Hay que tener en cuenta el nivel de ventilación para las tasas de escape máximas, así:

Detección de gas en zonas con ventilación alta

La ventilación alta nos permite asegurar que no se superara el 25 % del LII; el medio de detección nos debe permitir desconectar los equipos en caso de que falle la ventilación y se supere el 25 %.

Detección de gas en zonas con ventilación media

Estas zonas con ventilación media son las esquinas o detrás de los equipos. Su enfoque es el de aumentar la tasa de ventilación si se supera el 20 % del LII. Si el aumento de la ventilación no reduce las concentraciones, se deberán desconectar los equipos. Por tanto, se trata de un nivel de pre-alarma con niveles de detección desde el 5 al 20 % del LII.

Detección de gas en zonas con ventilación baja

En este caso, los detectores tan solo permiten reducir la categoría de los equipos en un nivel, por ejemplo de una zona 1 a zona 2, y por tanto de equipos de categoría 2G a categoría 3G. Teniendo los dos niveles de actuación a aumento de la ventilación y desconexión de equipos.

Así pues, la detección debe tener en cuenta:

- Las condiciones medioambientales que puedan afectar al detector:

Parámetros	Basado en IEC 60079-29-1
Almacenamiento sin tensión	Secuencialmente 24 h a cada temperatura -25 °C a +20 °C (ambiente) 20 °C (ambiente) a 60 °C
Temperatura	Portátiles / transportables -10 °C a +40 °C Sensores remotos -25 °C a +55 °C Unidades aisladas de control +5 °C a +55 °C Fijos con sensor integrado -10 °C a +55 °C
Presión	De 80 kPa a 120 kPa (0,8 a 1,2 barg)
Humedad relativa	De 20 a 90%
Velocidad del aire	Hasta 6 m/s
Vibraciones	Todas la unidades con sensor o con sensor remoto: 10Hz a 30 Hz, 1,0 mm amplitud total 31 Hz a 150Hz, pico de aceleración de 2g
Ensayo de caída	Portátiles caída desde 1 m Transportables de < 5 kg caída de 3 m Transportables de > 5 kg caída de 0,1 m

- Correcta instalación, ubicación con accesibilidad, pensando en el mantenimiento posterior.
- Puesta en marcha, es fundamental el documentar los pasos de la puesta en servicio:
- Calibración inicial.
- El mantenimiento posterior debe registrarse mediante fichas por detector.
- Ajuste de los puntos de alarma y actuaciones en caso de los distintos niveles de detección en función de la instalación, ajustándolo al mínimo posible evitando las falsas alarmas:
 - alarma visual y acústica
 - activar ventilación
 - corte de suministro
 - sectorización de conductos de ventilación.

Solo así se puede determinar que la detección de gases puede utilizarse como un sistema de reducción de zonas o incluso de desclasificación.

En la EN 202007 IN: “normalmente es aconsejable un primer umbral de intervención al 15 % del LII y un segundo nivel al 30 % del LII”.

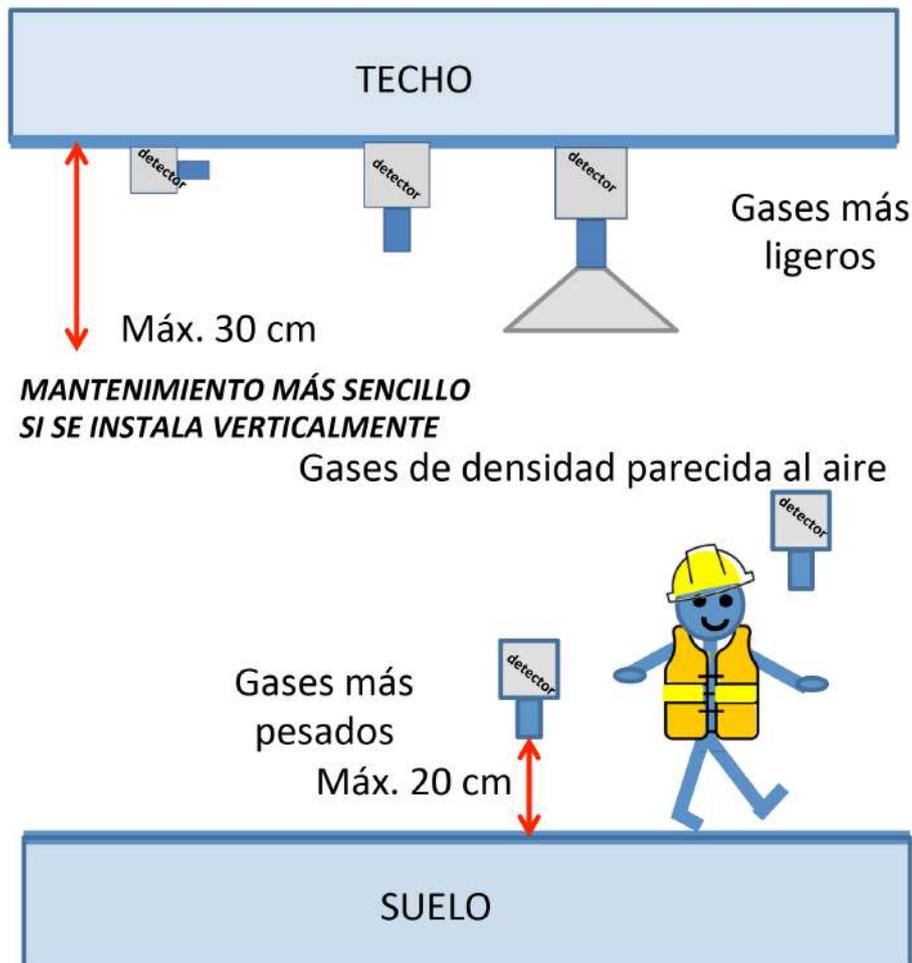


Fig. 48. La detección debe instalarse bien y calibrarse periódicamente

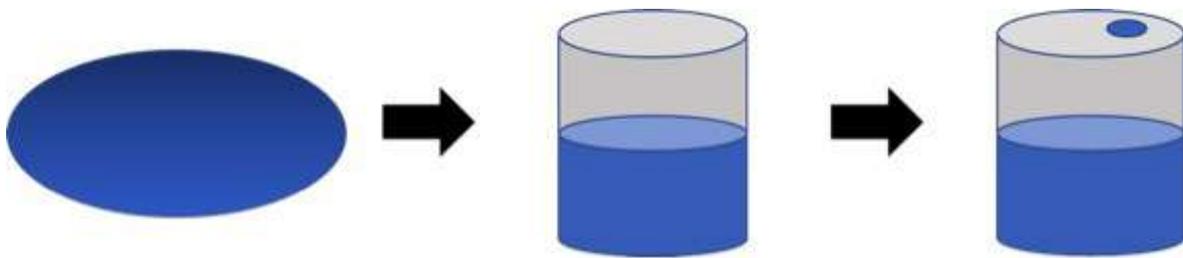
4.1.1. Ejemplos de gases y vapores

Comparativa entre charcos de diversos tamaños y sustancias

La atmósfera explosiva que se puede originar alrededor de un charco de líquido inflamable va a depender del volumen derramado: a mayor derrame mayor atmósfera explosiva generada.

También va a depender del tipo de terreno en el que se haya derramado. Si el tipo de terreno no es capaz de absorber ninguna cantidad de líquido, la atmósfera explosiva generada será mayor y durará más tiempo que si el tipo de terreno es capaz de absorberla y retenerla para una futura extracción.

El primer paso para calcular el escape de vapores que se pueden desprender de un charco es determinar el líquido que lo forma y el tamaño de este. Estos factores son los principales que determinarán la tasa de escape y, por lo tanto, la peligrosidad por atmósfera explosiva que se puede llegar a originar a su alrededor.



100L de sustancia

A continuación, se representa una tabla donde se pueden ver las diferentes tasas de evaporación relacionadas con el tipo de líquido inflamable, la forma que tiene el charco y si este se encuentra en el exterior o el interior, modificando de esta manera la velocidad del viento que está en contacto con la superficie del líquido.

La fórmula que ha sido utilizada para calcular la tasa de evaporación que puede darse en un charco es

$$W_e = \frac{18,3 \times 10^{-3} u_w^{0,78} A_p p_v M^{0,667}}{R \times T} \text{ (kg/s)}$$

Donde

u_w es la velocidad del viento en la superficie del charco de líquido (m/s)

A_p es la superficie del charco (m²)

p_v es la presión interior del recipiente

M es la masa molar del gas (kg/kmol)

R es la constante universal de los gases (8 314 J/Kmol K)

T es la temperatura absoluta del gas (K)

γ es el índice politrópico de expansión adiabática o ratio de calores específicos (adimensional)

Con esta fórmula, se nos permite calcular la tasa de evaporación en kg/s de sustancia que pasa de forma líquida a gaseosa. De esta manera, un líquido que está en el suelo podría llegar a formar una atmósfera explosiva a su alrededor si se dan las coincidencias adecuadas.

