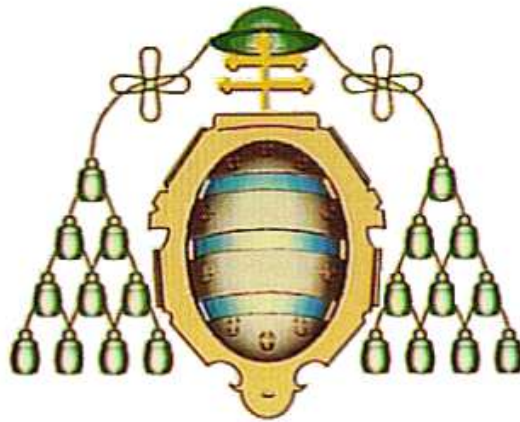


UNIVERSIDAD DE OVIEDO



Máster Universitario en Prevención de Riesgos Laborales

Trabajo Fin de Máster

**ELABORACIÓN DE UN DOCUMENTO DE
PROTECCIÓN CONTRA EXPLOSIONES**

Alberto López de la Sierra

Director/a: D. Gregorio Fidalgo Valverde

Febrero, 2013

ÍNDICE:	Páginas
1. PLANTEAMIENTO Y OBJETIVOS	
1.1. PRESENTACIÓN	3
1.2. OBJETIVOS	3
1.3. DEFINICIÓN	3
1.4. EJEMPLOS	6
2. PROCEDIMIENTOS, MATERIALES Y MÉTODOS	
2.1. DOCUMENTO DE PROTECCIÓN CONTRA EXPLOSIONES	10
2.2. FUNDAMENTOS DE LA CLASIFICACIÓN EN ZONAS Y DEFINICIONES	16
2.3. MÉTODO DE CLASIFICACIÓN PARA GASES	
2.3.1. Caracterización del escape	23
2.3.2. Ventilación	41
2.3.3. Extensión de las zonas	44
2.4. MÉTODO DE CLASIFICACIÓN PARA POLVOS	
2.4.1. Clasificación formal	55
2.4.2. Capas de polvo	58
2.4.3. Extensión de las zonas	61
2.5. MÉTODO DE EVALUACIÓN DEL RIESGO	
2.5.1. Identificación y análisis de las posibles fuentes de ignición	66
2.5.2. Criterios específicos para la evaluación del material eléctrico/mecánico	70
2.5.3. Probabilidad de activación de las fuentes de ignición	82
2.5.4. Valoración del riesgo en función de la probabilidad y sus consecuencias	83
2.6. MEDIDAS PREVENTIVAS PARA EVITAR LA FORMACIÓN DE ATEX	86
2.7. MEDIDAS PARA EVITAR LA IGNICIÓN DE ATEX	88
2.8. MEDIDAS DE PROTECCIÓN.	93
2.9. MEDIDAS ORGANIZATIVAS	
2.9.1. Instrucciones de servicio para los puestos de trabajo	100
2.9.2. Cualificación de los trabajadores	101
2.9.3. Contenido y frecuencia de la formación	101

2.9.4. Regulación de los equipos de trabajo móviles en las áreas de riesgo	102
2.9.5. Equipos de protección individual para los trabajadores	102
2.9.6. Sistema de permisos de trabajo	103
2.9.7. Programa de limpieza	104
2.9.8. Organización de los trabajos de mantenimiento, control y comprobación	104
2.9.9. Señalización de las áreas de riesgo	105
2.10. PLANIFICACIÓN Y COORDINACIÓN DE LAS MEDIDAS DE PROTECCIÓN	
2.10.1. Planificación	105
2.10.2. Coordinación	106
3. DESARROLLO, RESULTADOS Y DISCUSIÓN GENERAL	
3.1. RESOLUCIÓN DE CASOS PRÁCTICOS	108
4. CONCLUSIONES	128
5. BIBLIOGRAFÍA	142
6. ANEXOS	
6.1. ANEXO I: R.D. 681/2003	143
6.2. ANEXO II: R.D. 400/1996	150
6.3. ANEXO III: R.D. 842/2002	157
6.4. ANEXO IV: MODELO DE PERMISO DE TRABAJO	160
6.5. ANEXO V: MODELO CONTROL PROGRAMA DE LIMPIEZA	162
6.6. ANEXO VI: MODELOS DE PLANIFICACIÓN DE LAS MEDIDAS PREVENTIVAS Y COORDINACIÓN DE ACTIVIDADES	164
6.7. ANEXO VII: OTRAS REGLAMENTACIONES Y NORMAS APLICABLES	168

1. PLANTEAMIENTO Y OBJETIVOS.

1.1. INTRODUCCIÓN.

Contrariamente a lo que se suele pensar, las instalaciones o los procesos en los que existen riesgos derivados de atmósferas explosivas no son algo singular o circunscrito a plantas industriales muy específicas y controladas, si no que se hayan muy próximos a la mayoría de los ciudadanos y a su quehacer cotidiano. Por citar algunos ejemplos, un horno de pan, un taller de carpintería o una instalación de envasado de un producto cosmético, son lugares en los que existe un cierto riesgo de atmósfera explosiva.

De una manera creciente las reglamentaciones y las normativas, tanto de seguridad industrial como de seguridad laboral, nos obligan a considerar las situaciones, las instalaciones y los productos con riesgo de atmósfera explosiva y a proponer soluciones para eliminar o minimizar dicho riesgo. Y en este contexto, el primer paso para proyectar con seguridad es la clasificación de zonas.

1.2. OBJETIVOS:

Los objetivos marcados para este proyecto son los siguientes:

- Recoger de la normativa vigente los requisitos necesarios para realizar un estudio exhaustivo de atmósferas explosivas y desarrollar el Documento de Protección Contra Explosiones.
- Establecer un manual sencillo que nos ayude en la tarea de llevar a cabo el Documento de Protección Contra Explosiones, poniendo especial énfasis en las tareas de clasificación en zonas y en el resto de tareas de prevención, como son la proposición de medidas preventivas y de protección tanto materiales, como organizativas.

1.3. DEFINICIÓN:

Los riesgos de explosión pueden hacer su aparición en cualquier empresa en la que se manipulen sustancias inflamables. Entre éstas figuran numerosas materias primas, productos intermedios, productos acabados y materias residuales de los procesos de trabajo cotidianos.

Planteamiento y objetivos

El riesgo de formación de una atmósfera explosiva existe en los procesos y procedimientos de trabajo más diversos, por lo que afecta a casi todos los ramos de actividad.

Una **atmósfera explosiva** es una mezcla con aire, en condiciones atmosféricas, de sustancias inflamables en forma de gases, vapores, nieblas o polvos, en la que después de una ignición, la combustión se puede propagar hacia la mezcla no quemada.

Sin embargo, el término de atmósfera explosiva no es aplicable cuando el riesgo de explosión proviene de sustancias inestables, como explosivos y sustancias pirotécnicas, o cuando la mezcla explosiva está fuera de lo que se entiende como condiciones atmosféricas normales, quedando excluidos pues los procesos en condiciones hiperbáricas. Esto quiere decir que para estos procesos, el cumplimiento de los requisitos de las directivas sobre ATEX (Atmósferas Explosivas) no es garantía de encontrarse en condiciones seguras.

Pero, ¿cuáles se consideran condiciones atmosféricas? Pues aquellas en las que la T^a está entre -20°C y 60°C y la presión está comprendida en el rango de 0,8 bar a 1,1 bar.

Para entender mejor el concepto de qué se considera atmósfera explosiva y en qué casos se dejará de aplicar la legislación vigente a este respecto (R.D. 681/2003, que se desarrollará más adelante), se presentan 4 figuras a continuación:

ALMACENAMIENTO EN
CONDICIONES NO ATMOSFÉRICAS



Figura 1. Por ejemplo, el gas natural licuado se almacena a presión atmosférica y a T^a de -161°C . En su interior no hay aire, luego no se aplica el RD681/2003

ALMACENAMIENTO EN
CONDICIONES ATMOSFÉRICAS



Figura 2. Muchos hidrocarburos se almacenan a T^a y presión atmosféricas. Por tanto, si la sustancia emite vapores y en el interior hay aire, hay que aplicar el RD 681/2003

Planteamiento y objetivos

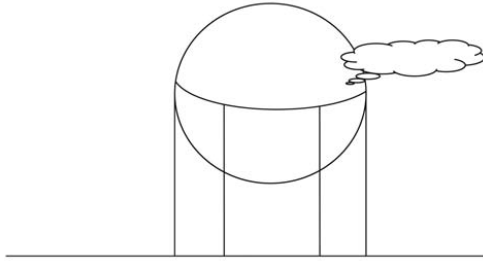


Figura 3. Si se produce una fuga de la sustancia inflamable almacenada en este tipo de tanques, ya sea en forma de líquido que pueda producir vapores inflamables o gases inflamables, existe ATEX no en el interior del tanque pero sí en el lugar de trabajo.

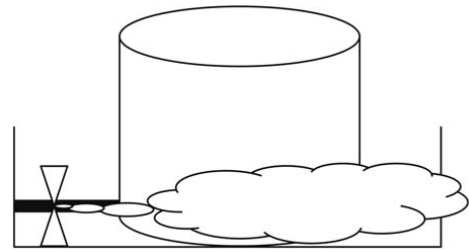


Figura 4. Si se produce una fuga de la sustancia inflamable almacenada en este tipo de tanques, ya sea en forma de líquido que pueda producir vapores inflamables o gases inflamables, existe ATEX y hay que aplicar el RD 681/2003

No obstante, para que se produzca una explosión deben coincidir la **atmósfera explosiva** y un **foco de ignición**. Esto requiere la existencia de una sustancia combustible (gas, vapor, niebla o polvo) y de un oxidante (aire) en un intervalo de concentración determinado y al mismo tiempo la presencia de una fuente energética capaz de iniciar la reacción.

Pero no sólo basta con que estén presentes sustancia combustible, comburente y foco de ignición. La mayor parte de gases, vapores y nubes de polvo inflamables son susceptibles de explotar si se inflaman bajo ciertas condiciones. Cada sustancia tiene un rango de concentración en el aire dentro del cual la mezcla sustancia inflamable-aire tiene propiedades explosivas, pero, si la concentración es inferior o superior a los extremos (límites) que definen su rango de explosividad, no se produciría la explosión aunque el grado de dispersión fuese propicio.



Figura 5. Zona con riesgo de explosión 1

1.4. EJEMPLOS:

A continuación se enumeran algunos ejemplos de áreas con riesgos de explosión en diferentes ramas de actividad, en las que se forman atmósferas explosivas y que por exigencia legal, habrá que clasificar en zonas:

a) **Industria química:**

En la industria química se transforman y emplean gases, líquidos y sólidos inflamables en multitud de procesos. En estos procesos pueden formarse mezclas explosivas.

- Plantas de producción y manipulación de azufre.
- Zonas de trabajo, manipulación y almacenamiento.
- Lugares donde se trasvasen líquidos volátiles inflamables de un recipiente a otro.
- Locales con depósitos de líquidos inflamables abiertos o que se puedan abrir.
- Salas de bombas o compresores para gases o líquidos inflamables.
- Instalaciones donde se produzcan, manipulen, almacenen o consuman gases inflamables.

b) **Vertederos e ingeniería civil:**

En los vertederos pueden formarse gases inflamables. Para evitar que éstos escapen de manera incontrolada y puedan llegar a encenderse, se requieren importantes medidas técnicas. En túneles mal ventilados, sótanos, etc. pueden acumularse gases inflamables de fuentes diversas. Los residuos sólidos urbanos generan polvo explosivo.

c) **Compañías productoras de energía:**

Con el transporte, la molienda y el secado de carbones troceados, no explosivos por su tamaño, se generan polvos de carbón que sí pueden formar mezclas explosivas polvo/aire. Las biomásas y otros combustibles sólidos son explosivos. La refrigeración con H₂ de los alternadores implica riesgo de explosión.

d) **Empresas de tratamiento de aguas residuales:**

Los gases de digestión generados en el tratamiento de aguas residuales en depuradoras pueden formar mezclas explosivas gas/aire. Los lodos secos también son explosivos.

e) **Compañías de suministro de gas:**

En caso de escapes de gas natural por fugas o similar pueden formarse mezclas explosivas gas/aire.

f) Industria de trabajo de la madera:

En el trabajo de piezas de madera se generan polvos de madera que pueden formar mezclas explosivas polvo/aire en filtros o en silos.

– Industrias de procesamiento de madera, tales como carpinterías.

g) Talleres de pintura y esmaltado:

La neblina de pulverización que se forma en el esmaltado de superficies con pistolas de pintura en cabinas de lacado, al igual que los vapores de disolventes liberados, puede provocar una atmósfera explosiva en contacto con el aire. Los pigmentos pulverulentos pueden ser muy explosivos.

– Zonas en el interior de cabinas de pintura con pistolas de pulverización y su entorno cercano.

h) Fabricación de piezas de metales ligeros y talleres de carpintería metálica:

En la fabricación de piezas de moldeo metálicas, su tratamiento de superficie (amolado) puede generar polvos metálicos explosivos, sobre todo en el caso de los metales ligeros (Aluminio, Titanio, Magnesio, etc.). Estos polvos metálicos pueden provocar riesgos de explosión en separadores y otras operaciones.

– Zonas en las que se producen, procesan, manipulan o empaquetan polvos metálicos de materiales ligeros (Aluminio, Magnesio, etc.).

i) Instalaciones agropecuarias:

En algunas explotaciones agrícolas se utilizan instalaciones de generación de biogás. En caso de fugas, pueden formarse mezclas explosivas biogás/aire. Las deshidratadoras de forraje, descascarilladoras de almendra y otras instalaciones similares generan atmósferas explosivas.

– Almacenamiento y utilización de fertilizantes (Nitrato Amónico).

j) Reparación de vehículos:

Normalmente las cantidades de productos inflamables son reducidas y el confinamiento y la ventilación hacen innecesaria la clasificación (ver párrafo 4.4). No obstante, con carácter general, debe analizarse la posibilidad de formación de atmósferas explosivas si existen cantidades importantes de materias inflamables.

– Garajes y talleres de reparación de vehículos, excepto privados.

k) Lavanderías y tintorerías:

– Zonas de lavanderías y tintorerías con líquidos inflamables.

l) Industria alimentaria:

El transporte y almacenamiento de harinas, granos y derivados pueden generar polvos explosivos. Si éstos se aspiran y separan en filtros, puede aparecer una atmósfera explosiva en el filtro.

- Locales de extracción de grasas y aceites que utilicen disolventes inflamables.
- Secaderos de material con disolventes inflamables.
- Entre los polvos combustibles tenemos la harina y derivados, el almidón, el azúcar, el cacao, la leche y el huevo en polvo, las especias, etc.
- Fábricas de harina panificable.
- Fabricación de pan y productos de panadería.

m) Industria farmacéutica:

En la producción farmacéutica a menudo se emplean alcoholes como disolventes. También pueden utilizarse sustancias sólidas activas y auxiliares explosivas, por ejemplo lactosa, vitaminas, paracetamol, etc.