La ecuación que nos da la velocidad de evaporación en m³/s es

$$Q_g \approx \frac{18,15 \times 10^{-8} u_w^{0,78} A_p p_v}{M^{0,333}} \times \frac{T_a}{T} \text{ (m}^3\text{/s)}$$

Donde:

- Q_g** es el caudal volumétrico de gas inflamable de la fuente del escape (kg/m³)
- p_a** es la presión atmosférica absoluta (101.325 Pa)
- u_w** es la velocidad del viento en la superficie del charco de líquido (m/s)
- A_p** es la superficie del charco (m²)
- p_v** es la presión interior del recipiente
- M** es la masa molar del gas (kg/kmol)
- T** es la temperatura absoluto del líquido (K)
- T_a** es la temperatura ambiente absoluta (K)

Para distintos líquidos (etanol, acetaldehído y gasolina) en las tres formas comentadas de charco, bidón sin tapa y bidón con orificio:

Sustancia	Presión vapor (kPa)	Tasa de evaporación [kg/s]					
		Charco		Bidón 220L		Boquilla	
		Interior	Exterior	Interior	Exterior	Interior	Exterior
Etanol	5,95	4,8·10 ⁻⁵	8,3·10 ⁻⁵	1,2·10 ⁻⁵	2,1·10 ⁻⁵	1,2·10 ⁻⁶	2,1·10 ⁻⁶
Acetaldehído	98	0,0037	0,006	0,0009	0,0016	9·10 ⁻⁵	0,00016
Gasolina	709	0,047	0,081	0,01	0,020	0,0010	0,0020

En esta tabla se puede observar que la tasa de evaporación de un líquido aumenta con la presión vapor.

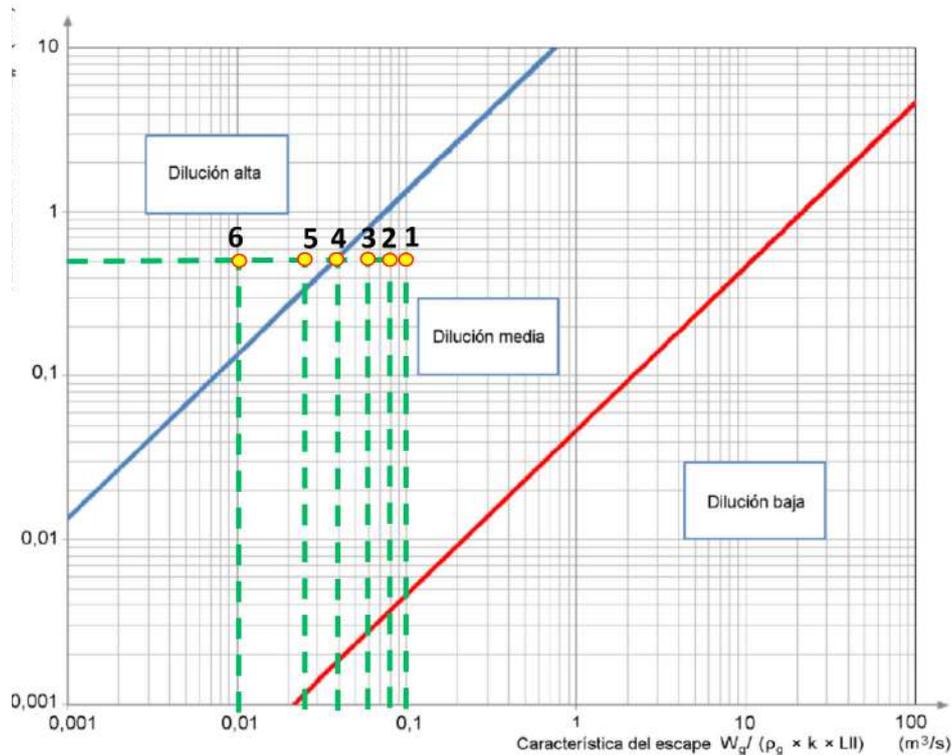
- El líquido que se encuentra en el charco evapora más fácilmente y, por tanto, genera más atmósfera explosiva sobre el mismo.
- En un bidón sin tapa es de esperar que haya un escape, pero debido a que la densidad del vapor de los líquidos siempre son mayores que el aire estos quedan atrapados en su interior en una inmensa mayoría; por lo tanto, solo clasificando el interior del bidón.
- En el caso de que se abriera una boquilla por la cual pudiera llegar a haber una tasa de escape, es de esperar que la cantidad de vapores que pudiera llegar a salir por la boquilla fuera ínfima y, por consiguiente, no se debería clasificar alrededor de la boquilla, porque no salen vapores y los pocos que salen se diluyen rápidamente.

Vamos a ver cómo afecta la dilución a la superficie del charco.

$$\frac{W_g}{\rho_g k LII}$$

Evaluación del grado de dilución:

Puede ser **alto**, **medio** o **bajo** y depende de la velocidad de la ventilación y de las características del escape.



Donde: Características del escape en (m³/s):

$$\frac{W_g}{\rho_g k LII} \quad \rho_g = \frac{p_a M}{R T_a}$$

Densidad el gas/vapor (Kg/m³)

k Factor de seguridad atribuido al **LII** (0,5 y 1,0)

Notas:

La línea azul representa un volumen de 0,1 m³; así, cualquier valor a la izquierda de la misma es de menor volumen. En el exterior, debe ser **dilución media** cuando haya obstrucciones significativas, pero sin obstrucciones debe considerarse **dilución alta**. Solo en Pozos y fosas deben considerarse como interior; entonces, si la concentración de fondo es superior al 15% del LII, será **dilución baja**.

Con la fórmula anterior, se puede llegar a calcular la característica de escape de cada uno de los distintos tipos de charcos de evaporación a los que hemos hecho referencia, obteniendo la siguiente tabla si está en interior (menor dilución) o exterior (mayor dilución)

Sustancia	Tasa de evaporación [kg/s]					
	Charco		Bidón 220L		Boquilla	
	Interior	Exterior	Interior	Exterior	Interior	Exterior
Etanol	0,0008	0,0014	0,00021	0,00037	0,000021	0,000037
Acetaldehído	0,06	0,1	0,016	0,029	0,0016	0,0029
Gasolina	0,95	1,65	0,2	0,4	0,02	0,04

Se puede observar en la tabla que la característica tasa de escape aumenta con la presión vapor, y en el caso de la gasolina llega a sobrepasar la media que hemos obtenido anteriormente. Se ve claramente que la gasolina es el líquido que mayor evaporación da y, por tanto, mayor peligro de formación de una atmósfera explosiva.

No obstante, la propia norma de clasificación dice lo siguiente cuando se refiere a vapores:

“Los cambios ambientales en la temperatura del líquido debido a una mayor evaporación a partir de las condiciones ambientales normales se consideran demasiado marginales como para afectar a la clasificación de emplazamientos peligrosos.”

Referencia UNE-EN- 60079-10-1:2015

Clasificación para distintas presiones en conducciones de gas

Exterior:

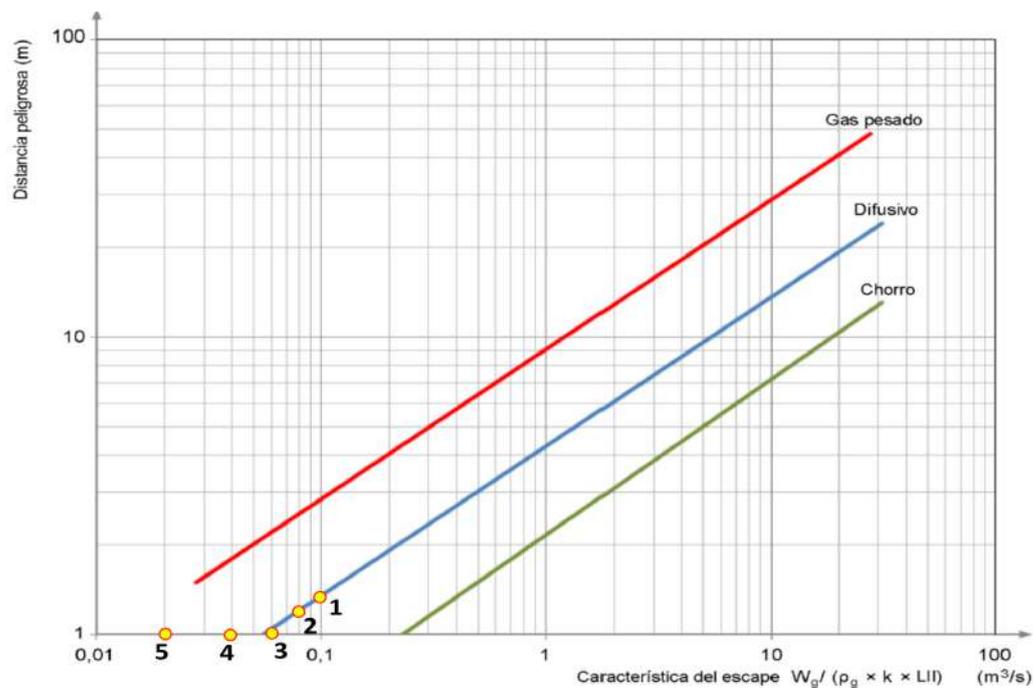
Se estiman 6 tipos de presión en conducciones de gas natural: 35 bar, 15 bar, 5 bar, 1,5 bar, 0,5 bar y 0,1 bar; estas líneas están en el exterior y sin obstáculos.