- Zonas de trabajo, manipulación y almacenamiento.

n) Refinerías:

Los hidrocarburos manejados en las refinerías son todos ellos inflamables y, según su punto de inflamación, pueden provocar atmósferas explosivas incluso a temperatura ambiente. El entorno de los equipos de transformación petrolífera casi siempre se considera zona con riesgo de explosión.

o) Industrias de reciclado de residuos:

El tratamiento de residuos reciclables puede entrañar riesgos de explosión por envases no vaciados por completo de su contenido de gases o líquidos inflamables o por polvos de papel o materias plásticas.

p) Industria textil y afines:

- Almacenes y muelles de expedición (sacos o contenedores).
- Zonas de tratamiento de textiles, como algodón.
- Plantas de fabricación y procesado de fibras.
- Talleres de confección.

q) Locales de utilización de productos químicos inflamables:

- Lugares donde se trasvasen líquidos volátiles inflamables de un recipiente a otro.
- Locales con depósitos de líquidos inflamables abiertos o que se puedan abrir.
- Salas de bombas o compresores para gases o líquidos inflamables.

Planteamiento y objetivos

– Instalaciones donde manipulen, almacenen o consuman gases inflamables.

r) Industrias agrarias:

– Fabricación de piensos compuestos.

– Elaboración de correctores vitamínico-minerales.

– Silos para almacenamiento de cereales. Entre los polvos combustibles tenemos los cereales, granos y derivados, almidón, heno.

– Secadero de cereales y deshidratadoras de alfalfa.

s) Industrias forestales y afines:

– Aserraderos de madera.

– Fabricación de papel y celulosa.

– Zonas de trabajo, manipulación y almacenamiento.

2. PROCEDIMIENTOS, MATERIALES Y MÉTODOS.

A continuación se recogen los siguientes métodos:

- Documento de protección contra explosiones (extraído de la NTP 826).
- Clasificación de zonas para gases y vapores. (extraído de la norma UNE-EN 60079-10)
- Clasificación de zonas para polvos (extraído de la norma prEN 50281-3).
- Método de evaluación del riesgo. Para esta evaluación se tendrán en cuenta todos los requisitos establecidos en los Reales decretos siguientes:
 - R.D. 681/2003 (que establece las disposiciones mínimas para la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores expuestos a riesgos derivados de las atmósferas explosivas). La información relevante a este aspecto está recogida en el ANEXO I.
 - R.D. 400/1996 (que establece los requisitos esenciales de seguridad que deben cumplir los equipos y sistemas de protección previstos para su uso en atmósferas explosivas. Este Real Decreto se resume en el ANEXO II.
 - La Instrucción Técnica Complementaria ITC – BT- 029, aprobada mediante el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión, a través del R. D. 842/2002, del cual la información más relevante se recoge en el ANEXO III de este trabajo.

2.1. DOCUMENTO DE PROTECCIÓN CONTRA EXPLOSIONES:

En materia de prevención de riesgos laborales, es obligación del empresario impedir la formación de atmósferas explosivas, evitar su ignición y atenuar los daños y efectos perjudiciales de una posible explosión. En este aspecto, el Real Decreto 681/2003 contempla una serie de obligaciones del empresario con objeto de prevenir las explosiones y de proteger a los trabajadores contra éstas.

El empresario debe tomar una serie de medidas tanto de carácter técnico como organizativo, siempre de acuerdo con los principios básicos que deben inspirar la acción preventiva (Artículo 15 de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales).

Entre estas obligaciones se encuentra el deber de elaborar un Documento de Protección Contra Explosiones (DPCE). Pero no sólo es obligado disponer de este documento, si no también mantenerlo actualizado.

- Aspectos destacables del DPCE:

Como se ha dicho, el R.D. 681/2003 fija (en su Artículo 8) la necesidad de elaborar un DPCE. En este artículo, también se indican los aspectos mínimos que debe reflejar este documento:

- Que se han determinado y evaluado los riesgos de explosión.
- Que se tomarán las medidas adecuadas para garantizar la seguridad y salud de los trabajadores.
- Las áreas que han sido clasificadas en zonas de conformidad con el R.D. 681/2003. Una vez determinadas estas áreas, se estudiará el riesgo de explosión teniendo en cuenta la probabilidad de activación de todas las posibles fuentes de ignición: superficies calientes, llamas y gases calientes, chispas de origen mecánico, material eléctrico, corrientes eléctricas parasitas (protección contra la corrosión catódica), electricidad estática, rayo, ondas electromagnéticas y microondas, radiación ionizante, ultrasonidos, compresión adiabática y reacciones químicas.
- Las áreas en que se aplicarán los requisitos mínimos establecidos.
- Que el lugar y los equipos de trabajo, incluidos los sistemas de alerta, están diseñados y se utilizan y mantienen teniendo debidamente en cuenta la seguridad.
- Que se han adoptado las medidas necesarias, de conformidad con el Real Decreto 1215/1997, para que los equipos de trabajo se utilicen en condiciones seguras.

En definitiva, el DPCE es el documento que confirmará que los lugares y los equipos de trabajo han sido concebidos, utilizados y mantenidos, teniendo debidamente en cuenta la seguridad y que se han tomado las medidas oportunas para que la utilización de los equipos de trabajo en las zonas de riesgo ATEX sea segura.

- Elaboración del DPCE:

En el R.D. 681/2003 se establece expresamente la posibilidad de combinar las evaluaciones, los documentos o informes ya existentes. Esto significa que un documento puede remitir a otros sin necesidad de incluirlos de forma explícita e íntegra en dicho documento. Puede recurrirse a esta posibilidad cuando se necesita acceder a los documentos con rapidez y frecuencia.

Para aquellas empresas en las que existen varias instalaciones con zonas de riesgo puede resultar útil desglosar el documento de protección contra explosiones en una parte general y en otra específica a cada instalación.

Si las condiciones de explotación de una instalación cambian con frecuencia, por ejemplo debido al trabajo por lotes de productos de características diversas, la valoración y documentación, en caso de ser común, deberá basarse en el estado operativo más peligroso.

- Conclusiones:

Debido a su importancia y trascendencia, en la redacción del DPCE deberían de participar todas las personas involucradas en la seguridad de la empresa, tanto a nivel interno como externo, puesto que el logro de los objetivos queda condicionado a la participación y compromiso de todo el personal. Todo ello siempre en torno al empresario, que es quien tiene la obligación específica de garantizar su elaboración y es quien asume el compromiso y responsabilidad del documento.

La rigurosidad en su elaboración es de tal importancia que irregularidades en este sentido, por defecto, pueden comprometer la seguridad de personas e instalaciones y la viabilidad de la empresa, al requerir importantes inversiones en ciertos casos.

A continuación en la página siguiente, se muestra el posible esquema que tendría un DPCE, tal y como se muestra en la NTP 826.

Procedimientos, materiales y métodos

1. Introducción	3.1. Breve descripción de cada uno de los procesos con riesgo ATEX:
1.1. Identificación de la empresa (razón social,...)	-Descripción de las instalaciones
1.2. Objeto del DPCE	-Diagrama de flujo
1.3. Referencias legales y normativa asociada	-Esquema de ubicación de instalaciones
2. Descripción de la empresa y de los sectores de actividad	-Equipos característicos
2.1. Datos de la empresa:	-Descripción del proceso industrial
-Ubicación	3.2. Datos importantes para la protección contra explosiones:
-Tipo de actividad	-Descripción de las etapas de proceso (arranque, parada,...)
-Responsable principal (empresario)	-Datos de diseño y funcionamiento (temperatura, presión, volumen, frecuencia de giro, rendimiento, carburante, ...)
-Nº de trabajadores / organigrama	-Tipo, envergadura y frecuencia de los trabajos de limpieza:
2.2. Características constructivas y geográficas:	- por aspiración, por barrido,...
-Materiales empleados, superficies, criterios de compartimentación, accesos, fachadas accesibles	- parcial, total,...
-Planos de situación	- diaria, semanal, ...
-Salidas de emergencia y vías de evacuación	-Datos sobre la ventilación del local
2.3. Instalaciones (descripción, características y planos):	-Posibles anomalías
-Instalación eléctrica.	4. Descripción de las sustancias utilizadas y sus parámetros de explosividad (materia prima, productos intermedios, finales y anexos al proceso productivo)
-Instalación de agua sanitaria.	4.1. Para gases, vapores o nieblas:
-Instalación de gas.	-Intersticio experimental máximo de seguridad (IEMS)
-Instalación de climatización.	-Rango de inflamabilidad /explosividad (Límite inferior- Límite superior)
-Instalación de aparatos elevadores.	-Temperatura de inflamación (flash point)
-Instalación de aparatos a presión.	-Temperatura de autoinflamación
-Instalación de protección contra incendios.	-Energía mínima de inflamación
-Otras instalaciones	-Corriente mínima de inflamación
2.4. Sectores con riesgo ATEX	-Grupo y subgrupo: IIA, IIB o IIC
3. Descripción de los procesos y/o actividades y diagrama de proceso	

-Densidad relativa	5.6. Identificación y análisis de todas las posibles fuentes de ignición
-Coeficiente de evaporación	5.7. Determinación de la probabilidad de activación de dichas fuentes
4.2. Para polvos combustibles	5.8. Criterios específicos para la evaluación del riesgo derivado del material eléctrico / mecánico
-Granulometría	5.9. Valoración del riesgo, en función de la probabilidad y las consecuencias
-Concentración mínima explosiva	6. Medidas adoptadas o a adoptar para la protección contra explosiones
-Energía mínima de ignición	6.1. MEDIDAS TÉCNICAS: selección, mantenimiento e inspección o control
-Temperatura de ignición en capa	6.1.1. Medidas de prevención:
-Temperatura de inflamación en nube	-Medidas para impedir la formación de ATEX
-Presión máxima de explosión	-Medidas para evitar la ignición de las fuentes de ignición
-Constante de explosividad (Kst)	6.1.2. Medidas de protección: medidas para limitar los efectos de las explosiones
-Resistividad eléctrica en capa	6.1.3. Control de procesos:
-Concentración límite de oxígeno	- Órganos móviles (rodamientos, cojinetes, poleas, correas...)
-Susceptibilidad térmica	- Otras fuentes de ignición (presencia de impurezas metálicas, descargas electrostáticas, ...)
5. Evaluación de riesgos (sistema/metodología empleados y presentación de resultados)	6.1.4. Sistemas de detección, medición y mando para la protección y prevención contra explosiones
5.1. Descripción del lugar donde pueden aparecer ATEX, contemplando funcionamiento normal, operaciones de puesta en marcha/parada, limpieza y posibles disfunciones	6.2. MEDIDAS ORGANIZATIVAS: implantación, seguimiento y control
5.2. Identificación de las situaciones de peligro (ATEX), de las condiciones de proceso que pueden generar ATEX y determinación de las posibles fuentes de escape	6.2.1. Información y formación a los trabajadores (metodología, contenido, duración, frecuencia de impartición, ...)
5.3. Determinación de la probabilidad de explosión por existencia de ATEX	6.2.2. Restricción del acceso a la zona de riesgo de trabajadores no autorizados
5.4. Clasificación de las áreas o lugares de trabajo dónde se pueden formar atmósferas explosivas en zonas:	6.2.3. Señalización
- Zonas con riesgo de incendio y explosión debido a la presencia de gases, vapores o nieblas inflamables.	6.2.4. Procedimientos de trabajo, normas de seguridad, permisos de trabajo,...
- Zonas con riesgo de incendio y explosión debido a la presencia de polvos combustibles.	
5.5. Distinción entre el interior de partes de instalación y su entorno	

6.2.5. Formularios: permisos de trabajo con calor, instrucciones de limpieza, revisiones e inspecciones de seguridad,...

6.2.6. Trabajos de mantenimiento, control y comprobación

6.2.7. Lista de equipos de trabajo móviles y regulación de utilización en áreas de riesgo

6.2.8. Disposiciones para las medidas de emergencia

6.2.9. Gestión del cambio

7. Planificación, realización y coordinación de las medidas de protección contra explosiones

7.1. PLANIFICACIÓN Y REALIZACIÓN

7.1.1. Responsable de la aplicación de las medidas

7.1.2. Planificación temporal: inspecciones y observación de tareas

7.1.3. Control de su eficacia:

-Presión estática de activación

-Presión reducida de explosión

-Normas de diseño, códigos de diseño de reconocido prestigio

7.2. COORDINACIÓN DE ACTIVIDADES

7.2.1. Descripción de las empresas que concurren

7.2.2. Diferenciación entre empresario principal y empresario titular

7.2.3. Compromiso relativo al deber de cooperación

7.2.4. Coordinación de las medidas de prevención /protección

8. ANEXO/s

8.1. Declaraciones CE de conformidad

8.2. Evaluación de la idoneidad de los equipos previamente instalados

8.3. Fichas de datos de seguridad

8.4. Instrucciones de funcionamiento de:

8.5. Equipos eléctricos/no eléctricos

8.6. Instrumentación de control y medición

8.7. Información complementaria

8.8. Otros: Planes de mantenimiento,...

2.2. FUNDAMENTOS DE LA CLASIFICACIÓN EN ZONAS Y

DEFINICIONES:

El principio o fundamento de la clasificación en zonas es establecer unos niveles de probabilidad de generación y existencia a lo largo del tiempo de atmósferas explosivas, lo que en realidad constituye una herramienta fundamental del análisis de riesgos entendido en su sentido más genérico, que es el de valorar la probabilidad del suceso y sus consecuencias.

En cada área de la planta, la probabilidad de explosión es el producto obtenido al multiplicar la probabilidad de aparición de una atmósfera potencialmente inflamable por la probabilidad de aparición de una fuente de ignición. Evitando o minimizando los dos factores se puede conseguir reducir a valores aceptables la probabilidad de explosión.

El criterio de seguridad habitualmente seguido en instalaciones ATEX es que la probabilidad de coincidencia de la presencia de una atmósfera explosiva y de un fallo en el modo de protección que conduzca a la aparición de una manifestación energética que inflame la mezcla circundante, ha de ser la correspondiente a un valor de 10^{-12} o menor.

A continuación, se muestran una serie de definiciones que resultan útiles en la clasificación de zonas:

→ Definiciones:

- **Atmósfera de gas explosiva:** mezcla de una sustancia inflamable en estado de gas o vapor con el aire, en condiciones atmosféricas, en la que después de la ignición, la combustión se propaga a toda la mezcla no consumida.
- **Atmósfera pulverulenta explosiva:** es una mezcla con aire en condiciones atmosféricas de sustancias inflamables en forma de polvo o fibras en las cuales, tras una ignición, la combustión se expande hacia el exterior utilizando la mezcla no consumida.
- **Concentración mínima explosiva (CME):** límite inferior de las mezclas de polvo y aire, a partir de la cual es posible la propagación de una llama y el desarrollo de una explosión.
- **Condiciones anormales:** son disfunciones inesperadas en el proceso que ocurren de forma infrecuente (por ejemplo: fallos en partes del propio aparato o conectadas a él, fallos en filtros de material, fallos en conexiones flexibles, roturas en sacos de productos, escapes por sobrepresión, etc.)

- **Condiciones normales de explotación:** es la utilización de las instalaciones de acuerdo con sus especificaciones técnicas de funcionamiento.
- **Densidad relativa de un gas o vapor:** es la relación entre la densidad de un gas o de un vapor y la densidad del aire en las mismas condiciones de presión y temperatura (la del aire es 1,0).
- **Emplazamiento peligroso:** es un espacio en el que una atmósfera explosiva está o puede estar presumiblemente presente en una cuantía tal, como para requerir precauciones especiales en la construcción, instalación y utilización de aparatos.
- **Emplazamientos de Clase I:** lugares en los que hay o puede haber gases, vapores o nieblas en cantidad suficiente para producir atmósfera explosiva o inflamable. Son ejemplos las estaciones de servicio, las cabinas de pintura, los emplazamientos con tanques o recipientes abiertos que contengan líquidos inflamables y, en general, las instalaciones donde se produzcan, manipulen, almacenen o se consuman gases inflamables.
- **Emplazamientos de Clase II:** aquellos en los que el riesgo se debe a la presencia de polvo combustible. Son ejemplos las plantas de manipulación y almacenamiento de cereales, las salas que contienen equipos de proceso (molinos, pulverizadores, mezcladoras, base y cúpula de elevadores, colectores, etc.), las plantas de pulverización y utilización de carbón, los almacenes donde permanecen o se manipulan sacos o contenedores de materiales productores de polvo, etc.
- **Emplazamientos de Clase III:** antigua denominación para aquellos lugares en los que el riesgo se debe a la presencia de fibras o materiales volátiles fácilmente inflamables. Entre estos emplazamientos se encuentran algunas zonas de las plantas textiles de rayón, algodón, etc., plantas desmotadoras de algodón, las plantas de procesado de lino, los talleres de confección, las carpinterías y en general, los establecimientos e industrias que presentan riesgos análogos. Actualmente se asimilan a emplazamientos de Clase II.
- **Energía Mínima de Inflamación (EMI):** es la menor energía que, a partir de una descarga capacitiva, inicia la explosión de una mezcla gaseosa o de polvo en el aire.

Procedimientos, materiales y métodos

- **Envolvente (de un equipo o sistema de protección):** todas las paredes incluyendo puertas, tapas, entrada de cables, varillas, ejes y mangos, que contribuyen a la protección del equipo o al sistema de protección y/o sus grados de protección (IP) de los aparatos eléctricos.
- **Explosión:** es una reacción brusca de oxidación o de descomposición, que produce un incremento de temperatura, de presión, o de los dos simultáneamente.
- **Extensión de la zona:** distancia en cualquier dirección desde el punto en que se produce la fuente de escape hasta el lugar donde el peligro asociado a tal zona se considere que no existe.
- **Fuente de escape de gas:** es un punto o lugar desde el cual se puede escapar a la atmósfera gas, vapor o líquido inflamable de tal forma que se pueda generar una atmósfera de gas explosiva.
- **Fuente de escape de polvo:** es un punto o localización por donde el polvo puede escapar y levantarse, por lo que se puede formar una mezcla explosiva de polvo/aire. Dependiendo de las circunstancias, no toda fuente de escape producirá necesariamente una mezcla explosiva polvo/aire. Pero tiene que tenerse en cuenta, ya que una fuente difusa o pequeña con el tiempo es capaz de producir una capa de polvo potencialmente peligrosa.
- **Funcionamiento normal:** es la situación que se produce cuando el equipo de proceso opera dentro de los parámetros de diseño.
- **Gas o vapor inflamables:** es un gas o vapor que mezclado con el aire en ciertas proporciones, formará una atmósfera de gas explosiva.
- **Grados de escape:** las fuentes de escape pueden dar lugar a un grado de escape o a la combinación de varios grados de escape. Se definen los grados de escape en función de la duración y frecuencia del escape.
- **Grado de escape continuo:** escape que se produce de forma continua o presumiblemente durante largos períodos o durante cortos períodos pero muy frecuentes.
- **Grado de escape primario:** escape que se produce presumiblemente de forma periódica u ocasionalmente durante el funcionamiento normal.

Procedimientos, materiales y métodos

- **Grado de escape secundario:** escape que no se prevé en funcionamiento normal y si se produce es probable que ocurra infrecuentemente y en periodos de corta duración.
- **Grado de protección de las envolventes (IP):** clasificación numérica precedida por el símbolo "IP" aplicada a las envolventes de los aparatos eléctricos y no eléctricos para mejorar la protección contra contactos con partes móviles, entrada de cuerpos extraños y entrada perniciososa de agua o líquidos.
- **Intersticio Experimental Máximo de Seguridad (IEMS):** intersticio máximo que es capaz de impedir toda transmisión de la explosión, en un equipo de ensayo normalizado, que dispone de una junta de 25 mm de longitud. Es por tanto, una medida de la sensibilidad a la inflamación por medio de gases calientes originados por la explosión de la misma mezcla en otra cámara.
- **K_G :** Constante característica del gas, producto de la velocidad máxima de aumento de presión y la raíz cúbica del volumen del recinto.
- **K_{max} :** denominación actual de la K_{st} máxima medida experimentalmente en un intervalo amplio de concentraciones.
- **K_{St} :** constante característica de cada tipo de polvo combustible, producto de la velocidad máxima de aumento de presión y la raíz cúbica del volumen del recinto, que se emplea para establecer una clasificación de la explosividad del polvo en cuatro categorías o "clases de explosión" diferentes.
- **Límite Inferior de Explosividad (LIE):** es el límite inferior del intervalo de concentraciones de la sustancia en el aire, para el que la mezcla es explosiva.
- **Límite Superior de Explosividad (LSE):** es el límite superior del intervalo de concentraciones de la sustancias en el aire, para el que la mezcla es explosiva.
- **Líquido inflamable:** es un líquido capaz de producir un vapor inflamable en todas las condiciones de operación previsible.
- **Líquido sobrecalentado:** líquido que se encuentra a presión en un recipiente a una temperatura bastante superior a su temperatura normal de ebullición.
- **Modos de protección:** serie de reglas constructivas de los materiales y equipos eléctricos o no eléctricos de forma tal que puedan ser aptos para su empleo, con seguridad, en una atmósfera explosiva.
- **Niebla inflamable:** son gotas pequeñas de líquido inflamable dispersas en el aire de forma que originen una atmósfera explosiva.

Procedimientos, materiales y métodos

- **Polvo:** pequeñas partículas sólidas que en la atmósfera se depositan bajo su propio peso, pero que pueden permanecer suspendidas en el aire durante algún tiempo.
- **Polvo combustible:** es polvo que puede arder o deflagrar en el aire y formar mezclas explosivas con el aire a presión atmosférica y temperatura normal.
- **Polvo conductor:** polvo cuya resistividad eléctrica es igual o menor de $10^3 \Omega$.
- **Presión máxima de explosión ($P_{m\acute{a}x}$):** máxima sobrepresión obtenida en un recipiente cerrado durante la explosión de una atmósfera explosiva en condiciones de ensayo determinadas.
- **Punto de inflamabilidad o de destello (PD):** es la temperatura más baja del líquido a la que, bajo ciertas condiciones normalizadas, el líquido desprende vapores en cantidad tal que puede originar la formación de una mezcla de vapor/aire inflamable. Es por tanto un parámetro sólo aplicable a sustancias combustibles que en condiciones atmosféricas son líquidos.
- **Punto de ebullición:** es la temperatura de un líquido hirviendo a una presión ambiente de 101,3 kPa (1013 mbar).
- **Sustancia inflamable:** es una sustancia que es autoinflamable o es capaz de producir un gas, vapor, niebla o polvo inflamable.
- **Tasa de escape:** es la cantidad de sustancia inflamable que se emite por unidad de tiempo desde una fuente de escape. Se aplica a gases y vapores.
- **Temperatura de ignición de una atmósfera de gas explosiva:** es la temperatura más baja de una superficie caliente a la cual, bajo condiciones de ensayo especificadas, se produce la ignición de una sustancia inflamable en forma de un gas o vapor mezclado con el aire.
- **Temperatura máxima de servicio:** es la temperatura máxima alcanzada cuando un equipo o sistema de protección está funcionando en las condiciones de operación normal.
- **Temperatura máxima superficial:** es la temperatura máxima alcanzada en servicio, bajo las condiciones más adversas de operación (pero dentro de la tolerancia reconocida), por cualquier parte de la superficie del equipo, sistemas de protección o componentes, que pueden producir la ignición de la atmósfera explosiva circundante, o donde pueda formarse una capa de polvo, teniendo en cuenta su tamaño y posibilidad de convertirse en fuente de ignición.

- **Temperatura mínima de ignición en capa (TMIC):** es la menor temperatura a la que se inicia el proceso de ignición de una muestra de polvo depositada sobre una superficie caliente. Se determina en un ensayo de laboratorio normalizado en el que se comprueba si una fuente de calor presente es capaz o no de iniciar el proceso.
- **Temperatura mínima de inflamación en nube (TMIn) (Polvos):** temperatura mínima a la que se produce la inflamación de una nube de polvo dispersada bajo condiciones de ensayo.
- **Temperatura mínima de inflamación (TMI) (Gases):** temperatura mínima, en función de la concentración, a la que se inicia el proceso de inflamación. También se denomina Temperatura de Ignición.
- **Tensión de vapor:** es la presión existente cuando un sólido o líquido está en equilibrio con su propio vapor. Es función de la sustancia y de la temperatura.
- **Velocidad máxima de aumento de presión $((dP/dt)_{máx})$:** valor máximo del incremento de presión por unidad de tiempo, obtenido en un recipiente cerrado durante las explosiones de todas las atmósferas explosivas en el rango de explosividad de la sustancia combustible, en condiciones de ensayo determinadas.
- **Ventilación:** es el movimiento del aire y su renovación por aire fresco originado por el viento, por el gradiente de temperatura o por medios artificiales (por ejemplo ventiladores o extractores).
- **Zona no clasificada:** área en la cual el gas inflamable o el polvo combustible no debe estar presente en una cantidad suficiente que permita la formación de mezclas explosivas significativas ni capas de polvo combustibles.
- **Zonas:** los emplazamientos peligrosos se clasifican en zonas basándose en la frecuencia de aparición y en la duración de la presencia de una atmósfera explosiva:
- **Zona 0:** es un emplazamiento en el que la atmósfera de gas explosiva está presente de modo permanente, o por un espacio de tiempo prolongado, o frecuentemente.
- **Zona 1:** emplazamiento en el que cabe contar, en condiciones normales de funcionamiento, con la formación ocasional de una atmósfera de gas explosiva.

- **Zona 2:** emplazamiento en el que no cabe contar, en condiciones normales de funcionamiento, con la formación de atmósfera explosiva de gas, o en el que en caso de formarse, dicha atmósfera sólo subsiste por espacios de tiempo muy breves.
- **Zona 20:** área de trabajo en la que una atmósfera explosiva en forma de nube de polvo combustible en aire está presente de forma permanente, o por un período de tiempo prolongado, o con frecuencia.
- **Zona 21:** área de trabajo en la que es probable la formación ocasional, en condiciones normales de funcionamiento, de una atmósfera explosiva en forma de nube de polvo combustible en aire.
- **Zona 22:** área de trabajo en la que no es probable, en condiciones normales de funcionamiento, la formación de una atmósfera explosiva en forma de una nube de polvo combustible en el aire o en la que, en caso de formarse, dicha atmósfera explosiva sólo permanece durante un breve período de tiempo.

2.3. MÉTODO DE CLASIFICACIÓN DE ZONAS PARA GASES Y VAPORES:

Para la clasificación en zonas existe una norma de referencia, la UNE-EN 60079-10. El procedimiento puede dividirse en las siguientes etapas o pasos:

a) Identificación de los emplazamientos:

Se identifican los emplazamientos y sus distintas características.

b) Identificación de las sustancias inflamables:

Se identifican todas las sustancias inflamables presentes y sus características significativas.

c) Identificación de las fuentes de escape:

Se identifican las fuentes de escape y se verifica si existe la posibilidad de eliminarlas o limitar lo más posible la cuantía del escape.

d) Grado de escape:

Para cada fuente de escape se establece la frecuencia y duración (grado de escape) de emisión de sustancias inflamables y se comprueba la posibilidad de eliminar o limitar lo más posible los escapes de grado continuo y de grado primario, o al menos se comprueba si se pueden reducir los caudales.

e) Análisis de las influencias de todos los escapes:

Se analizan las influencias de todos los escapes sobre la clasificación del lugar considerando su grado y teniendo en cuenta especialmente las partes de la instalación

con elevada concentración de fuentes de escape, que podrían dar lugar a emisiones simultáneas e influenciarse recíprocamente.

f) Cálculo de la tasa de escape:

Para cada fuente de escape se calcula o estima la tasa de escape, siempre tomando precauciones del lado de la seguridad.

g) Definición del grado y la disponibilidad:

Para cada lugar se definen los valores de referencia de la temperatura ambiente y las características de la ventilación (grado y disponibilidad).

h) Determinación del tipo de zona peligrosa:

Para cada fuente de escape se determina el tipo de zona peligrosa.

i) Cálculo de la extensión de la zona:

Para cada fuente de escape se calcula la extensión de la zona.

j) Clasificación del lugar peligroso:

La clasificación del lugar peligroso se obtiene del conjunto de las zonas peligrosas individuales determinadas como se indica en los puntos que veremos a continuación.

2.3.1. Caracterización del escape:

Las sustancias inflamables pueden escapar de los sistemas de contención de modo diverso en relación con el estado (gas o vapor; líquido, que apenas se evapora durante el escape; líquido o gas licuado, que se evapora durante el escape) y la velocidad de emisión (baja o alta).

Los gases y vapores emitidos tienden a difundirse en el aire hasta ocupar todo el espacio disponible.

La emisión de gas o vapor a baja velocidad forma un penacho; las moléculas del gas o vapor tienen una baja cantidad de movimiento, por lo que se alejan de la fuente de escape y se diluyen en el aire, bien por difusión o bien por dilución turbulenta, según la velocidad relativa del aire en la zona del escape.

El penacho toma la dirección del viento, o en ausencia de viento, sube o baja según la densidad relativa con respecto al aire de los gases o vapores.