Lo primero es calcular las características del escape; para ello, se aplica la ecuación

$$W_g = C_d S p \sqrt{\gamma \frac{M}{Z R T} \left(\frac{2}{\gamma + 1} \right)^{(\gamma + 1)/(\gamma - 1)}} \quad (\text{kg/s})$$

Datos		1	2	3	4	5	6
Presión línea gas		35 bar	15 bar	5 bar	1,5 bar	0,5 bar	0,1 bar
Coeficiente de descarga	C_d	0,8					
Presión absoluta pascales	p	35.101.325	15.101.325	5.101.325	1.601.325	601.325	201.325
Sección de la abertura m^2	S	0,0000025					
Presión atmosférica pascales	P_a	101.325					
Peso molecular	M	16					
Factor de compresibilidad	Z	0,5					
Temperatura absoluta °K	T	298					
Índice politrópico de expansión adiabática	γ	1,11					

N.º	Presión (bar)	Característica de escape (m^3/s)	Distancia peligrosa (m)
1	35	0,098	1,2
2	15	0,078	1,1
3	5	0,061	1
4	1,5	0,039	<1
5	0,5	0,026	<1
6	0,1	0,009	<1

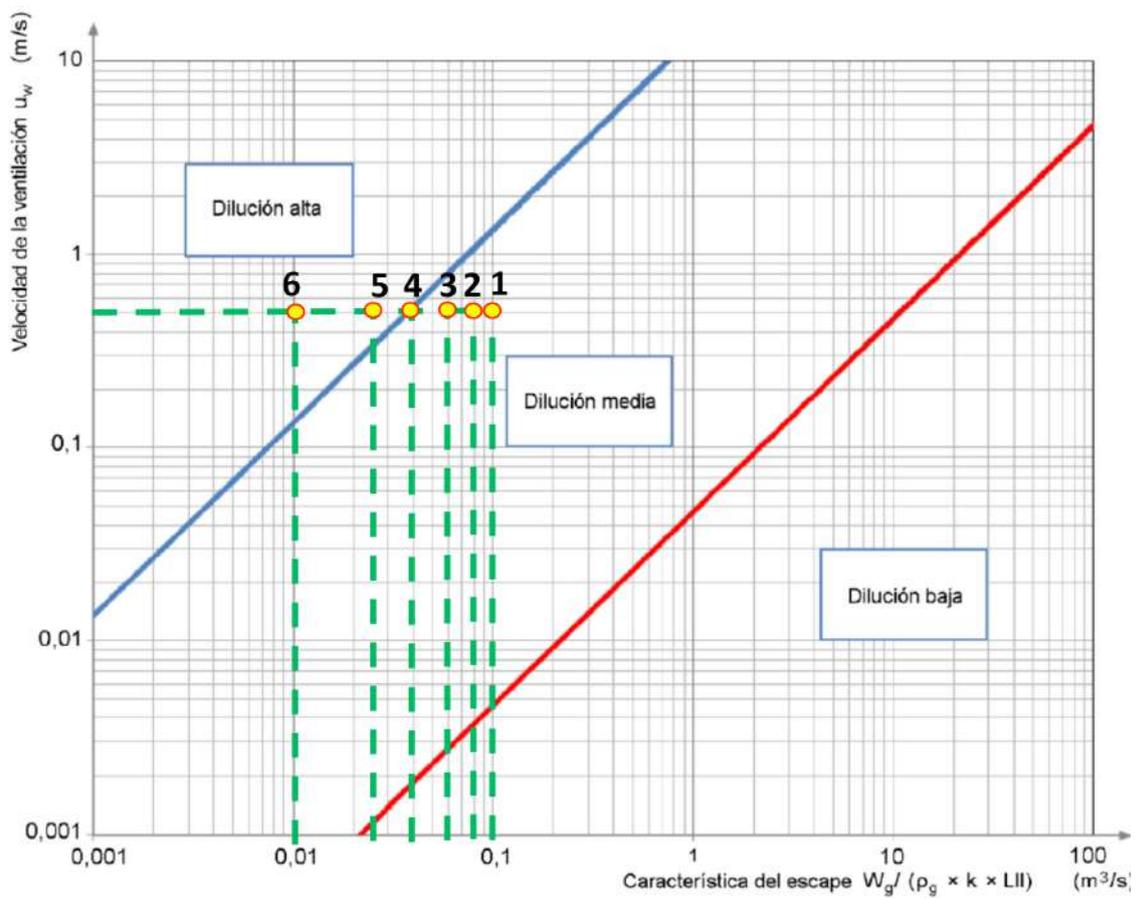


Nota: el punto 6 está fuera de la gráfica

Una vez calculada la velocidad de escape, miramos la dilución.

Al considerar que las líneas están en el exterior y sin obstáculos por lo que se estima una velocidad del aire de 0,5 m/s y consideramos un chorro

N.º	Presión (bar)	Característica de escape (m³/s)	Dilución esperada
1	35	0,098	Media
2	15	0,078	
3	5	0,061	
4	1,5	0,039	Alta
5	0,5	0,026	
6	0,1	0,009	



Así, para una **dilución media**, y en exterior sin obstáculos —por tanto, **buena disponibilidad de la ventilación** casos 1, 2, y 3 líneas de 35, 15 y 5 bar—, el resultado de la zona es:

Grado de escape	Efectividad de la ventilación						
	Dilución alta			Dilución media			Dilución baja
	Disponibilidad de la ventilación						
	Buena	Justa	Pobre	Buena	Justa	Pobre	Buena, justa o pobre
Continuo	No peligrosa (Zona 0 ED)	Zona 2 (Zona 0 ED)	Zona 1 (Zona 0 ED)	Zona 0 + No Zona	Zona 0 + Zona 2	Zona 0 + Zona 1	Zona 0
Primario	No peligrosa (Zona 1 ED)	Zona 2 (Zona 1 ED)	Zona 2	Zona 1 + No Zona	Zona 1 + Zona 2	Zona 1 + Zona 2	Zona 0 o Zona 1
Secundario	No peligrosa (Zona 2 ED)	No peligrosa (Zona 2 ED)	Zona 2	Zona 2 + No Zona	Zona 2 + No Zona	Zona 2 + No Zona	Zona 0 o Zona 1

ED significa zona teórica de extensión despreciable + significa "rodeada por"

Fig. A2

Zona 2:

- de 1,2 m de radio para caso 1 la línea de 35 bar
- de 1,1 m de radio para caso 2 la línea de 15 bar
- de 1 m de radio para caso 3 la línea de 5 bar

Así, para una **dilución alta**, y en exterior sin obstáculos —por tanto, **buena disponibilidad de la ventilación** caso 4, 5, y 6 líneas de 35, 15 y 5 bar—, el resultado de la zona es:

Grado de escape	Efectividad de la ventilación						
	Dilución Alta			Dilución Media			Dilución Baja
	Disponibilidad de la ventilación						
	Buena	Justa	Pobre	Buena	Justa	Pobre	Buena, Justa o Pobre
Continuo	No peligrosa (Zona 0 ED)	Zona 2 (Zona 0 ED)	Zona 1 (Zona 0 ED)	Zona 0 + No Zona	Zona 0 + Zona 2	Zona 0 + Zona 1	Zona 0
Primario	No peligrosa (Zona 1 ED)	Zona 2 (Zona 1 ED)	Zona 2	Zona 1 + No Zona	Zona 1 + Zona 2	Zona 1 + Zona 2	Zona 0 o Zona 1
Secundario	No peligrosa (Zona 2 ED)	No peligrosa (Zona 2 ED)	Zona 2	Zona 2 + No Zona	Zona 2 + No Zona	Zona 2 + No Zona	Zona 0 o Zona 1

ED significa zona teórica de extensión despreciable + significa "rodeada por"

Fig. A3

Son zonas no peligrosas rodeadas de una zona 2 de extensión despreciable

SI EN LUGAR DEL EXTERIOR ESTUVIERAN EN EL INTERIOR DE UN EDIFICIO, la disponibilidad de la ventilación sería justa y el resultado no variaría.