La emisión de gas o vapor a alta velocidad forma un chorro que se acaba diluyendo en el aire únicamente por transferencia de cantidad de movimiento (masa x velocidad); inicialmente el chorro es dominante respecto a la influencia del aire y toma una forma cónica en la dirección de emisión, pero a medida que las moléculas del gas o

vapor se alejan de la fuente de escape pierden velocidad, se van diluyendo en el aire, y la dirección del chorro sufre la influencia de la dirección del aire. La densidad relativa con respecto al aire de los gases o vapores, cuando el chorro ha perdido velocidad, tiene poca influencia ya que se encuentran mezclados en el aire con una baja concentración. La dilución de los gases emitidos en forma de chorro depende de la velocidad de salida. Por ejemplo, a igualdad de caudales, los escapes a velocidades inferiores a la del sonido generalmente requieren un recorrido más largo antes de que la concentración descienda por debajo del LIE, que los escapes con velocidades superiores a la del sonido ($1225 \text{ Km/h} = 340 \text{ m/s}$ aproximadamente en el aire a 15°C y al nivel del mar). La dilución de los gases emitidos en forma de chorro depende también de la forma del orificio de salida (orificio circular, orificio lineal, u orificio radial); a igualdad de caudales, los escapes por un orificio de forma plana (fisura) generalmente requieren un recorrido más largo que los escapes por un orificio de forma circular antes de que la concentración descienda por debajo del LIE.

La emisión de un líquido inflamable se evapora dependiendo de sus características y de la diferencia entre las condiciones de presión y temperatura en las que se encontraba en el interior del sistema de contención respecto de las del ambiente.

Si el líquido sale a una temperatura inferior a la temperatura de ebullición correspondiente a la presión ordinaria del ambiente, el caudal de evaporación es pequeño; el líquido precipita formando un charco en el terreno desde donde continuará evaporándose.

Si la sustancia en el interior del sistema de contención está en estado líquido por la presión, o sale a una temperatura superior a la de ebullición correspondiente a la presión ordinaria del ambiente, en el punto de escape sufre en parte una nebulización y, principalmente, una vaporización repentina e instantánea.

La parte de líquido que no se evapora o nebuliza en la emisión, va a formar un charco desde el que se continuará evaporando.

Cuando la velocidad de salida del líquido desde su sistema de contención es pequeña o la fuente de escape es amplia, el charco se forma sobre el suelo debajo del punto de escape; cuando la velocidad de salida es grande (presión interna elevada) y la fuente de escape no es muy amplia, el líquido sale rociado y puede recorrer una cierta distancia antes de caer a tierra y formar un charco. En estos casos se precisa una especial atención para definir la extensión de la zona peligrosa en el entorno del charco.

Procedimientos, materiales y métodos

Si el líquido sale a una temperatura superior a su temperatura de ignición, en contacto con la atmósfera se autoinflama originando un peligro de incendio más que de explosión, generando lo que se denomina un dardo de fuego cuando el líquido es emitido a alta velocidad.

Los gases que en el interior de su sistema de contención se encuentran en estado líquido por su baja temperatura (gases refrigerados), cuando son emitidos, se evaporan absorbiendo calor del ambiente; la masa se enfría y esto puede dar origen a nieblas y fenómenos muy complejos de cambio de estado, antes de la completa evaporación.

En la tabla 2.1, se muestra a modo de resumen las distintas modalidades de escape:

Fluido emitido	Modalidad de escape	
	Velocidad de emisión y cantidad de movimiento relativa	Modalidad de dispersión
Gas o vapor	Alta	Chorro que se mezcla con el aire
	Baja	Neblina de gas o vapor
Líquido que no se evapora en la emisión	Alta	Chorro de líquido que es lanzado lejos y al caer forma un charco distante del punto de emisión, desde donde se produce una lenta evaporación
	Baja	Hilillo o gotas que caen al suelo y forman un charco, desde el que se produce la evaporación
Líquido que se evapora en la emisión	Alta	Chorro de vapor y niebla que se evapora durante la caída al suelo
	Baja	Rastro de líquido en evaporación durante la caída y que forma un charco, desde el que se produce una rápida evaporación

Tabla 2.1 Modalidades de escape

→ ESTIMACIÓN DE LAS DIMENSIONES DE LOS ORIFICIOS DE ESCAPE DEBIDOS A FALLOS.

La estimación de las dimensiones de los orificios que se presentan en caso de fallo de componentes de la instalación es de difícil valoración.

Las dimensiones mostradas a continuación son estimaciones, pero a pesar de ello son útiles para hacer valoraciones de escapes. En algún caso se da una sola dimensión, en otros casos más de una. Las fuentes de emisión consideradas son:

- bridas
- válvulas
- válvulas de seguridad, discos de seguridad y juntas hidráulicas
- bombas centrífugas
- compresores alternativos
- compresores centrífugos
- conexiones de pequeñas dimensiones
- puntos de drenaje y de toma de muestras

Para las juntas de estanqueidad sobre los ejes, el área puede definirse tomando un orificio anular. Generalmente este intersticio es considerado proporcional al cuadrado del diámetro.

a) **Bridas**

Para definir las dimensiones del orificio de emisión, se considera el desgaste de la junta. En la práctica industrial, el orificio se define considerando las dimensiones de la arandela, el tipo y el espesor de la junta. Los principales tipos de bridas son aquellas con:

– junta de fibra comprimida: $2,5 \text{ mm}^2$ normalmente y hasta 1 mm de espesor multiplicado por la longitud a lo largo de toda la sección de junta en un fallo grave.

– junta en espiral: $0,25 \text{ mm}^2$ normalmente y hasta $0,05 \text{ mm}$ de espesor multiplicado por la longitud a lo largo de toda la sección de la junta en un fallo grave.

– junta en anillo metal sobre metal: $0,1 \text{ mm}^2$ y hasta $0,5 \text{ mm}^2$ en un fallo grave.

b) **Válvulas**

Para definir las dimensiones de orificio de emisión, se considera la emisión por el vástago. En la práctica industrial, el área del orificio de escape por el vástago, se puede considerar:

– 0,25 mm² para válvulas de uso general sobre tuberías de diámetro igual o menor a 150 mm;

– 2,5 mm² para válvulas de uso general sobre tuberías de diámetro mayor a 150 mm y para válvulas con servicio peligroso sobre tuberías de cualquier diámetro.

c) Válvulas de seguridad, discos de seguridad y juntas hidráulicas

Las válvulas de seguridad, los discos de seguridad y las juntas hidráulicas son dispositivos de seguridad aptos para evitar la superación de la presión nominal durante el funcionamiento ordinario de la instalación para la protección de recipientes y tuberías.

Cuando se puedan excluir de forma razonada las anomalías de operación (errores de maniobra, aportes de calor) la apertura de las válvulas de seguridad, la rotura de los discos de seguridad y la superación de la presión de las juntas hidráulicas se pueden considerar irrelevantes a fines de la clasificación de los lugares en objeto.

Cuando no puedan ser excluidas tales anomalías, deben ser consideradas escapes de grado secundario, sólo si la valoración de la probabilidad de presencia de atmósfera explosiva debida a su apertura es inferior a 10⁻⁵ en un año.

En ausencia de informaciones más precisas, los escapes posibles deben ser considerados generalmente de grado primario y tomar un área del orificio de:

– para las válvulas de seguridad sin junta entre asiento y obturador, 1 mm² con presión del sistema de contención muy baja, 0,25 mm² con presión del sistema de contención muy alta, variable entre 1 mm² y 0,25 mm² para presiones intermedias.

– para las válvulas de seguridad con junta entre asiento y obturador o cuando esté insertado sobre la tubería de descarga de la válvula de seguridad un sistema de sifón con líquido que permita revelar eventuales fugas, 0,25 mm².

– para las juntas hidráulicas el área del orificio debe valorarse caso por caso siendo los sistemas muy diferentes entre ellos.

d) Bombas centrífugas con juntas mecánicas de estanqueidad

Para definir las dimensiones del orificio de emisión, se considera la emisión por la junta. La rotura de una junta mecánica puede ser debida a:

– instalación defectuosa

– rotura o agrietado (por ingreso de cuerpos extraños, vibraciones, etc.).

Por instalación defectuosa, el área del orificio de emisión está generalmente definida, con relación al diámetro del eje, como sigue:

$$A = \pi * l * d$$

Expresión 2.1

donde:

A = área del orificio anular de emisión, en mm².

l = altura del intersticio (espesor del orificio anular), en mm.

d = diámetro del árbol, en mm.

Cuando sobre la junta se instala una abrazadera para el control del flujo de salida, el área del orificio puede reducirse en un factor variable entre 3 y 5.

Para una bomba, con eje de diámetro d = 25 mm, el área del orificio puede tomarse como:

– 25 mm² con junta mecánica sin la abrazadera de control del flujo en salida.

– 5 mm² con junta mecánica provista de abrazadera de control del flujo en salida.

Para bombas con eje de otras dimensiones, el área del orificio puede ser proporcional al diámetro.

e) Compresores alternativos

Para definir las dimensiones del orificio de emisión, se consideran tanto las emisiones por las juntas, como las emisiones por otros puntos de las válvulas.

Para los diferentes puntos de posible emisión, el área del orificio tiende a estar en el intervalo entre 1 y 5 mm², por lo que generalmente se puede tomar el valor de 2,5 mm².

f) Compresores centrífugos

Para definir las dimensiones del orificio de emisión, se considera la emisión por las juntas.

La rotura de una junta puede deberse a:

– instalación defectuosa

– rotura o agrietado (por ingreso de cuerpos extraños, vibraciones, etc.)

Para un compresor con eje de diámetro d = 150 mm el área del orificio se puede tomar como se indica a continuación:

Por instalación defectuosa:

– 250 mm² con junta de laberinto

– 50 mm² con junta de anillo flotante

Para compresores con eje de otras dimensiones el área del orificio puede ser proporcional al diámetro.

Por rotura o agrietado:

- 5 mm² con junta de laberinto
- 1 mm² con junta de anillo flotante

Para compresores con eje de otras dimensiones el área del orificio puede ser proporcional al diámetro.

g) Conexiones de pequeñas dimensiones

Las conexiones para la unión de la instrumentación de proceso son ejemplos típicos de conexiones de pequeñas dimensiones.

Normalmente el fallo empieza con un orificio pequeño y, sólo si no se interviene, alcanza las dimensiones de la rotura completa del tubo. Por tanto, cuando la rotura completa se considera improbable porque está prevista una intervención oportuna o por otros motivos válidos, pueden considerarse orificios más pequeños entre 0,1 y 1 mm² y tomando un valor medio de 0,25 mm².

h) Puntos de drenaje y de toma de muestras

Los puntos de drenaje están constituidos generalmente por válvulas (manuales o de cierre automático).

Los puntos de toma de muestras pueden ser:

- de dosis predeterminadas
- de circuito cerrado
- de circuito abierto

Tanto para los puntos de drenaje, como para los puntos de toma de muestras se considera generalmente la fuga de la válvula de interceptación. La fuga puede ser excluida cuando se prevea doble válvula de interceptación, una válvula más una junta ciega o un tapón, o para tomar muestras de dosis predeterminadas cuando la cantidad sacada es de pocos cm³.

Para los puntos de toma de muestras en circuito cerrado, generalmente pueden no considerarse los escapes durante la toma de muestras; para los puntos de toma de muestras en circuito abierto en cambio, dichos escapes se deben considerar en general (escapes de grado primario).

Procedimientos, materiales y métodos

En los casos en los que no pueda ser razonablemente excluida la posibilidad de que la válvula de drenaje o de toma de muestras sea dejada o se quede abierta, para definir las dimensiones del orificio se considera la válvula completamente abierta.

***Nota:** El diámetro típico de escape de los puntos de toma de muestras es 20 mm. El diámetro típico de los puntos de drenaje varía generalmente entre 15, 25, 40 y 50 mm.

Para la fuga se pueden considerar orificios más pequeños; aproximadamente 1/10 del diámetro anteriormente indicado.

→ TASA DE ESCAPE:

Como ya se ha dicho, una vez evaluado el grado de escape, se debe determinar la cuantía del mismo, para evaluar la extensión de la zona afectada. En cada caso se debe evaluar la tasa de escape.

Por ejemplo, en el caso de un producto contenido en el interior de un proceso, la tasa de escape dependerá de la presión y forma de la fuente de escape. Sin embargo, en el caso de la superficie de un líquido al aire libre, la tasa de escape dependerá principalmente de la superficie y de la temperatura.

Algunos factores que se deben considerar son:

- Geometría de la fuente de escape: fuga, superficie abierta, etc.
- Velocidad del escape: Para una fuente de escape dada, la tasa de escape aumenta con la velocidad de éste.

En el caso de un producto contenido en el interior de un equipo de proceso, la velocidad de escape depende de la presión y de la geometría de la fuente de escape y de su dispersión. El gas y vapor procedente de una fuga a alta velocidad se diluirán más que los procedentes de una fuga a baja velocidad.

- Concentración: la concentración de un producto aumenta la tasa de escape.
- Volatilidad de un líquido inflamable: depende de la tensión de vapor; se puede usar como orientación el punto de inflamabilidad. En general, si la temperatura del proceso está por debajo de la de inflamabilidad, no puede existir atmósfera explosiva.
- Temperatura de un líquido: la tasa de escape aumenta con la temperatura, ya que aumenta la tensión de vapor en la superficie del líquido.

Para el cálculo de las tasas de escape se ha de partir de la expresión general para determinar la masa que es emitida a través de un orificio o tobera:

$$G = C_d a P [(\delta M/RT)(2/\delta + 1)^{(\delta+1/\delta-1)}]^{0.5}$$

Expresión 2.2

donde:

G = caudal másico de sustancia emitida por el escape (kg/s)

C_d = coeficiente de descarga (valor máximo 0.8)

a = área transversal (m²)

P = presión aguas arriba (N/m²)

δ = relación entre los calores específicos C_p/C_v (1.4 en la mayoría de los gases)

M = masa molecular de la sustancia emitida (g/mol)

R = constante de los gases (8314 J/kmol K)

T = temperatura absoluta (K)

A partir de esta expresión se obtienen fórmulas aplicables a los distintos casos. Se considerarán los tres tipos de escapes característicos en función del estado de la sustancia inflamable: fugas de gas o vapor, fugas de líquido a temperatura inferior a su punto de ebullición y fugas de líquido a temperatura superior a su punto de ebullición.

1. Fugas de gas o vapor:

Se determina el caudal másico del escape, en kg/s, mediante:

$$G = 0.006 a P (M/T)^{0.5}; \text{ si } P > 2 * 10^6 \text{ N/m}^2$$

Expresión 2.3

o mediante:

$$G = 3.95 a [M(P - 10^5)/T]^{0.5} \text{ si } P \leq 2 * 10^6$$

Expresión 2.4

Se puede convertir el caudal másico en caudal de escape en volumen, en m³/s, mediante:

$$Q = 0.082 GT/M$$

Expresión 2.5

Se puede calcular la extensión X, en m, mediante la siguiente expresión:

$$X = 2.1 * 10^3 [G/LIE^2 M^{1.5} T^{0.5}]^{0.5} \text{ si } P > 2 * 10^6 \text{ N/m}^2$$

Expresión 2.6

o mediante:

$$X = 10.8 [GT/LIE M]^{0.5} \text{ si } P \leq 2 * 10^6 N/m^2$$

Expresión 2.7

Si el escape está a menos de 1.5 m del suelo, los valores calculados deben multiplicarse por 1.5.

2. Fugas de líquido a temperatura inferior a su punto de ebullición:

Se determina el caudal másico del escape, en kg/s, mediante:

$$G = 1.13 a [\sigma_1 (P - 10^5)]^{0.5}$$

Expresión 2.8

donde:

σ_1 = es la densidad del líquido, en kg/m^3 , en condiciones atmosféricas.

La velocidad del escape del líquido se calcula mediante:

$$v = 1.13 [(P - 10^5) / \sigma_1]^{0.5}$$

Expresión 2.9

Si el chorro de líquido sale formando un ángulo por encima de la horizontal, se calcula la distancia d en m, hasta donde llega el chorro del líquido mediante:

$$d = (2v^2 h / g)^{0.5}$$

Expresión 2.10

siendo v la velocidad de escape del líquido, en m/s, h la altura en m a la que se produce la fuga y g la aceleración de la gravedad, $9.81 m/s^2$.

Si el chorro sale por debajo de la horizontal formando con ella un ángulo ϕ , se calcula la distancia mediante:

$$d = v \cos \phi [(v \sin \phi - 2gh)^{0.5} - v \sin \phi] / g$$

Expresión 2.11

El caudal másico de vapor, G_{vap} , en kg/s, producido por la evaporación del líquido del charco se calcula mediante:

$$G_{vap} = 2 * 10^{-3} A p_v M / R^{0.2}$$

Expresión 2.12

siendo A el área del charco, en m^2 , y p_v la presión de vapor del líquido, expresada como fracción de la presión atmosférica.

La velocidad de vaporización o caudal de escape en volumen Q, en m/s, se calcula mediante:

$$Q = 8.2 A K_g p_v \frac{T}{10^2}$$

Expresión 2.13

donde K_g es el coeficiente de transferencia de masa. Este coeficiente está relacionado con el número de Reynolds, R , mediante la expresión, válida para una velocidad del viento de 2 m/s y una viscosidad cinemática del aire de $1.5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$:

$$K_g = 2 \cdot 10^{-3} / R^{0.2}$$

Expresión 2.14

Si no se conoce p_v , se puede estimar a partir de la temperatura de ebullición del líquido y la temperatura ambiente aplicando los valores de la tabla 2.2:

Tª de ebullición del líquido (°C)	Presión de vapor (fracción de la presión atmosférica)				
	T _{amb} =32°C	T _{amb} =40°C	T _{amb} =60°C	T _{amb} =80°C	T _{amb} =100°C
35	0.96	1	1	1	1
40	0.76	1	1	1	1
50	0.54	0.72	1	1	1
60	0.38	0.56	1	1	1
70	0.26	0.42	0.72	1	1
80	0.18	0.30	0.56	1	1
90	0.13	0.20	0.42	0.72	1
100	0.092	0.14	0.30	0.56	1
110	0.062	0.10	0.20	0.42	0.72
120	0.042	0.072	0.14	0.30	0.56
130	0.028	0.068	0.10	0.20	0.42
140	0.018	0.027	0.072	0.14	0.30
150	0.010	0.018	0.068	0.10	0.20

Tabla 2.2 Presión de vapor p_v

Se calcula el área del charco formado A (m^2) mediante:

$$A = 5.65 \cdot 10^2 a [\sigma_1 (P - 10^5)]^{0.5} R^{0.2} \Delta p M$$

Expresión 2.15

siendo a el área del orificio de fuga, en m^2 , y R el número de Reynolds, que puede determinarse a partir del tamaño del charco mediante la Figura 6 de abajo:

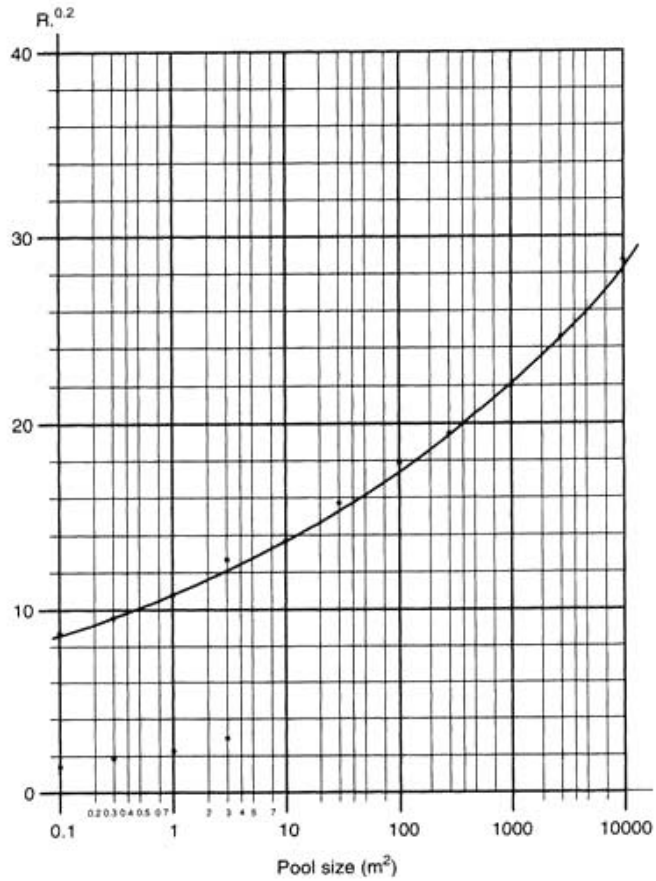


Figura 6

Normalmente se calcula el área para un valor medio de $R^{0.2}$ de 1.6. Con el valor del área obtenido se determina $R^{0.2}$ a partir de la Figura 6 anterior y el nuevo valor se utiliza para volver a calcular y ajustar el área.

Se calcula la extensión, en m, mediante:

$$X = [5.8 \Lambda^{0.5} \Delta p T / 10^2 L I E g R^{0.2}]^{1.14}$$

Expresión 2.16

El área peligrosa será la que va desde el punto donde se produce el escape hasta el centro del charco en horizontal (d) más el radio del charco (r), más la extensión debida al propio charco (X) alrededor y por encima de éste, según se indica en la figura 7 de abajo.

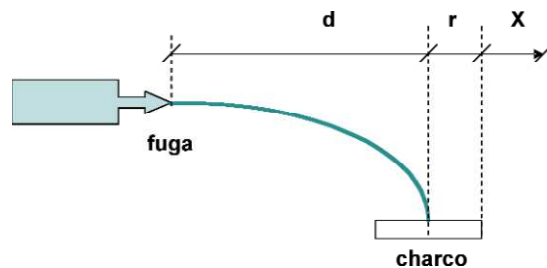


Figura 7

3. Fugas de líquido a temperatura superior a su punto de ebullición:

Se calcula la fracción de masa que sale por la fuga en forma de vapor, M_g , mediante:

$$M_g = (T_l - T_c)C_l/L$$

Expresión 2.17

donde:

T_l = Temperatura del líquido que escapa en K

T_c = Temperatura que proporciona una presión P_c

$P_c = 0.55$ * presión de vapor, en kg/m^2

C_l = Capacidad calorífica del líquido, en kJ/kg K

L = Calor latente de vaporización, en kJ/kg

Se calcula la fracción del líquido que se evapora en la mezcla saliente M_{vap} mediante:

$$M_{vap} = 1 - [(T_l - T_b)/L]C_l$$

Expresión 2.18

donde T_b es la temperatura de ebullición del líquido, en K.

La densidad de la mezcla gas/líquido σ_m , en kg/m^3 , puede obtenerse a partir de la densidad del vapor, σ_v , y la densidad del líquido, σ_l , mediante:

$$\sigma_m = 1/[(M_g/\sigma_v) + ((1 - M_g)/\sigma_l)]$$

Expresión 2.19

El caudal másico de mezcla que se emite por el escape G , en kg/s , se calcula aplicando:

$$G = 0.8 A [2\sigma_m(P_l - P_c)]^{0.5}$$

Expresión 2.20

siendo P_l la presión a la que se encontraba el líquido confinado, en kg/m^2 .

El caudal másico de vapor junto a la fuga a presión atmosférica, G_{vap} , se obtiene a partir de:

$$G_{vap} = [T_l - T_b/\delta]C_l$$

Expresión 2.21

La extensión debida al vapor es:

$$X = 2.10 * 10^3 [G/LIE^2 M^{1.5} T^{0.5}]^{0.5}$$

Expresión 2.22

que se multiplica por 1.5 si el escape está a menos de 1.5 m del suelo.

Para el líquido restante, se supone que se formará un charco a una distancia d , si el chorro sale formando un ángulo por encima de la horizontal:

$$d = (2 v^2 h/g)^{0.5}$$

Expresión 2.23

Si el chorro sale por debajo de la horizontal formando con ella un ángulo ϕ , se calcula la distancia mediante:

$$d = v \cos \phi [(v \sin \phi - 2gh)^{0.5} - v \sin \phi] / g$$

Expresión 2.24

$$d = v \cos \phi [(v \sin \phi - 2gh)^{0.5} - v \sin \phi] / g$$

La vaporización se producirá en cuanto se ponga en contacto con el suelo, calculándose la extensión mediante:

$$X = 10.8 [GT/LIE M]^{0.5}$$

Expresión 2.25

que se multiplica por 1.5 si el escape está a menos de 1.5 m del suelo.

→ TASAS DE ESCAPE EN EQUIPOS (Escapes Estructurales):

Los caudales de escape que se indican en la tabla 2.3 de abajo están basados en datos estadísticos y pueden ser útiles en la industria para hacer valoraciones de emisión. Cuando la instalación esté bien mantenida, o se utilicen componentes con bajas pérdidas, los componentes fungibles sean sustituidos respetando las indicaciones del fabricante y, en cualquier caso, con una periodicidad tal que asegure el mantenimiento en el tiempo de las condiciones previstas, es razonable considerar que las emisiones estructurales puedan ser incluso inferiores a aquellas indicadas en la tabla 2.3 de abajo.

COMPONENTES	TIPOS DE SUSTANCIAS	ESCAPES ESTRUCTURALES kg/s
Conexiones (con juntas o fileteadas), accesorios de tuberías	Gas	$1.9 \cdot 10^{-3}$
	Productos petrolíferos ligeros	$2.1 \cdot 10^{-3}$
	Productos petrolíferos pesados	$5.2 \cdot 10^{-10}$
	Gas y/o productos petrolíferos en plataforma marina (offshore)	$3.0 \cdot 10^{-9}$
Válvulas manuales y automáticas (excluidas las válvulas de seguridad y de salida la atmósfera)	Gas	$5.6 \cdot 10^{-7}$
	Productos petrolíferos ligeros	$1.0 \cdot 10^{-7}$
	Productos petrolíferos pesados	$1.0 \cdot 10^{-9}$
	Gas y/o productos petrolíferos en plataforma marina (offshore)	$1.1 \cdot 10^{-7}$
Venteos, drenajes, purgas y tomamuestras interceptados por válvulas	Gas	$5.6 \cdot 10^{-3}$
	Productos petrolíferos ligeros	$1.8 \cdot 10^{-7}$
	Productos petrolíferos pesados	$5.0 \cdot 10^{-9}$
	Gas y/o productos petrolíferos en plataforma marina (offshore)	$5.1 \cdot 10^{-3}$
Venteos de válvulas de seguridad cerradas, válvulas de salida a la atmósfera cerradas, juntas de combas y compresores, escotillas, bocas de hombre, etc.	Gas	$1.5 \cdot 10^{-3}$
	Productos petrolíferos ligeros	$5.2 \cdot 10^{-7}$
	Productos petrolíferos pesados	$3.0 \cdot 10^{-9}$
	Gas y/o productos petrolíferos en plataforma marina (offshore)	$5.4 \cdot 10^{-7}$

Tabla 2.3

La tabla 2.4 de abajo presenta las pérdidas máximas admisibles para las válvulas de seguridad en instalaciones relativas al gas con junta de metal sobre metal, según norma API 527: 07-1991. Tales pérdidas pueden ser utilizadas para definir las emisiones estructurales considerando que con el tiempo pueden aumentar dependiendo de la influencia externa y de las condiciones de ejercicio.

VÁLVULA DE SEGURIDAD	PRESIÓN NOMINAL MPa	JUNTA EXTERNA Pérdidas máx admisibles kg/s
Válvulas con orificio de descarga de diámetro ≤ 7.8 mm	0.103 – 6.896	1.4*10 ⁻⁷
	10.3	2.2*10 ⁻⁷
	13.0	2.8*10 ⁻⁷
	17.2 – 41.4	3.6*10 ⁻⁷
Válvulas con orificio de descarga de diámetro > 7.8 mm	0.103 – 6.896	7.1*10 ⁻³
	10.3	1.1*10 ⁻⁷
	13.0	1.4*10 ⁻⁷
	17.2 – 41.4	1.8*10 ⁻⁷
	20.7	2.2*10 ⁻⁷
	27.6	2.8*10 ⁻⁷
	38.5	3.6*10 ⁻⁷
	41.4	3.6*10 ⁻⁷

Tabla 2.4

Para las válvulas de seguridad de instalaciones relativas al gas con junta blanda (por ejemplo de teflón), no se admiten pérdidas en el asiento de la válvula.

Las tablas 2.5 y 2.6 de abajo presentan con carácter indicativo los caudales de pérdidas máximas iniciales en la junta externa de los diferentes componentes en lugares de instalación de aparatos alimentados por gas. Estas pérdidas pueden ser utilizadas para definir los escapes estructurales teniendo en consideración que con el tiempo pueden aumentar dependiendo de las influencias externas y de las condiciones de ejercicio.