SI EL LUGAR FUERA NO VENTILADO, la disponibilidad de la ventilación sería baja y el resultado si da lugar a ZONA 0 rodea de ZONA 1.

4.2 Clasificación de zonas con atmósferas explosivas de polvo

Lo primero es definir polvo combustible, que son partículas sólidas finamente divididas con un tamaño medio inferior a 500 micras, que pueden formar una mezcla explosiva con el aire en condiciones normales de presión y temperatura.

Las atmósferas explosivas de polvo se forman cuando aparecen nubes de polvo, que son una mezcla explosiva de polvo de sólido combustible y aire.

Las características de explosividad de los sólidos son fundamentales para la determinación de la extensión y peligrosidad de las zonas, así hay que conocer dichas características, que son:

- Temperaturas mínimas de inflamación en capa (**TMic**) y en nube (**TMin**) en °C.
- Límite inferior de explosividad (**LIE**) que se expresa en g/m³.
- Energía mínima de inflamación (**EMI**) expresada en milijoules.
- Como la **conductividad** que se expresa en $\Omega \cdot m$
 - **Conductivo** con una resistividad inferior a $10^3 \Omega \cdot m$, siendo estos los del grupo **IIIC**
 - **No conductor** con una resistividad superior a $10^3 \Omega \cdot m$, siendo estos los del grupo **IIIB**
 - **Fibras y pelusas** que son partículas alargadas de hasta 3000 micras de largo por 500 micras de grueso, siendo este grupo el **IIIA**

A remarcar que el comportamiento fisicoquímico de los sólidos combustibles es distinto al de los gases, que tienen densidades parecidas al aire, algunos incluso son más ligeros; por el contrario, todos los polvos pesan más que el aire y tenderán a caer y depositarse, formando capa de polvo en superficies planas o con escasa inclinación, mayoritariamente en el suelo, pero también en superficies a altura.

Los riesgos de los polvos combustibles son la formación de nubes y también de capas, ya que éstas son potencialmente formadoras de nubes de polvo. La formación de nubes requiere de un aporte energético que mantenga en suspensión el polvo en forma de nube. Al contrario que con gases y vapores —que se diluyen con ventilación y, por tanto, eliminan su riesgo de manera sencilla—, las capas de polvo son un riesgo potencial de generar nubes si son sopladas.

Las atmósferas explosivas de polvo tienen un riesgo de explosión y no de incendio (siempre y cuando se deje de suministrar energía que mantenga las nubes de polvo). También entrañan un riesgo de propagación, ya que las ondas expansivas de las deflagraciones pueden levantar capas de polvo combustible y favorecer la propagación de una deflagración inicial pudiendo llegar a ser devastadoras.

Así, simplemente abriendo una saco de polvo combustible no aparece ATEX, ya que esta solo aparecerá cuando lo empecemos a vaciar e incluso ni así, dependiendo de cómo lo vaciemos, ya que podemos minimizar su efecto si por ejemplo se aspira el polvo generado.

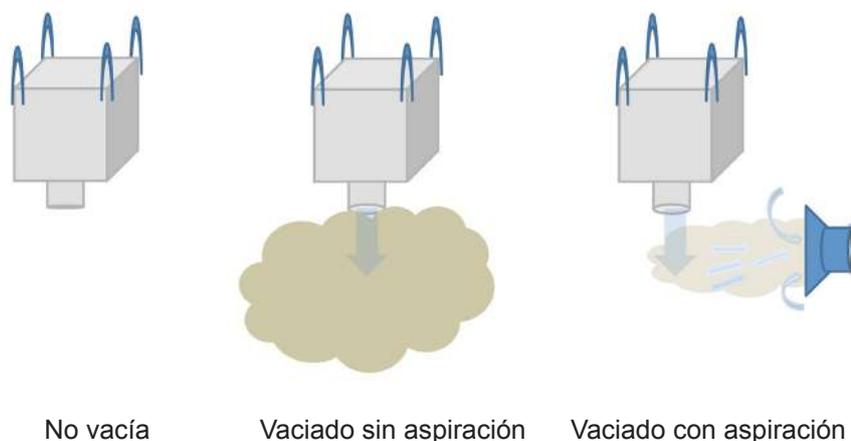


Fig. 49

Como en las zonas de gases, vapores y nieblas, las zonas de polvo van a depender de su probabilidad de formación, de la forma y duración de la fuente de escape y de los medios implementados para su eliminación.

Los criterios por este orden son:

1. Identificar las diferentes fuentes de escape.
2. Actuaciones para reducir las concentraciones de polvo: aspiración localizada, limpieza y mantenimiento. Para que solo lleguemos a tener zonas ATEX en el interior del proceso y no en la instalación en la que trabaja el personal, e incluso llegar a desclasificar emplazamientos.
3. En el caso de que al final sí que existan zonas con peligro ATEX, se determinará la extensión de las mismas y se realizara una clasificación de estas.

Determinado la extensión de las zonas

Deben seguirse el procedimiento de:

- Determinar si el polvo es o no combustible, mediante ensayo o bibliográficamente, con rigor, determinando la particularidad de cada instalación.
- Tener en cuenta la naturaleza de los escapes de polvo, lo que podría requerir el asesoramiento de especialistas.
- Los procedimientos de explotación y mantenimiento de la instalación, incluyendo la limpieza.
- Otras informaciones en materia de seguridad y de los equipos.

Deben seguirse tres etapas:

1. Identificación de las características de la sustancia: LIE, TMI, EMI y resistividad.
2. Identificar los lugares en los que puede generarse mezcla o donde pueden generarse fuentes de escape.
3. Evaluar la probabilidad de que el polvo escape.

Fuentes de escape

Grado continuo: de manera continuada o por cortos periodos que ocurren frecuentemente.

Grado Primario: periódicamente u ocasionalmente durante funcionamiento normal.

Grado secundario: no se espera en funcionamiento normal y, si lo hace, es de forma poco frecuente.

No se tendrán en cuenta las malas praxis y/o roturas accidentales.

En la evaluación de las fuentes de escape, no se requiere tener en cuenta los defectos catastróficos. Por ejemplo, algunos de los elementos que no deberían considerarse como fuentes de escape tanto durante el funcionamiento normal como en el anormal incluyen:

- Los recipientes a presión, la estructura principal de la envolvente incluyendo sus toberas cerradas y sus bocas de hombre;
- Tuberías, conductos y canales sin uniones;
- Los sellos de las válvulas y las bridas de unión, siempre que en un diseño y construcción se haya realizado adecuadamente para prevenir el escape de polvo.

Referencia UNE-EN- 60079-10-2:2016

Cada sustancia tiene unas características de explosividad y se deben conocer para saber con qué frecuencia nos encontramos dentro del intervalo de explosividad y, con ello, determinar las zonas. Las sustancias que tienen límites de explosividad bajos reclamarán una mayor atención en cuanto a limpieza, mantenimiento, etc.

Presencia de polvo	Clasificación resultante en zonas de los emplazamientos de nubes de polvo
Escape de grado continuo	20
Escape de grado primario	21
Escape de grado secundario	22

Referencia UNE-EN- 60079-10-2:2016

¿Qué es una zona ATEX de polvo?

La extensión de una zona por atmósfera explosiva de polvo se define como la distancia, en cualquier dirección desde el borde de una fuente de escape de polvo hasta el punto en donde el riesgo asociado a esta zona se considera como inexistente.

Las atmósferas explosivas de polvo debidas a nubes de polvo normalmente se considerarían inexistentes si la concentración de polvo es, con margen de seguridad apropiado, inferior a la mínima concentración de polvo necesaria para que exista una atmósfera explosiva de polvo. Se tendría que tener en consideración el hecho de que el polvo fino puede moverse desde una fuente de escape por el movimiento del aire dentro del edificio.

Referencia UNE-EN- 60079-10-2:2016

Hay que tener en cuenta que las actuaciones sobre el proceso deben ir destinadas a reducir las consecuencias de estos grados de escape. Y también que, igual que en gases y vapores, la ventilación puede diluir y reducir las zonas, pero también podría aumentar su extensión.

Capas de polvo son acumulaciones de partículas finas de un sólido, con un espesor más o menos homogéneo. Estas capas serán inevitables dentro de los equipos de proceso, pero en su exterior deben controlarse por tareas de mantenimiento y un nivel de limpieza en consonancia con la clasificación adoptada. La existencia de capas de polvo exige la consideración de que estas puedan llegar a levantarse y formar nubes; por ello, es conveniente siempre su eliminación.

Como concepto lógico, además de las ya conocidas zonas 20, 21 y 22, se propone una cuarta zona, la **DESCLASIFICADA por...**

Siendo las zonas las siguientes:

Zona 20: solo se considera la que de manera permanente presenta nubes de polvo o frecuentemente.

Por ejemplo: zona sucia de filtros de mangas, tolvas de recepción de molindas, en general, tolvas de proceso que reciben continuamente producto; no obstante, hay que tener en cuenta que en muchos casos las tolvas, al tener un volumen pequeño (tolvas dosificadoras o báscula), tienden a alcanzar muy fácilmente el límite superior de explosividad; en otros casos, no se llega al límite inferior de explosividad (aspirado del llenado/vaciado de sacos o *big bags*).

Zona 21: se consideran donde aparecen nubes de polvo cuando realizamos alguna tarea habitual y de forma normal.

Por ejemplo: el llenado de silos de materias primas con poca frecuencia, un llenado diario o las tolvas pequeñas de proceso que, aunque sean continuos, se saturan de polvo.

Zona 22: son atmósferas que aparecerán de manera rara (no se consideran las roturas accidentales). Por ejemplo, las que pudieran aparecer por efecto de las capas de polvo de una instalación sucia o muy deteriorada.

Zona desclasificada por...: las actuaciones sobre las fuentes de escape pueden y se deben derivar hacia la eliminación del riesgo. Esto es necesario en las naves e instalaciones de procesado que se desclasificarán por un nivel de mantenimiento y limpieza adecuado, en función de las medidas adoptadas con tal fin. En la norma UNE-EN 60079-10-2 se cita como "nivel de limpieza bueno".

Niveles de mantenimiento y limpieza

La presencia y duración de acumulaciones de polvo pueden modificar la probabilidad de formación de atmósferas explosivas en función de las operaciones de mantenimiento y limpieza.

La frecuencia de la limpieza, en sí misma, no es suficiente para determinar si una capa contiene una cantidad suficiente de polvo para controlar estos riesgos.

La presencia y la duración de una capa de polvo dependen de los siguientes parámetros:

- Categoría del escape a partir de la fuente de polvo.
- Porcentaje en el que el polvo es depositado.
- Eficacia de la limpieza.

Pueden describirse tres niveles de limpieza:

Bueno: quedan capas de polvo de un espesor sin importancia o bien inexistentes, cualquiera que sea el grado de la fuente de escape. En este caso, se elimina el riesgo de que se originen nubes explosivas de polvo a partir de las capas y el riesgo de incendio debido a las capas.

Regular: las capas de polvo no son insignificantes, pero tienen una vida corta (menos que la duración de un turno de trabajo). Según la estabilidad térmica del polvo y de la temperatura exterior de los equipos, el polvo puede eliminarse antes de que cualquier incendio pueda declararse.

Malo: las capas de polvo no son insignificantes y persisten durante más tiempo que la duración de un turno de trabajo. El riesgo de incendio puede ser importante.

Referencia UNE-EN- 60079-10-2:2016

El mantenimiento y limpieza pueden considerarse tres situaciones diferentes:

Buen mantenimiento y limpieza. Esta situación corresponde cuando no se permite la aparición de capas de polvo por acciones de mantenimiento y limpieza de manera continuada.

Suficiente mantenimiento y limpieza. Esta situación corresponde a la formación de capas de polvo no despreciables, pero de corta duración (menos de un relevo o turno). Según la probabilidad de que se produzca la dispersión en funcionamiento normal, se establece la siguiente clasificación:

Mal mantenimiento y limpieza. Corresponde al caso en que se forman capas de polvo, no despreciables y persistentes (con duración mayor que un relevo).

Nulo mantenimiento y limpieza. Situación inaceptable. Corresponde al caso improbable de que no se realiza mantenimiento ni limpieza alguna, así se formarán capas de polvo.

Según la probabilidad de que se produzca la dispersión en funcionamiento normal se establece la siguiente clasificación:

		Nivel de limpieza y mantenimiento			
		Nulo	Malo	Suficiente	Bueno
Grado de escape	Continuo	20	20	21	Desclasificado
	Primario	21	21	22	
	Secundario	22	22	Desclasificado	

Cuanto mayor es la probabilidad de que se forme o esté presente una atmósfera potencialmente explosiva, mayores deben ser las exigencias de los equipos instalados.

Nivel de limpieza bueno

Un nivel de limpieza bueno, desde el punto de vista de riesgo de generación ATEX, es no dejar que llegue a acumularse capa alguna de polvo. Además de un buen mantenimiento que reduzca las fugas, debemos disponer de la frecuencia suficiente de limpieza que no permita la aparición de capas de polvo, potencialmente generadoras de ATEX.

El límite inferior de cada sustancia nos dirá con qué frecuencia y rigor debemos emplearnos. Así, un polvo azufre puede llegar a tener un LIE de tan solo 10 g/m³, mientras un coque de petróleo 1.500 g/m³. Evidentemente, la limpieza en el azufre debe ser más intensa, incluso podría llegar a no ser posible desclasificar algunas áreas.

Al tratarse de sólidos, su presencia no se ve a simple vista y, por tanto, la primera medida de control es la visual; siempre se ha dicho que “al andar no dejar pisadas”.



Huella sobre capa de coque de petróleo

Un ejemplo que aparece en la VDI 2263 nos da la proporción de la capacidad de generar una nube de concentración peligrosa por el efecto de una capa de polvo:

Una capa homogénea de 1 mm de un polvo con una densidad de 500 kg/m^3 (*) si por efecto de una presión se alzara a 1 m alcanzaría una concentración de 500 g/m^3 (**), y si llega a alzar a 5 m la concentración sería de 100 g/m^3 (**), por lo que estas capas son un riesgo potencial. Y, por tanto, un primer nivel sería no superar 1 mm de espesor



Referencia: VDI 2263

(*) Hay que considerar que el polvo que se sedimenta está muy suelto y, por tanto, las densidades serán menores que el mismo envasado.

(**) Es necesaria una energía suficiente para poner la materia en suspensión; además, la dispersión debe ser homogénea, situación difícil en los procesos, ya que las corrientes de aire hacen que el polvo se arremoline y aparezca en montículos.

Para evitar la formación de capas de polvo, antes de tener que limpiarlas es fundamental el control de las emisiones del proceso; para ello, los sistemas de aspiración deben estar bien calculados, instalados, empleados y mantenidos. Con esta consigna, se debe analizar un sistema de aspiración, ya que es fundamental su buen funcionamiento, pues es este el que retira de manera continua el polvo fino que se genera por la actividad.

Debemos tener siempre presente que los sólidos son más densos que el aire, es decir, más pesados y que por gravedad tienden a depositarse y a formar capas. También hay que tener en cuenta el tamaño de partícula que influencia la densidad; por ello, a tamaños menores mayor facilidad de dispersión y deposición a mayores alturas. Además, el tamaño de partícula menor aumenta su peligrosidad desde el punto de vista ATEX.

Control de las capas de polvo

Si bien los procesos pueden generar polvo y este se capta casi totalmente al ser generado bien porque es demasiado grande o por fugas habituales, como derrames accidentales.

El principio de control de capas de polvo debe ser el siguiente y por este orden o niveles de actuación:

1. Captar el polvo en los puntos de generación del proceso: mecanizado, corte, pulido, dosificaciones de productos o descargas de sacos y graneles en general. En los puntos de generación, primero se capta el polvo más fino, y quedan partículas más gruesas que se retirarán por el propio personal. Tener en cuenta que el material fuera puede tender a generar más finos.

2. Limpiezas periódicas frecuentes del propio personal de producción (por turno, diarias o semanales), normalmente con aspiraciones locales o centralizadas de alto vacío con puntos de conexión donde hay más generación. Se retira el polvo más grueso.
3. Limpiezas periódicas durante las paradas o campañas, estas realizadas por el propio personal o por subcontratas externas que limpian aquellas zonas fuera de la actividad de producción o causadas por malas praxis (uso de soplado para limpiar capas de polvo), tales como zonas altas (vigas, tuberías y techos), galerías técnicas, fosos, etc. Por lo general, es el polvo fino que ha escapado de los procesos previos de limpieza y que, por su naturaleza, se ha depositado en zonas de difícil acceso. Son especialmente peligrosos los que se encuentran en las partes altas de la instalación, ya que si llegan a desprenderse generan grandes nubes de polvo de potencial efecto devastador.

Nivel 1: aspiraciones localizadas

El primer punto es el óptimo funcionamiento de la aspiración localizada en los puntos de generación; así, menor riesgo ATEX correrá la instalación (debemos tener en cuenta que, si bien se elimina en los puntos de generación, este polvo se concentrará de forma peligrosa y permanente en los filtros de captación, por lo que se deberán tomar medidas de prevención y protección y aislamiento contra explosiones en estos).