Procedimientos, materiales y métodos

PÉRDIDAS DE APARATOS ALIMENTADOS POR GAS Datos indicativos	Condiciones ambientales $P_a=101325$ Pa $T_a=20^\circ\text{C}$	JUNTA EXTERNA		
		Pérdida máxima inicial		
Título	Descripción	-	Metano	GLP
		cm^3/h	kg/s	kg/s
Aparatos de utilización de combustibles gaseosos. Dispositivos de interceptación, regulación y seguridad	Para dispositivos multifuncionales: DN hasta 10 mm DN de 10 mm hasta 80 mm	60 120	$1.1 \cdot 10^{-3}$ $2.2 \cdot 10^{-3}$	$3.06 \cdot 10^{-3}$ $6.11 \cdot 10^{-3}$
Aparatos de utilización de combustibles gaseosos. Dispositivos automáticos de interceptación y/o regulación. Válvulas automáticas	DN hasta 10 mm DN de 10 mm hasta 25 mm DN de 25 mm hasta 80 mm DN de 80 mm hasta 150 mm DN más de 150mm	20 40 60 100 150	$3.7 \cdot 10^{-9}$ $7.4 \cdot 10^{-9}$ $1.1 \cdot 10^{-3}$ $1.9 \cdot 10^{-3}$ $2.8 \cdot 10^{-3}$	$1.02 \cdot 10^{-3}$ $2.04 \cdot 10^{-3}$ $3.06 \cdot 10^{-3}$ $5.09 \cdot 10^{-3}$ $7.64 \cdot 10^{-3}$
Aparatos de utilización de combustibles gaseosos	DN hasta 10 mm DN de 10 mm hasta 25 mm DN de 25 mm hasta 80 mm	20 40 60	$3.7 \cdot 10^{-9}$ $7.4 \cdot 10^{-9}$ $1.1 \cdot 10^{-3}$	$1.02 \cdot 10^{-3}$ $2.04 \cdot 10^{-3}$ $3.06 \cdot 10^{-3}$
Quemadores de gas con aire soplado	Potencia térmica ≤ 100 kW Potencia térmica ≤ 350 kW Potencia térmica ≤ 1000 kW Potencia térmica ≤ 2000 kW	70 140 210 280	$1.3 \cdot 10^{-3}$ $2.6 \cdot 10^{-3}$ $3.9 \cdot 10^{-3}$ $5.2 \cdot 10^{-3}$	$3.57 \cdot 10^{-3}$ $7.13 \cdot 10^{-3}$ $1.07 \cdot 10^{-7}$ $1.43 \cdot 10^{-7}$
Generadores de aire caliente a gas con quemador de aire soplado	Potencia térmica ≤ 100 kW Potencia térmica ≤ 350 kW Potencia térmica ≤ 2000 kW	70 140 210	$1.3 \cdot 10^{-3}$ $2.6 \cdot 10^{-3}$ $3.9 \cdot 10^{-3}$	$3.57 \cdot 10^{-3}$ $7.13 \cdot 10^{-3}$ $1.07 \cdot 10^{-7}$
Reguladores de presión para aparatos alimentados con gas canalizado	Reguladores individuales Reguladores múltiples Pérdida por el venteo en caso de dañado de la membrana	30 60 50000	$5.6 \cdot 10^{-9}$ $1.1 \cdot 10^{-3}$ $9.3 \cdot 10^{-6}$	$1.53 \cdot 10^{-3}$ $3.06 \cdot 10^{-3}$ $2.55 \cdot 10^{-6}$
Calderas de agua, de recalentamiento centralizado, a gas con quemador atmosférico y caudal térmico nominal ≤ 70 kW	Fuga total máxima del circuito de gas	140	$2.6 \cdot 10^{-3}$	$7.13 \cdot 10^{-3}$

Tabla 2.5

Procedimientos, materiales y métodos

PÉRDIDAS DE APARATOS ALIMENTADOS POR GAS	Condiciones ambientales $P_a=101325$ Pa $T_a=40^\circ\text{C}$	JUNTA EXTERNA		
		Pérdida máxima inicial		
Datos indicativos		-	Metano	GLP
Título	Descripción	cm ³ /h	kg/s	kg/s
Aparatos de utilización de combustibles gaseosos. Dispositivos de interceptación, regulación y seguridad	Para dispositivos multifuncionales: DN hasta 10 mm DN de 10 mm hasta 80 mm	60 120	$1.04 \cdot 10^{-3}$ $2.08 \cdot 10^{-3}$	$2.86 \cdot 10^{-3}$ $5.72 \cdot 10^{-3}$
Aparatos de utilización de combustibles gaseosos. Dispositivos automáticos de interceptación y/o regulación. Válvulas automáticas	DN hasta 10 mm DN de 10 mm hasta 25 mm DN de 25 mm hasta 80 mm DN de 80 mm hasta 150 mm DN más de 150mm	20 40 60 100 150	$3.47 \cdot 10^{-9}$ $6.94 \cdot 10^{-9}$ $1.04 \cdot 10^{-3}$ $1.73 \cdot 10^{-3}$ $2.60 \cdot 10^{-3}$	$9.54 \cdot 10^{-9}$ $1.91 \cdot 10^{-3}$ $2.86 \cdot 10^{-3}$ $4.77 \cdot 10^{-3}$ $7.15 \cdot 10^{-3}$
Aparatos de utilización de combustibles gaseosos	DN hasta 10 mm DN de 10 mm hasta 25 mm DN de 25 mm hasta 80 mm	20 40 60	$3.47 \cdot 10^{-9}$ $6.94 \cdot 10^{-9}$ $1.04 \cdot 10^{-3}$	$9.54 \cdot 10^{-9}$ $1.91 \cdot 10^{-3}$ $2.86 \cdot 10^{-3}$
Quemadores de gas con aire soplado	Potencia térmica ≤ 100 kW Potencia térmica ≤ 350 kW Potencia térmica ≤ 1000 kW Potencia térmica ≤ 2000 kW	70 140 210 280	$1.21 \cdot 10^{-3}$ $2.43 \cdot 10^{-3}$ $3.64 \cdot 10^{-3}$ $4.86 \cdot 10^{-3}$	$3.34 \cdot 10^{-3}$ $6.68 \cdot 10^{-3}$ $1.00 \cdot 10^{-7}$ $1.34 \cdot 10^{-7}$
Generadores de aire caliente a gas con quemador de aire soplado	Potencia térmica ≤ 100 kW Potencia térmica ≤ 350 kW Potencia térmica ≤ 2000 kW	70 140 210	$1.21 \cdot 10^{-3}$ $2.43 \cdot 10^{-3}$ $3.64 \cdot 10^{-3}$	$3.34 \cdot 10^{-3}$ $6.68 \cdot 10^{-3}$ $1.00 \cdot 10^{-7}$
Reguladores de presión para aparatos alimentados con gas canalizado	Reguladores individuales Reguladores múltiples Pérdida por el venteo en caso de dañado de la membrana	30 60 50000	$5.20 \cdot 10^{-9}$ $1.04 \cdot 10^{-3}$ $8.67 \cdot 10^{-6}$	$1.43 \cdot 10^{-3}$ $2.86 \cdot 10^{-3}$ $2.38 \cdot 10^{-6}$
Calderas de agua, de recalentamiento centralizado, a gas con quemador atmosférico y caudal térmico nominal ≤ 70 kW	Fuga total máxima del circuito de gas	140	$2.43 \cdot 10^{-3}$	$6.68 \cdot 10^{-3}$

Tabla 2.6

→ LÍMITE INFERIOR DE EXPLOSIVIDAD (LIE):

Para una determinada tasa de escape, cuanto menor sea el LIE de una sustancia mayor será la extensión de la zona.

Para las mezclas, incluidas aquellas que contienen inertes (por ejemplo dióxido de carbono o nitrógeno), la comprobación de la inflamabilidad puede efectuarse por medio de la ley de Le Chatelier:

$$LIE_{mezcla} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{x_i}{LIE_i}}$$

Expresión 2.26

donde:

LIE_{mezcla} = límite inferior de explosividad de la mezcla, % volumen

LIE_i = límite inferior de explosividad del componente inflamable i, % volumen

X_i = fracción molar o volumétrica del componente genérico i

2.3.2. Ventilación.

El gas o vapor que se ha escapado a la atmósfera se puede diluir o dispersar en el aire hasta que su concentración sea más baja que el límite inferior de explosión. La ventilación, es decir, el movimiento de aire para reemplazar la atmósfera en un volumen (hipotético) alrededor de la fuente de escape por aire fresco, favorece la dispersión. Caudales apropiados de ventilación pueden también impedir la persistencia de una atmósfera de gas explosiva y por tanto influir en el tipo de zona.

→ PRINCIPALES TIPOS DE VENTILACIÓN:

Se pueden distinguir dos tipos principales de ventilación: ventilación natural y ventilación artificial, que a su vez se divide en general o local.

a) Ventilación natural:

Se trata de un tipo de ventilación que es realizada por el movimiento del aire causado por el viento o los gradientes de temperatura. Al aire libre, la ventilación natural será a menudo suficiente para asegurar la dispersión de la atmósfera explosiva que aparezca en el emplazamiento. La ventilación natural puede ser también eficaz en ciertos interiores (por ejemplo donde el edificio tiene aberturas en las paredes o en el tejado).

b) Ventilación artificial:

El movimiento del aire requerido para la ventilación está proporcionado por medios artificiales, por ejemplo ventiladores y extractores. Aunque la ventilación artificial se aplica principalmente a interiores o espacios cerrados, también puede

utilizarse en instalaciones al aire libre para compensar las restricciones o impedimentos en la ventilación natural debidos a obstáculos.

La ventilación artificial de un emplazamiento puede ser general o local y para ambas, pueden ser apropiados diferentes grados de movimiento y reemplazamiento del aire.

Con el uso de la ventilación artificial es posible realizar:

- Una reducción de la extensión de las zonas.
- Una reducción del tiempo de permanencia de la atmósfera explosiva.
- La prevención de la formación de una atmósfera explosiva.

Un sistema de ventilación artificial diseñado para prevenir explosiones debe satisfacer los siguientes requisitos:

- Debe controlarse y vigilarse su funcionamiento.
- En sistemas de extracción al exterior debe considerarse la clasificación de los alrededores del punto de descarga.
- En la ventilación de emplazamientos peligrosos, el aire debe tomarse de una zona no peligrosa.
- Se debe definir la localización, el grado de escape y su cuantía, antes de determinar el tamaño y diseño del sistema de ventilación.

En la calidad de un sistema de ventilación influirán adicionalmente los siguientes factores:

- Los gases y vapores inflamables normalmente tienen densidades diferentes a la del aire, en consecuencia tenderán a acumularse en el suelo o en el techo de un emplazamiento cerrado, donde es probable que el movimiento de aire sea reducido.
- Las variaciones de la densidad de los gases con la temperatura.
- Los impedimentos y obstáculos pueden reducir e incluso suprimir el movimiento del aire, es decir, dejar sin ventilación ciertas partes del emplazamiento.

→ GRADO DE VENTILACIÓN:

La eficacia de la ventilación en el control de la dispersión y en la persistencia de la atmósfera explosiva dependerá de la intensidad y de la disponibilidad de la ventilación y del diseño del sistema, pudiendo no ser suficiente para prevenir la formación de la atmósfera explosiva, pero sí para impedir su permanencia.

La intensidad o grado de ventilación se clasifica en tres niveles:

VA: Ventilación intensa o alta: Es capaz de reducir de forma prácticamente instantánea la concentración en la fuente de escape obteniéndose una concentración menor que el límite inferior de explosión. Resulta así una zona de pequeña extensión (con un efecto casi despreciable).

VM: Ventilación media: Es capaz de controlar la dispersión, manteniendo una situación estable, con una concentración inferior al LIE más allá de la zona confinada, mientras el escape se está produciendo. Cuando el escape cesa, la atmósfera explosiva no persiste durante mucho tiempo. Esta ventilación puede reducir el tamaño de la zona.

VB: Ventilación baja: Es la que no puede controlar la concentración durante el escape, o cuando éste ha cesado es incapaz de evitar la permanencia de la atmósfera explosiva durante bastante tiempo. Esta ventilación, por lo tanto, no tiene incidencia sobre la concentración del gas.

→ INEFICACIA DE LA VENTILACIÓN. FACTOR f_v :

La existencia de barreras u obstáculos en la circulación del aire de ventilación hace que el número efectivo de renovaciones de aire por unidad de tiempo de un determinado emplazamiento se vea disminuido.

Este hecho se puede expresar por un factor f_v que expresa la ineficacia de la ventilación, y que va desde 1 en la situación ideal de ventilación, hasta 5 en una situación con dificultades en la ventilación (entrada de aire por una rendija y salida por una simple abertura). En apartados posteriores se presentan tablas describiendo los valores de este factor.

→ DISPONIBILIDAD DE LA VENTILACIÓN:

La disponibilidad de la ventilación tiene influencia sobre el tipo de zona que se vaya a considerar, pudiendo establecerse los niveles:

Alta: La ventilación se mantiene de forma prácticamente continua.

Normal: La ventilación se mantiene en operación normal, pudiendo presentarse cortes en la misma poco frecuentes y de corta duración.

Pobre: La ventilación no puede catalogarse de disponibilidad Alta o Normal.

Para valorar la disponibilidad de ventilación se debe tener en cuenta:

Ventilación natural

En emplazamientos en el exterior la evaluación de la ventilación se realiza asumiendo una velocidad del viento de 0,5 m/s, el cual se espera de forma permanente. En este caso la disponibilidad de la ventilación puede considerarse como “normal”.

Ventilación artificial

Al valorar la disponibilidad de la ventilación artificial debe considerarse la fiabilidad del equipo y la disponibilidad de, por ejemplo, soplantes de reserva o redundantes. No obstante, si cuando la ventilación ha fallado se adoptan medidas para evitar el escape de sustancias inflamables (por ejemplo, por parada automática del proceso), entonces la clasificación determinada con la ventilación en servicio no necesita ser modificada, es decir, se supone que la disponibilidad es alta.

→ CLASIFICACIÓN DE ZONAS EN FUNCIÓN DE LA VENTILACIÓN:

En la tabla 2.7 de abajo se presenta y resume un método práctico para clasificar las zonas en función del tipo de escape y del grado y disponibilidad de la ventilación:

VENTILACIÓN	GRADO	VA			VM			VB	
	DISPONIBILIDAD	Alta	Normal	Pobre	Alta	Normal	Pobre		
GRADO DE ESCAPE	CONTINUO	(Zona 0 ED)	(Zona 0 ED)	(Zona 0 ED)					
						Zona 0	Zona 0		
						+	+		
		Sin riesgo	Zona 2	Zona 1	Zona 0	Zona 2	Zona 1	Zona 0	
	PRIMARIO	(Zona 1 ED)	(Zona 1 ED)	(Zona 1 ED)					
						Zona 1	Zona 1		
						+	+	Zona 1	
		Sin riesgo	Zona 2	Zona 2	Zona 1	Zona 2	Zona 2	^o Zona 0	
									Zona 1
SECUNDARIO	(Zona 2 ED)	(Zona 2 ED)							
	Sin riesgo	Sin riesgo	Zona 2	Zona 2	Zona 2	Zona 2	^o Zona 0		

Tabla 2.7

2.3.3. Extensión de las zonas:

Como se ha podido ver en la tabla 2.7, para determinar el tipo de zona es necesario evaluar la intensidad de ventilación a partir del grado de escape. Los métodos desarrollados a continuación permiten la determinación del tipo de zona por:

- La evaluación de la tasa mínima de ventilación requerida para impedir una acumulación significativa de una atmósfera explosiva y la utilización de ésta para calcular un volumen teórico v_z , el cual, con un tiempo estimado de permanencia, t_p , permita la determinación del grado de ventilación.
- La determinación del tipo de zona a partir del grado y la disponibilidad de la ventilación y del grado del escape.

Aunque elementalmente el uso directo es para emplazamientos del interior, los conceptos explicados pueden ser útiles en locales exteriores. A continuación se

exponen los métodos de cálculo para ventilación en el interior de edificios, y para ventilación natural.