- **Dimensionamiento del caudal a extraer:** los fabricantes suelen requerir unos caudales de aspiración en sus máquinas de proceso.
- **Velocidad del flujo:** las velocidades se recomienda que no sean inferiores a 20 m/s, ya que el polvo podría depositarse en las tuberías. No obstante, existen sustancias que pueden circular a menor velocidad para evitar problemas de abrasión (por ejemplo, en polvos metálicos las velocidades pueden ser inferiores a 15 m/s).
- **Las conexiones de los entronques:** giros graduales, reducciones para mantener las velocidades tras entronques. Tener un correcto dimensionado y geometría es vital para la eficiencia de la instalación.
- **Mantenimiento de la instalación,** tuberías rígidas y flexibles, mangas y soplantes.
- **Mantenimiento del vacío y velocidad:** las aperturas no necesarias y las roturas de los flexibles y mangas hacen perder eficiencia al sistema y, por tanto, capacidad de aspiración.

Los puntos 2 y 3 sobre los niveles de limpieza llevan por camino la definitiva desclasificación de zona por mantenimiento y limpieza. Si llegamos a este punto, se deberá mantener constancia documental de quién y cuándo realiza la limpieza, así como de quién supervisa su eficiencia.

Nivel 2: limpieza periódica frecuente

Para las limpiezas periódicas a cargo del propio personal, por ejemplo al final de cada turno o por subcontrata de limpieza, es habitual el de aspiraciones centralizadas con tomas en los puntos donde habitualmente hay derrames: puntos de transferencia de bandas, piqueras, salas de dosificación. O con barredoras que van eliminando capas de polvo que el aire puede mover i dispersar a zonas varias.

Para un correcto uso de las aspiraciones centralizadas de alto vacío, hay que tener en cuenta:

- Un correcto dimensionamiento es fundamental teniendo en cuenta el número de puntos en servicio a la vez.
- El mantenimiento de los flexibles y de las mangas para asegurar la eficiencia del vacío.
- El entronque de las conexiones.

Nivel 3: Limpieza periódica en parada a cargo de personal externo con medios portátiles de aspiración tales como camiones aspiradores. Estas acumulaciones a lo largo del tiempo en las zonas de trabajo se deben, bien a diseños erróneos que permiten acumulaciones en zonas de difícil acceso (bandejas de cables, vigas y tirantes, etc.) o malas praxis, como el uso de aire comprimido para soplar capas, solo así podrían evitarse acumulaciones.

Consejos para minimizar las acumulaciones durante largos periodos

De diseño de instalaciones:

- **Si la instalación se ha diseñado para que no se produzcan acumulaciones de polvo**, evitando superficies planas en zonas de difícil acceso, empleo de suelos lisos que facilitan el empleo de barredoras o, en el caso de suelos altos, con rejillas que permiten la caída hacia zonas de más fácil acceso:

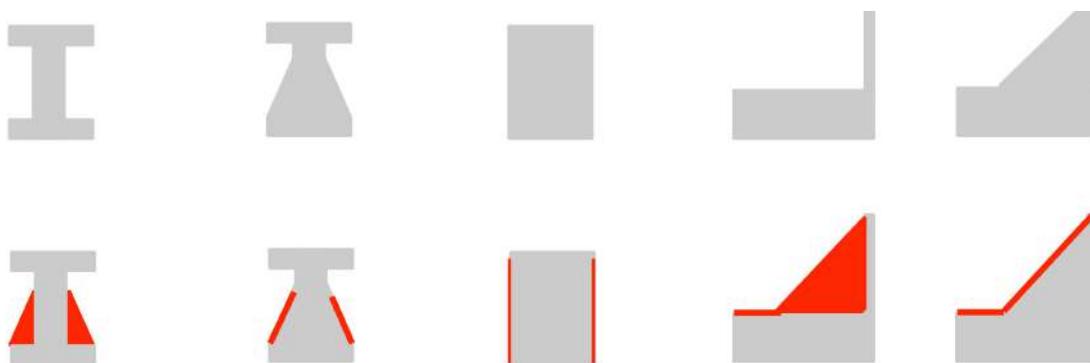


Fig. 51. La forma de las vigas puede retener capas de polvo

Las superficies planas acumulan polvo; las inclinadas, mucho menos, y las verticales, casi nada.

- **Se eliminan prácticas no recomendables**, como soplado de maquinaria y suelos, ya que facilitan la acumulación de polvos finos en zonas de difícil acceso y de elevado riesgo si se dispersan.

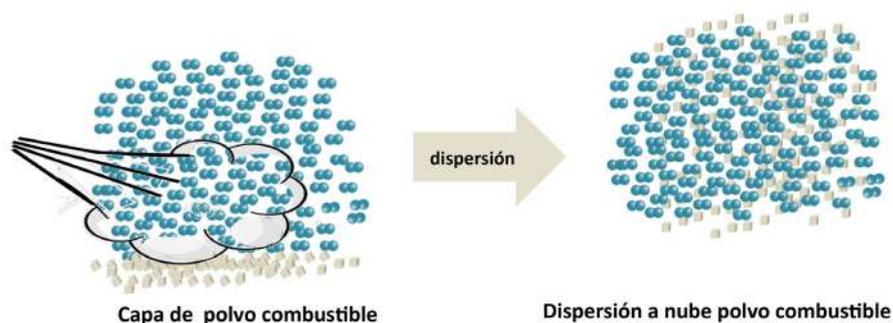


Fig. 52. Las capas de polvo pueden formar nubes de polvo ATEX

- **Empleo de cabinas de desempolvado para los trabajadores**, ya que muy frecuentemente se soplan en la propia instalación dejando el polvo en su entorno.
- **Si se recogen los derrames accidentales por atascos, dosificaciones o por toma de muestras.**

Ejemplo de preventivo de limpieza:

Semana	Mantenimiento diario del personal																		
	LUNES		MARTES		MIÉRCOLES		JUEVES		VIERNES		SÁBADO		DOMINGO						
	M	T	1º	2º	3º	A	B	C	I	II	III	6	14	22	M	N	1º	2º	
Limpieza al finalizar turno																			
Zona A																			
Zona B																			
Zona C																			
Limpiezas durante el trabajo	M	T	N	1º	2º	3º	A	B	C	I	II	III	6	14	22	M	N	1º	2º
Retirar sacos y restos																			
Recoger recortes																			
Producto fuera de líneas																			
Supervisión jefe de turno																			

¿QUIÉN ES COMPETENTE PARA CLASIFICAR EN ZONAS?

Al igual que en las zonas para gases y vapores, se recomienda un equipo multidisciplinar y realizar una clasificación que mejore la operatividad y la seguridad del proceso.

La clasificación de zonas se debería llevar a cabo por aquellos que son competentes y que entienden la importancia y el significado de las características de los polvos y aquellos que están familiarizados con el proceso y con los equipos, junto con personal de seguridad, eléctrico, mecánico y otro personal de ingeniería cualificado.

Referencia UNE-EN- 60079-10-2:2016

UTILIDAD DE LA CLASIFICACIÓN EN ZONAS

Una vez terminada la clasificación de los emplazamientos, puede llevarse a cabo una evaluación de los riesgos para valorar si las consecuencias de la inflamación de una atmósfera explosiva requieren la utilización de equipos con un nivel de protección de equipo EPL (Equipment Protection Level) superior o pueden justificar la utilización de equipos de un nivel de protección del equipo menor al que normalmente sería requerido.

Referencia UNE-EN- 60079-10-2:2016

ZONA	CATEGORÍA	POLVO	GRUPO DE INFLAMABILIDAD	CLASE TÉRMICA
20	1	D	IIIA	T _{xxx} °C
21	2		IIIB	
22	3		IIIC	

ZONA DESCLASIFICADA POR INERTIZACIÓN

Así como en el exterior de equipos las instalaciones se pueden desclasificar por mantenimiento y limpieza. Dentro de los recipientes, no podemos evitar la formación de atmósfera explosiva, salvo que actuemos con técnicas de inertización por gas inerte o por sólido inerte.

DESCLASIFICACIÓN POR INERTIZACIÓN CON GAS

El principio de inertización por gas se basa en reducir la concentración de oxígeno por desplazamiento con otro gas inerte, por debajo de la CLO (concentración límite de oxígeno). Esta concentración es tal que la sustancia ya no se oxida y, por tanto, no arde.

Para inertizar, se debe seguir la Guía CEN/TR 15281: 2006 y también la norma alemana VDI 2263-2: 2017

El valor de CLO (concentración límite de oxígeno) es el que se debe garantizar que no se supera para así impedir la combustión del sólido. Por ello, debemos analizar en continuo la concentración de O₂ siendo el valor de control es CLO- 2%.

Los puntos de control de concentración de O₂ deben hacerse a la salida del proceso y el gas inerte se debe dosificar a la entrada del polvo combustible.

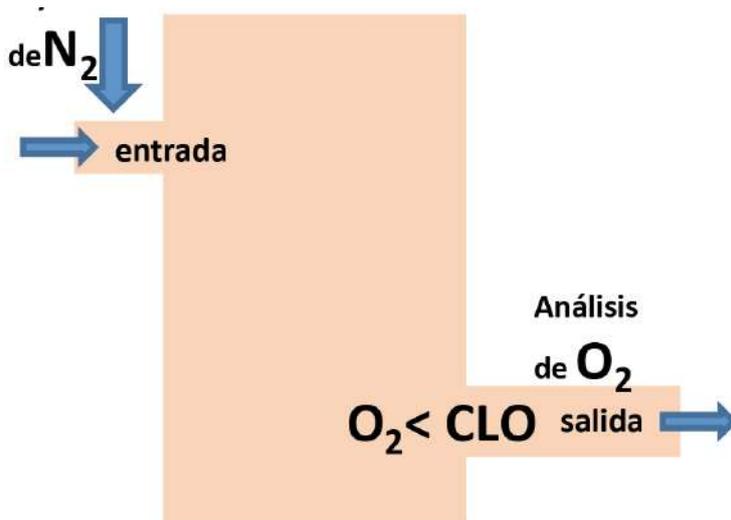


Fig. 53. Se realiza midiendo la concentración de O_2 a la salida del proceso.

En los procesos inertizados debe monitorizarse también el O_2 de las salas donde hay recipientes inertizados para asegurar que no hay riesgo por una fuga de gas inerte y se ponga en riesgo la salud de los trabajadores; además, estos deberán de disponer de medidores de O_2 portátiles que deben llevar siempre con ellos.

El efecto de la inertización es la desclasificación de la zona. Incluso de zona 20 pasamos a zona desclasificada si se garantiza la inertización siempre. Esto solo se consigue si se monitoriza en continuo y se actúa inyectando gas inerte si el valor O_2 está entre CLO y CLO -2 % en vol. y en parar el proceso si el oxígeno llega a ser mayor que CLO.

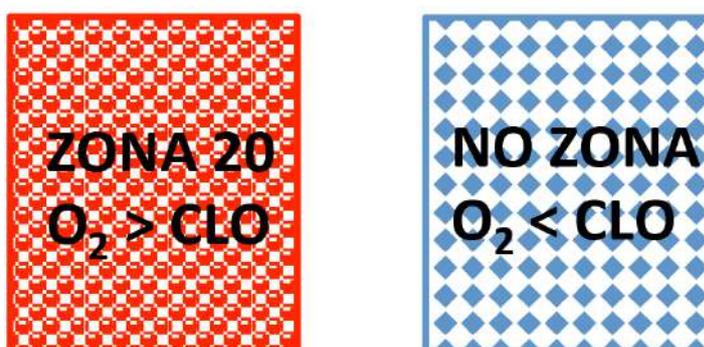


Fig. 54 la inertización por reducción de O_2 puede desclasificar emplazamientos

DESCLASIFICACIÓN POR INERTIZACIÓN CON POLVO INERTE

La mezcla de un sólido combustible con un sólido inerte hace que este deje de ser inflamable. Normalmente estas mezclas son desde el 50 al 70 % de polvo inerte con relación al polvo combustible. El polvo inerte debe tener un tamaño de partícula igual o inferior al polvo combustible, una densidad parecida al polvo combustible para que la mezcla se mantenga en caso de producirse una nube. También debe tener una densidad parecida para que su dispersión sea homogénea con el polvo combustible.

La ventaja de esta técnica es que no hay riesgo de hipoxia, ya que no hay reducción de la concentración de oxígeno. No obstante, es aplicable en escasas ocasiones, pero debe tenerse en cuenta, ya que es muy efectiva al controlar tanto el riesgo de explosión como el de incendio de manera permanente, no como el gas que, en cuanto se deja de dosificar, desaparece.

La verificación de la inertización exige ensayos de no explosividad de la muestra y posterior control de mantenimiento de concentraciones de sólidos en la mezcla, por lo que esta técnica exigirá seguramente un método de control analítico de la mezcla en el tiempo para asegurar que está dentro de las concentraciones de no explosividad.

Algunos porcentajes de mezcla:

Polvo combustible	Tamaño de partícula [μm]	Sólido Inerte	Tamaño medio de partícula [μm]	% del total del peso
Metil celulosa	70	Sulfato cálcico (CaSO_4)	< 15	70
Pigmento orgánico	< 10	Fosfato amónico ($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$)	29	65
Carbón bituminoso	20	Sulfato cálcico (CaSO_4)	14	65
Carbón bituminoso	20	Sulfato cálcico (CaSO_4)	35	65
Azúcar	30	Bicarbonato sódico (NaHCO_3)	35	50

Ensayado en un volumen de $V = 1\text{m}^3$ con energía hasta $E = 10.000\text{ mJ}$

Referencia BIA Report 13/97

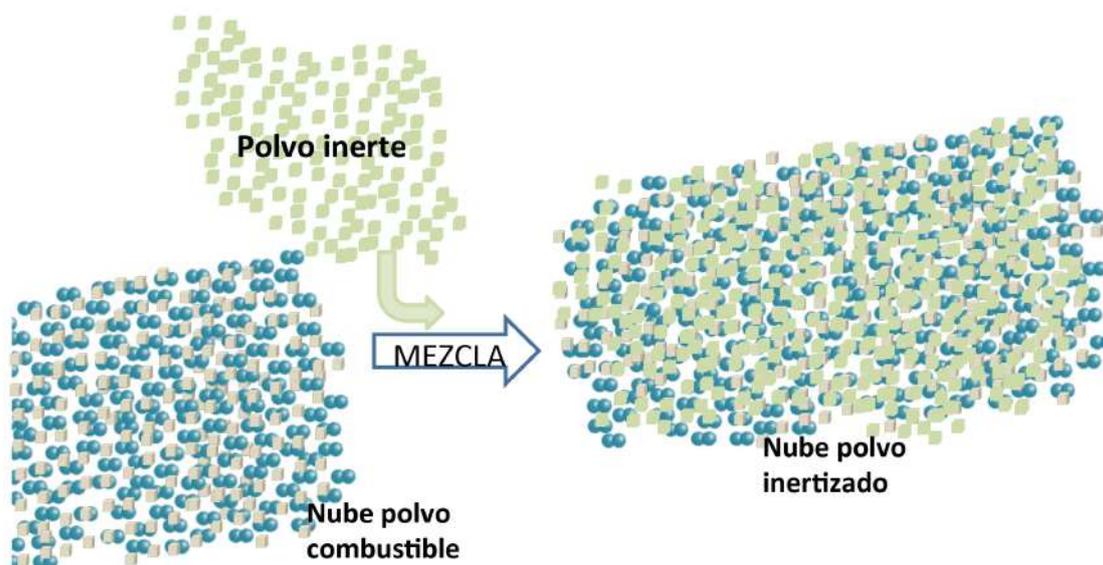


Fig. 55. Inertización con sólido inerte

Anexos

- **Hoja de calibración. Detección de gas**
- **Tablas para la clasificación de emplazamientos**

Detección de gas

Hoja de calibración

CLIENTE		N.º REF.	
MARCA		FECHA INTERV.	dd-mm-aaaa
MODELO		N/S DETECTOR	

COMPROBACIÓN INSTRUMENTO / RESULTADOS

	SENSOR 1	SENSOR 2	SENSOR 3	SENSOR 4
GAS sensor				
T90 Sensor				
CONCENT.GAS CAL.				
INCERTIDUMBRE				
N.º BOTELLA				
N.º CERTIF. BOTELLA				

	E	D	E	D	E	D	E	D
CERO								
SPAN								

Próxima cal.: E= Encontrado - D-Dejado - # Alarma comprobada

2. Settings alarmas

	CANAL 1	CANAL 2	CANAL 3	CANAL 4
A1 SET POINT	%	%	%	%
A2 SET POINT	%	%	%	%
A3 SET POINT				
STEL SET POINT				
LTEL SET POINT				

3. Observaciones y repuestos

4. Condiciones ambientales y resultado

Temperatura: °C

Humedad %

Presión ambiental: mbar

	APTO		NO APTO
--	------	--	---------

*Certificamos que el instrumento, cuyos datos de identificación se relacionan, ha sido calibrado en nuestro servicio postventa, utilizando materiales originales y verificando su funcionamiento siguiendo el protocolo de pruebas requerido, y el aparato ha quedado en condiciones de uso. Este certificado no supone ninguna garantía para las partes o materiales sustituidos.