→ EMPLAZAMIENTOS EN EL INTERIOR DE EDIFICIOS:

a) Estimación del volumen teórico v_z :

La evaluación del grado de ventilación requiere en primer lugar que se conozca la cuantía máxima de la fuga de gas o vapor de la fuente de escape, a partir del análisis de los equipos de la planta, y de las características del proceso.

El caudal mínimo teórico $Q_{v_{min}}$ de ventilación necesario para diluir un escape dado de una sustancia inflamable hasta una concentración por debajo del límite inferior de explosión se puede calcular por la fórmula:

$$Q_{v_{min}} = \frac{G_{E_{max}}}{k * LIE} * ft$$

Expresión 2.27

donde:

$Q_{v_{min}}$ = caudal mínimo en volumen de aire fresco por segundo (m^3/s);

$G_{E_{max}}$ = la tasa máxima de escape de la fuente (kg/s);

k = un coeficiente de seguridad que mayor el caudal de ventilación, de tal modo que la concentración se diluya hasta k veces por debajo del LIE. Toma los siguientes valores:

$k = 0.25$ (grados de escape continuo y primario)

$k = 0.50$ (grados de escape secundario)

f_t = factor de corrección que tienen en cuenta el efecto de la temperatura ambiente sobre el volumen de la mezcla de atmósfera explosiva. Su expresión es:

$$ft = \frac{T}{293}; \text{ con } T \text{ en Kelvin (K)}$$

Expresión 2.28

LIE es el límite inferior de explosividad. (Masa por unidad de volumen, en kg/m^3). Conocido el LIE en %, puede calcularse en kg/m^3 en condiciones normales de la siguiente manera:

$$LIE(kg/m^3) = \frac{LIE(\%)}{100} * M(g/mol) * \frac{1}{22.4 l_N/mol}$$

Expresión 2.29

siendo M la masa molecular.

Es importante considerar la influencia que tienen las temperaturas diferentes a la temperatura normal en el LIE expresado en (kg/m³). (Se tomará en todos los casos como temperatura normal 20°C). Un aumento de la temperatura supone un aumento de volumen por la relación:

$$\frac{V}{V_n} = \frac{T}{T_n}$$

Expresión 2.30

En condiciones normales, un mol ocupa 22.4 l, pero, según la relación anterior, a una temperatura T, ese mismo mol ocupa $22.4 \cdot \frac{T}{293}$. Esto hace que el LIE en kg/m³ a la temperatura T sea:

$$LIE(kg/m^3) = \frac{LIE(\%)}{100} * M(g/mol) * \frac{1}{22.4 * \frac{T}{293} \frac{l_N}{mol}}$$

Expresión 2.31

Además el LIE en (%) mantiene una relación aproximadamente lineal decreciente con la temperatura, de manera que un aumento de temperatura supone una ligera disminución del LIE, como se puede apreciar en la figura 8 de abajo. No se tendrá en cuenta esta ligera variación en los cálculos.

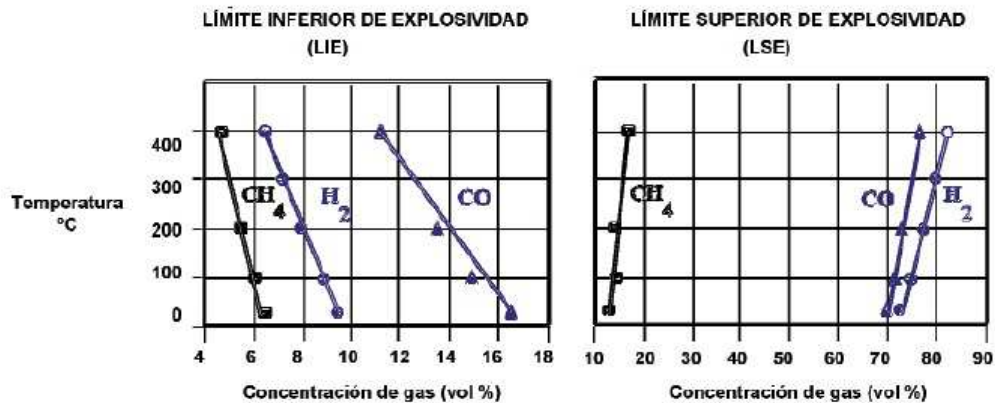


Figura 8

La fórmula para calcular el caudal mínimo teórico se podría entender de acuerdo a la figura 9 de abajo:

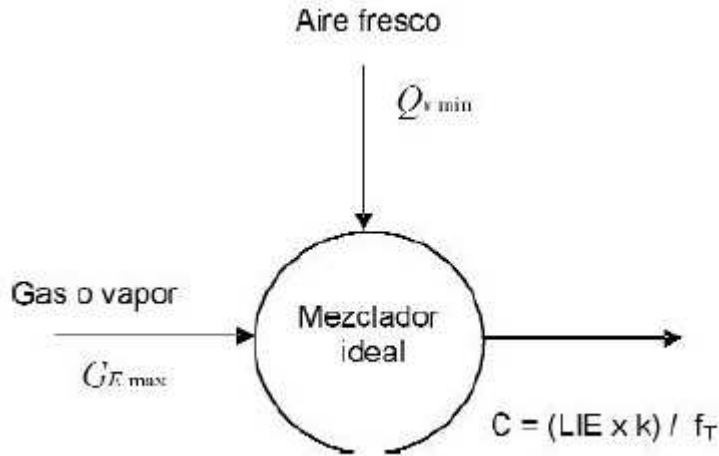


Figura 9

Se pretende calcular el caudal volumétrico mínimo necesario $Q_{v_{min}}$ que se debe aportar, para que al mezclarse con el gas o vapor procedente del escape, dado por el caudal másico $G_{E_{max}}$, la concentración de la mezcla C esté $1/k$ veces por debajo del LIE. Como en la fórmula el LIE se debe introducir en kg/m^3 , se debe tener en cuenta que al aumentar la temperatura el LIE disminuye, razón por la que al LIE se le divide por f_T .

En realidad la fórmula es una aproximación de cara a la seguridad, ya que considera que la concentración de salida C es de sustancia explosiva respecto a aire puro, cuando sin embargo el LIE se encuentra en la literatura como concentración de sustancia explosiva respecto a la mezcla sustancia explosiva + aire. Por ejemplo un LIE del 4% indica que de cada 100 partes en volumen de mezcla, 4 son de sustancia explosiva y 96 de aire. Sin embargo, en las fórmulas cuando se utiliza un LIE del 4% se obliga a que por cada 4 partes de sustancia explosiva haya 100 de aire puro aportado por la ventilación; la introducción de esta aproximación simplifica el proceso de cálculo y además va en el sentido de la seguridad.

Para un volumen total ventilado v_o (m^3), función de las dimensiones del emplazamiento, y para un determinado caudal de ventilación real de la instalación Q_{v_o} (m^3/s), se podría calcular el volumen teórico v_z (m^3) de atmósfera potencialmente explosiva alrededor de la fuente de escape usando la siguiente fórmula:

$$V_z = \frac{Q_{v_{min}}}{Q_{v_o}} * V_o$$

Expresión 2.32

donde se puede ver que:

Procedimientos, materiales y métodos

Si $Q_{v_o} < Q_{v_{min}}$, V_z es mayor que V_o , el caudal real es menor que el mínimo necesario para diluir el escape a unos valores aceptables. En recintos pequeños esta situación puede originar la clasificación de todo el recinto. Cuanto mayor sea Q_{v_o} respecto a $Q_{v_{min}}$ mayor es la dilución del escape, y menor es la zona con atmósfera explosiva alrededor de la fuente.

Cuando haya fuentes de escape múltiples debe determinarse el valor de Q_v min para cada fuente de escape y grado de escape. La tasa de caudal así determinada deberá sumarse de acuerdo con la tabla 2.8 abajo, donde el número de fuentes de escape primarias que se debe utilizar se obtiene aplicando la tabla 2.9 de abajo.

Grado de escape	Acción para $Q_{v_{min}}$
Continuo	Sumar todos los valores de $Q_{v_{min}}$ y aplicar el resultado total en las fórmulas de cálculo
Primario	Sumar el número correspondiente de la 2.9 de los valores de $Q_{v_{min}}$ y aplicar el resultado total en las fórmulas de cálculo
Secundario	Usar sólo el mayor valor de $Q_{v_{min}}$ y aplicarlo en las fórmulas de cálculo

Tabla 2.8

Número de fuentes de escape primarias	Numero de escapes primarios considerables simultáneos (escoger las más desfavorables para la ventilación)
1	1
2	2
3 a 5	3
6 a 9	4
10 a 13	5
14 a 18	6
19 a 23	7
24 a 27	8
28 a 33	9
34 a 39	10
40 a 45	11
46 a 51	12
> 51	12 + 20% (n-51)

Tabla 2.9

El volumen teórico v_z se podría haber expresado también como:

$$V_z = \frac{Q_{v_{min}}}{C}$$

Expresión 2.33

donde C se define como:

$$C = \frac{Qv_o}{V_n}$$

Expresión 2.34

y expresa el número dado de cambios de aire por unidad de tiempo C, función de la ventilación general del emplazamiento.

La fórmula anterior sirve para el caso donde hay una mezcla instantánea y homogénea debido a unas condiciones ideales de movimiento de aire fresco. En la práctica no se dan las citadas condiciones ideales; por ejemplo, ciertas partes del emplazamiento pueden estar mal ventiladas por interposición de obstáculos en la circulación del aire. En consecuencia, la renovación efectiva del aire en el entorno del escape será menor que C, lo que originará un aumento de volumen v_z . Introduciendo el factor f_v , factor que tiene en cuenta esta ineficacia de la ventilación, las fórmulas anteriores quedarían:

$$V_z = \frac{f_v * Qv_{min}}{C}$$

Expresión 2.35

$$V_z = \frac{G_{Emax}}{k * LIE} * f_r * V_o * f_v$$

Expresión 2.36

donde f_v expresa la ineficacia de la ventilación en la dilución de la atmósfera explosiva con un valor que va de $f_v = 1$ (situación ideal de ventilación) a $f_v = 5$ (circulación de aire con dificultades debido a los obstáculos).

Las tablas 2.10 y 2.11 de abajo describen criterios para valorar f_v para ambientes abiertos con ventilación natural y para ambientes cerrados con ventilación natural o con ventilación artificial general.

Factor f_v	Descripción
1	Ambiente abierto con libre circulación del aire y práctica ausencia de impedimentos que puedan reducir la eficacia de mezcla de sustancias inflamables en el volumen afectado por el escape (ej. ambiente con respiraderos a la atmósfera de cisternas de almacenaje, con respiraderos acanalados a lo alto de los edificios o estructuras colindantes)
2	Ambiente abierto con presencia de algún impedimento a la libre circulación del aire que puede reducir de modo poco significativo su capacidad efectiva de dilución de la atmósfera explosiva (ej. ambiente con diferentes estructuras abiertas o parcialmente cerradas, ambientes con depresión poco profunda del terreno)
3	Ambiente abierto con presencia de un número medio de impedimentos a la libre circulación del aire que pueden reducir de modo significativo su capacidad efectiva de dilución de la atmósfera explosiva (ej. ambiente con bastantes estructuras abiertas o parcialmente cerradas, interior de presas de contención de tanques de almacenamiento con dique o terraplén no alto en relación a la distancia del tanque, depresiones de media profundidad en el terreno)
4	Ambiente abierto con presencia de un gran número de impedimentos a la libre circulación del aire que pueden reducir mucho su capacidad efectiva de dilución de la atmósfera explosiva (ej. interior de presas de contención de tanques de almacenamiento con dique o terraplén medianamente alto en relación a la distancia del tanque, depresiones profundas en el terreno que, sin embargo, no pueden ser consideradas fosos)
5	Ambiente abierto con presencia de un grandísimo número de impedimentos a la libre circulación del aire que pueden reducir mucho su capacidad efectiva de dilución de la atmósfera explosiva (ej. ambiente con las fuentes de escape puestas directamente hacia grandes obstáculos, o ambiente con fuentes de escape con una reducidísima cantidad de renovaciones de aire, como puede ser un foso profundo, donde existen verdaderas restricciones al flujo de aire y por tanto considerado generalmente un ambiente cerrado con grado de ventilación bajo)

Tabla 2.10

Factor f_v	Descripción
1	Ambiente cerrado con libre circulación del aire y práctica ausencia de impedimentos que puedan reducir la capacidad efectiva de dilución de la atmósfera explosiva en el volumen afectado por el escape (ej. local con aberturas de ingreso y salida del aire bien distribuidas que permiten una renovación correcta del aire en todas las partes del local o, cuando se trata de ventilación artificial local)
2	Ambiente cerrado con presencia de algún impedimento a la libre circulación del aire que puede reducir de modo poco significativo su capacidad efectiva de dilución de la atmósfera explosiva (ej. local con diferentes estructuras abiertas o parcialmente cerradas)
3	Ambiente cerrado con presencia de un número medio de impedimentos a la libre circulación del aire que pueden reducir de modo significativo su capacidad efectiva de dilución de la atmósfera explosiva (ej. local con bastantes estructuras abiertas o parcialmente cerradas, o local con ventilación no muy correcta)

4	Ambiente cerrado con presencia de un gran número de impedimentos a la libre circulación del aire que pueden reducir mucho su capacidad efectiva de dilución de la atmósfera explosiva (ej. local con un gran número de estructuras abiertas o parcialmente cerradas o local con fuentes de escape con una reducida cantidad de renovaciones de aire, como pueden ser los emplazamientos no muy elevados con gases ligeros o los fosos poco profundos con gases pesados o local con ventilación incorrecta)
5	Ambiente cerrado con presencia de un grandísimo número de impedimentos a la libre circulación del aire que pueden reducir mucho su capacidad efectiva de dilución de la atmósfera explosiva (ej. local con las fuentes de escape puestas directamente hacia grandes obstáculos o local con mala renovación, como lugares a distinto nivel, elevados o fosos, con serias restricciones al flujo de aire)

Tabla 2.11

El volumen v_z representa el límite para el que la concentración de gas o vapor inflamable será 0,25 ó 0,5 veces el LIE, dependiendo del coeficiente de seguridad, k. Esto significa que en los límites del volumen teórico calculado, la concentración de gas o vapor será significativamente inferior al LIE, es decir, habrá un volumen hipotético menor que v_z donde la concentración es mayor que el LIE.

→ EMPLAZAMIENTOS CON VENTILACIÓN NATURAL:

a) Estimación del volumen teórico v_z :

En el caso de recintos al aire libre, incluso vientos de baja velocidad originan un número alto de renovaciones de aire por hora. En la bibliografía se considera como admisible un valor mínimo de velocidad del viento de 0.5 m/s, lo que origina un número de renovaciones $C = 100/h = 0.03/s$. Para calcular el número de renovaciones a partir de una velocidad de viento se considera un hipotético cubo alrededor de la fuente (de más de 15 metros de lado). La disponibilidad con ventilación natural se considera normal.