*Se recomienda la calibración del instrumento por un servicio autorizado con la periodicidad recomendada por el fabricante, o antes, si se observan anomalías en el funcionamiento del equipo.

*Aire limpio usado como patrón de cero, salvo indicación en contrario.

*Todos los equipos y gases utilizados en la calibración son trazables a patrones nacionales.



SISTEMAS DE ASPIRACIÓN Y FILTRACIÓN CENTRALIZADOS



Oñaz diseña y fabrica **Sistemas de Aspiración y Filtración Centralizados** mediante un **estudio a medida** de cada proceso productivo de nuestros clientes. Tanto los **nuevos equipos** como las **adaptaciones de equipos existentes permiten la desclasificación de zonas ATEX** mediante la captación del polvo generado de forma continua, e integran los más avanzados medios de **Prevención y Protección** contra posibles explosiones para un desempeño seguro, fiable y duradero.

Consultoría

Ingeniería
a medida

Fabricación

Transporte
y montaje

Puesta en
marcha

Servicio de
post-venta



INDUSTRIAS METÁLICAS OÑAZ S.L.
Gerraundi, 2 · 20730 Azpeitia
Guipúzcoa · Spain
T: +34 943 157 045 · F: +34 943 157 153
correo@onaz.es · www.onaz.es



PANELES DE VENTEO ORIENTADOS



Elementos de protección calculados según norma en función del volumen a proteger y de las características ATEX del material tratado. Mantienen las características estructurales del elemento protegido aliviando la sobrepresión de la explosión y orientando el frente de llama a una zona segura. Incorporan detectores de ruptura que permiten la parada controlada de la instalación.

> www.onaz.es

VÁLVULAS ROTATIVAS DE AISLAMIENTO



Elementos de protección en procesos de carga/descarga. Seleccionadas en función del caudal de transporte, presión y características ATEX del material a transportar. Impiden el paso del frente de llama y presión del volumen protegido a puntos anteriores/posteriores de la instalación sectorizándola.

> www.onaz.es

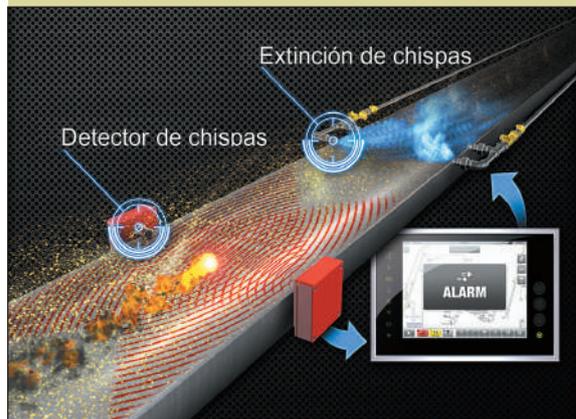
VÁLVULAS DE AISLAMIENTO / AISL. QUÍMICO



Elementos de protección contra la propagación de explosiones a través de los conductos que protegen. Impiden el paso del frente de llama y en el caso de las válvulas de aislamiento también el frente de presión por las tuberías hasta los puntos de aspiración de la instalación.

> www.onaz.es

SIST. DE DETECCIÓN Y EXTINCIÓN DE CHISPAS



Elementos de prevención que detectan las chispas generadas en procesos de mecanizado, triturado, molienda,... y que se transportan por las tuberías apagándolas e impidiendo su llegada a equipos filtrantes, silos,... donde provocarían explosiones. Su gestión electrónica permite definir niveles de alarma, monitorización continua de chispas detectadas y enclavamiento con la instalación en la cual se instala el sistema.

> www.onaz.es

VENTILADORES PARA ATMÓSFERAS EXPLOSIVAS ATEX

APLICACIONES INDUSTRIALES
INDÚSTRIA QUÍMICA Y PETROLÍFERA
EXTRACCIÓN DE POLVO
ZONAS DE RECARGA DE BATERIAS



Pol. Ind. La Barricona
Carrer del Metall, 2 – E-17500 Ripoll, Girona, SPAIN
Tel. +34 93 852 91 11 – Fax +34 93 852 90 42

General sales: comercial@sodeca.com
Export sales: ventilation@sodeca.com
www.sodeca.com

HCDF



Extractores helicoidales murales antideflagrantes para ventilación de armarios o salas con atmósferas explosivas en la industria. Motor compacto antideflagrante para alimentación monofásica o trifásica. Certificación ATEX Ex 2G IIB+H2 T5 para zona 1 de gases, incluido hidrógeno.

> Más información

CMP



Ventiladores centrífugos para extracción en procesos industriales con atmósferas explosivas. Posibilidad de acabados con distintos grados de protección anticorrosiva, así como fabricación en acero inoxidable. Certificación ATEX Ex II 2G para zonas 1 y 2 de gases, ATEX Ex II 2D para zonas 21 y 22 de polvo.

> Más información

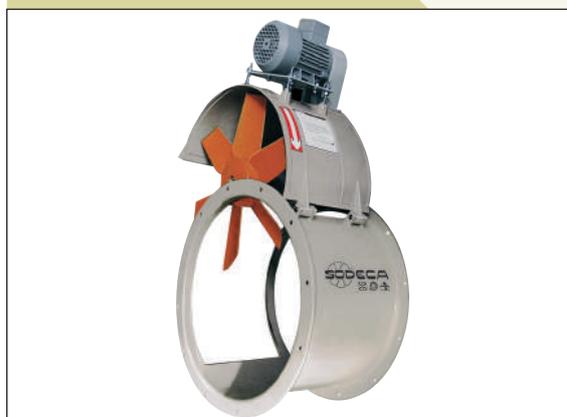
CPV



Ventilador centrífugo fabricado en polipropileno antiestático para extracción en atmósferas explosivas y ambiente altamente corrosivo. Disponible en 8 orientaciones distintas. Certificación ATEX Ex 2G para zonas 1 y 2 de gases, ATEX Ex II 2D para zonas 21 y 22 de polvo.

> Más información

HPX



Ventilador helicoidal con el motor fuera del paso del aire, para trabajar en atmósferas explosivas. El conjunto hélice-transmisión-motor se puede abrir mediante una trampilla practicable para facilitar el mantenimiento y limpieza del equipo. Certificación ATEX Ex 2G para zonas 1 y 2 de gases, ATEX Ex II 2D para zonas 21 y 22 de polvo.

> Más información

ZONAS ATEX

¿Polvo?

Déjelo en nuestras manos.



PROSILO
LIMPIEZA PROFESIONAL DE SILOS

PROFESIONALES EN
HIGIENE DE SILOS,
DEPÓSITOS Y
CONDUCTOS

SEDE CENTRAL
C/Sallent, 97-103
Pol. Ind. Els Dolors
08243 MANRESA
Tel. 902 109 460

**DELEGACIÓN
CASTILLA Y LEÓN**
C/Bordadores, 18
34004 PALENCIA
Tel. 902 109 460

**DELEGACIÓN
CENTRO**
C/Federico Gutiérrez, 16
28027 MADRID
Tel. 902 109 460

www.prosilo.com

Inertización vía HUMED



Trabajos de inertización y limpieza de zonas pulverulentas, como silos, depósitos y tanques, para evitar concentraciones de polvo. Con ello se eliminan los riesgos de trabajos en caliente al no generarse nubes de polvo en el interior de las instalaciones de ensilado.

> Más información

Camiones de aspiración ATEX



Camiones con homologación ATEX para la aspiración de zonas con gran concentración de materiales pulverulentos. La rapidez de acción evita la generación de nubes de polvo. Nuestros equipos están dotados de sistemas antideflagrantes.

> Más información

Revisión y Prevención



La mejor forma de evitar riesgos de explosión es la prevención. Servicio de revisión y mantenimiento preventivo de silos depósitos y tanques, con la finalidad de detectar anomalías, fallos, desgastes y defectos. Asesoramiento técnico para la implantación de mejoras.

> Más información

Instalación ATEX



Adecuación, instalación y sustitución de paneles de venteo y sistemas de protección contra explosión. Verificación de los equipos de protección contra explosiones. Asesoramiento y desarrollo de criterios técnicos de seguridad contra explosiones. Mejora de las técnicas de prevención y protección contra explosiones en silos, tolvas y tanques.

> Más información

COLECCIÓN FICHAS SEGURIDAD CONTRA INCENDIOS



ENGINYERS BCN

© Col·legi d'Enginyers Graduats i Enginyers Tècnics Industrials de Barcelona



www.engineersbcn.cat/manuals

Con el soporte de:



Proveedores comerciales:



ENGINEERS | BCN



COL·LEGI D'ENGINYERS GRADUATS
I ENGINYERS TÈCNICS INDUSTRIALS
DE BARCELONA



Sistema de
Gestión
ISO 9001:2015
ISO 14001:2015
www.tuv.com
ID: 9105083007