Se puede calcular el volumen teórico de atmósfera explosiva alrededor de la fuente a partir de:

$$V_z = \frac{Qv_{min}}{0.03} * f_v$$

Expresión 2.37

donde:

$Q_{v_{\min}}$ = el caudal mínimo en volumen de aire fresco por segundo (m^3/s).

0.03 es el número de cambios de aire por segundo.

f_v = expresa la ineficacia de la ventilación en la dilución de la atmósfera explosiva.

Sin embargo, a causa de los diferentes mecanismos de dispersión, este método dará generalmente un volumen sobredimensionado. La dispersión al aire libre es normalmente más rápida.

Para una velocidad del viento v , superior al valor admitido de 0.5 m/s, el número de renovaciones será 0.03/s multiplicado por la relación ($v/0.5$).

→ ESTIMACIÓN DEL TIEMPO DE PERMANENCIA t_p :

El tiempo requerido para que la concentración media descienda desde un valor inicial X_o hasta el LIE dividido entre k , después de que el escape ha terminado puede calcularse por:

$$t_p = \frac{-f_v}{C} * \ln \frac{LIE * k}{X_o}$$

Expresión 2.38

de acuerdo a un modelo de decrecimiento exponencial de la concentración a lo largo del tiempo:

$$LIE * k = X_o * e^{(t_p * \frac{C}{f_v})}$$

Expresión 2.39

donde:

X_o = la concentración inicial de la sustancia inflamable expresada en las mismas unidades que el LIE, es decir en % volumen o en kg/m^3 . En alguna parte de la atmósfera explosiva la concentración de sustancia inflamable puede ser del 100% en volumen (en general solamente muy cerca de la fuente de escape). Sin embargo cuando se calcula t_p los valores apropiados para X_o se deben tomar según el caso particular, considerando entre otros el volumen afectado, la frecuencia y la dirección del escape. En la práctica, parece razonable tomar para X_o valores mayores que el LIE.

C = número de renovaciones de aire fresco por unidad de tiempo.

t_p = se expresa en la misma unidad que se haya tomado para C , por ejemplo, si C es el número de cambios por segundo, el valor de t_p será en segundos.

f_v = el factor que representa la ineficacia de la ventilación ($f_v = 5$, ventilación con entrada de aire a través de una rendija y una simple abertura de descarga; $f_v = 1$, ventilaciones con entrada de aire a través de un techo perforado y con múltiples escapes).

k = un factor de seguridad aplicado a LIE, que se ha descrito anteriormente.

Se observa que la concentración inicial X_0 tardará menos tiempo en alcanzar el LIE x k , cuanto mayor sea el número de renovaciones del emplazamiento (C) y cuantos menos obstáculos existan en la ventilación de la zona (f_v).

El valor numérico obtenido en la fórmula para t_p no constituye por sí mismo un medio cuantitativo para la determinación del tipo de zona. Proporciona una información adicional que es necesario comparar con la escala de tiempo del proceso y la instalación.

→ ESTIMACIÓN DEL GRADO DE VENTILACIÓN:

Un grado de escape continuo origina normalmente una Zona 0, uno de grado primario una Zona 1 y uno de grado secundario una Zona 2. Esto no siempre es exacto porque depende de la eficacia de la ventilación.

En algunos casos el grado y nivel de disponibilidad de la ventilación pueden ser tan altos que en la práctica no hay emplazamiento peligroso. De otro modo, el grado de ventilación puede ser bajo y entonces la zona resultante es de mayor grado que el escape (por ejemplo, una Zona 1 originada por un escape de grado secundario). Esto ocurre cuando el nivel de ventilación es tan bajo que la atmósfera explosiva persiste más tiempo que el que se espera para el grado del escape.

El volumen V_z puede usarse para determinar si el grado de la ventilación se considera alto, medio o bajo.

El tiempo de permanencia t_p , puede utilizarse para decidir qué grado de ventilación se requiere para satisfacer las definiciones de Zona 0, 1 ó 2, y es un parámetro que se debe considerar fundamentalmente si el grado de la ventilación se ha valorado como medio o bajo, ya que da estimación de lo que puede durar una atmósfera explosiva después de haber cesado el escape. Este parámetro no tiene sentido para escapes de grado continuo.

La ventilación puede considerarse alta cuando el volumen v_z es muy pequeño o despreciable. Con la ventilación en servicio puede considerarse que la fuente de escape

no produce una atmósfera explosiva, es decir, que el emplazamiento no es peligroso. Sin embargo habrá una atmósfera explosiva, aunque de una extensión despreciable, cerca de la fuente de escape.

En la práctica la ventilación alta sólo se puede realizar generalmente con sistemas de ventilación artificial local alrededor de la fuga.

El volumen v_z no facilita ninguna indicación del tiempo de duración de la atmósfera explosiva después de que el escape haya cesado. Esto no tiene importancia en el caso de ventilación alta pero es un factor que se debe evaluar si la ventilación es media o baja.

La ventilación considerada como media debería controlar la dispersión del escape de gas o vapor inflamable. Es conveniente que el tiempo que se necesite para dispersar una atmósfera tras cesar el escape sea tal que se cumpla la condición de Zona 1 ó 2 dependiendo de que el grado de escape sea primario o secundario. El tiempo de dispersión aceptable depende de la frecuencia de escape esperada y de la duración de cada uno. El volumen v_z será a menudo menor que el volumen del emplazamiento cerrado. En este caso, puede ser aceptable clasificar como peligrosa sólo una parte del recinto cerrado. En algunos casos el volumen v_z puede ser similar al del local cerrado, dependiendo de sus dimensiones. En este caso, conviene clasificar como emplazamiento peligroso todo el recinto cerrado.

Si no se cumplen los conceptos anteriores conviene considerar la ventilación como baja. Con baja ventilación el volumen v_z será a menudo similar o mayor que el volumen de cualquier local cerrado. Al aire libre generalmente no debe haber ventilación baja, excepto cuando haya obstáculos a la circulación del aire, por ejemplo en fosos.

2.4. MÉTODO DE CLASIFICACIÓN PARA POLVOS:

La norma de referencia para la clasificación de zonas en emplazamientos donde el polvo combustible está o puede estar presente es la prEN 50281-3. El procedimiento general consta de los siguientes pasos:

- a) Identificación de los emplazamientos:

Se identifican los emplazamientos y sus distintas características.

- b) Identificación de las sustancias inflamables:

Se identifican todas las sustancias inflamables presentes y sus características significativas: tamaño de partículas, humedad, resistividad eléctrica, parámetros de inflamabilidad (temperatura mínima de inflamación en capa y en nube, concentración mínima explosiva, energía mínima de inflamación) y explosividad (presión máxima de explosión, k_{max}).

c) Identificación de las fuentes de escape:

Se identifican las fuentes de escape y se verifica si existe la posibilidad de eliminarlas o limitar lo más posible la cuantía del escape.

d) Grado de escape:

Para cada fuente de escape se establece la frecuencia y duración (grado de escape) de emisión de sustancias pulverulentas y se comprueba la posibilidad de eliminar o limitar lo más posible los escapes de grado continuo y de grado primario, o al menos se comprueba si se pueden reducir los caudales.

e) Influencia de las capas de polvo:

Se analiza la influencia de las capas de polvo que se formen o puedan formarse, teniendo en cuenta las características de las operaciones y procedimientos de limpieza y mantenimiento-

f) Determinación del tipo de zona peligrosa:

Para cada fuente de escape se determina el tipo de zona peligrosa

g) Estimación de la extensión de la zona:

Para cada fuente de escape se estima la extensión de la zona.

h) Clasificación del lugar peligroso:

La clasificación del lugar peligroso se obtiene del conjunto de las zonas peligrosas individuales determinadas como se indica en los puntos precedentes.

2.4.1. Definición de las zonas:

Es importante saber, que actualmente aun se pueden encontrar instalaciones que han sido clasificadas de acuerdo a códigos antiguos, los cuales han sido derogados, con lo que se debe comenzar con la siguiente advertencia: todas las clasificaciones de zonas para emplazamientos de Clase II (povos combustibles) basadas en DOS TIPOS DE ZONAS deben considerarse no válidas. La explicación histórica de tales clasificaciones en España reside en que el antiguo Reglamento Electrotécnico (hoy en día modificado) se refería a sólo dos clases de zonas, una para situaciones de polvo en suspensión y otra para capas de polvo, denominadas respectivamente Zona Z y Zona Y.

Esa clasificación también aparecía en normas antiguas internacionales, como la CEI 1241-3. Por su parte, las normas norteamericanas National Electrical Code (NEC) también basaban la clasificación en un esquema de dos niveles de probabilidad de formación de atmósfera explosiva, que denominaban División 1 (sustancia presente en condiciones normales) y División 2 (sólo bajo condición de fallo o avería).

Igualmente, las normas alemanas contemplaban dos tipos de zonas para instalaciones con polvos combustibles: zona 10 y zona 11

Todas estas clasificaciones se considerarán incorrectas y se citan aquí pues aún pueden encontrarse en la bibliografía y en algunas instalaciones ya clasificadas.

La clasificación para zonas por polvos según el enfoque de las nuevas directivas sobre atmósferas explosivas se basa en TRES TIPOS DE ZONAS, zona 20, zona 21 y zona 22, cuyas definiciones pueden encontrarse en puntos anteriores de este proyecto.

De esas definiciones, podemos recordar la correspondiente a zona 20:

Área de trabajo en la que una atmósfera explosiva en forma de nube de polvo combustible en el aire está presente de forma permanente, o por un período de tiempo prolongado o con frecuencia.

y compararla con la que aparece en el documento prenormativo PNE 202004-3 [27], equivalente a la norma IEC 61241-3 [28]:

Área en la que el polvo combustible está presente de forma continua o frecuentemente, durante el funcionamiento normal, en cantidad suficiente como para formar una concentración explosiva con el aire, y/o en la que pueden formarse capas de espesor excesivo e incontrolable.

Según esta última, las capas de espesor excesivo e incontrolable constituyen por sí solas zona 20, mientras que la definición previa, propuesta en esta guía, así como en la directiva ATEX de instalaciones, en el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión y en las normas de origen CEN no se incluye esa referencia a las capas de polvo.

¿Existe una contradicción en estas definiciones? Debe tenerse en cuenta que esta última definición es la que, en principio, está previsto convertir en norma UNE, lo que podría contradecir todo el trabajo normativo de CEN y, por supuesto, el concepto de lo que debe considerarse como zona 20. Conviene, por tanto, analizarlo detenidamente.

El documento PNE 202004-3 establece que “las capas de polvo de espesor no controlable sólo se encuentran en el interior de los equipos, siempre que se hayan tomado medidas adecuadas para evitar su acumulación en el exterior”. Y afirma, al

referirse a las instalaciones que “las capas de polvo en el exterior de los equipos son, en principio de espesor controlable”.

Con estas afirmaciones las dos definiciones convergen, al haber acuerdo en que sólo los interiores de los equipos deben clasificarse como zona 20, pues fuera de ellos no habrá cantidad de producto suficiente como para formar atmósfera explosiva continuamente, o por largos períodos o frecuentemente.

Esto debería ser así pero, desgraciadamente, sigue sin ser cierto en numerosas instalaciones de procesamiento de polvos combustibles, en las que aún pueden observarse fuera de los equipos enormes cantidades de polvo. Y la futura norma termina reconociéndolo, al admitir que “si se forman capas de espesor no controlable (por mal mantenimiento), lo que es inaceptable, darán lugar siempre a zona 20.

Esta posibilidad no está directamente contemplada en las normas CEN, que de forma general consideran sólo zona 20 el interior de los equipos, por lo que no es admisible considerar capas de polvo incontroladas fuera de los equipos. Toda una declaración de lo que no es aceptable por inseguro.

La regla general será, por consiguiente, considerar las capas de polvo como fuentes de escape. Y si existieran cantidades de polvo permanentemente en cantidad suficiente para generar atmósfera explosiva, podrían llegar a considerarse como fuentes de escape de grado continuo. En apartados posteriores se analiza la influencia de las capas de polvo.

Debe tenerse en cuenta que, normalmente, la capa de polvo contiene suficiente cantidad para formar atmósfera explosiva.

Para tener una aproximación del espesor de polvo necesario para que se pueda formar una atmósfera explosiva de una cierta concentración C de polvo en suspensión, se pueden emplear las expresiones de la figura 10 de abajo, que permiten calcular la concentración que alcanzaría el polvo de densidad ρ al resultar dispersado homogéneamente en el recinto que lo contiene, como puede ser una gran sala o zona de trabajo de forma cúbica, o un conducto de forma cilíndrica.

Para un producto pulverulento o granulado con una densidad en masa típica $\rho = 500 \text{ kg/m}^3$, una capa de sólo 1 mm de espesor daría lugar a una concentración de 100 g/m^3 al dispersarse homogéneamente en un recinto (zona de producción, sala de trabajo, etc.) de altura 5 m. Si en lugar de dispersarse en todo el recinto sólo lo hiciera hasta una altura de 1 m sobre el suelo, entonces la concentración sería de 500 g/m^3 .

Si se trata de un conducto de diámetro 0,25 m, una capa de sólo 0,1 mm proporcionaría una concentración superior a 1000 g/m³ en su interior. La ventaja de que el polvo esté depositado en el interior de un conducto es que la atmósfera explosiva se crea sólo dentro del conducto, con lo que se tiene controlada la zona peligrosa. Por el contrario, cuando el polvo sale fuera del conducto o de cualquier equipo y se deposita en el exterior, la atmósfera explosiva se extiende hacia zonas que teóricamente deberían ser seguras.

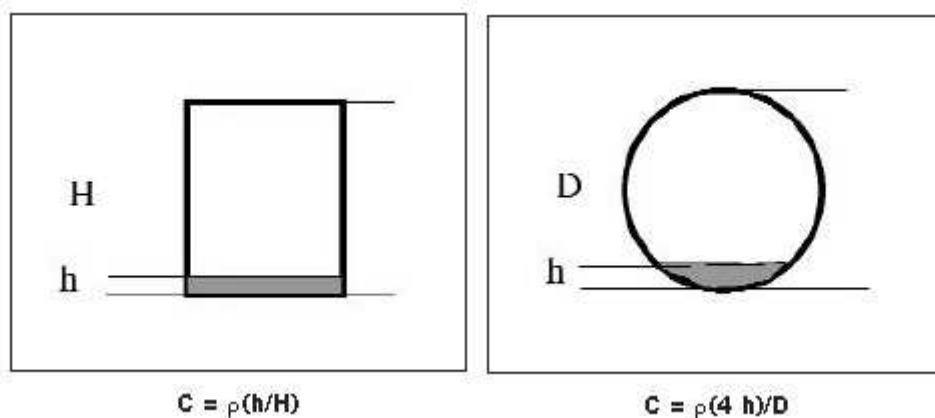


Figura 10

C = concentración de polvo (g/m³)
 ρ = densidad en masa del polvo (kg/m³)
 h = altura de la capa de polvo (mm)
 D = diámetro de la conducción (m)
 H = altura del recinto cúbico (m)

Finalmente, debe tenerse presente que pueden formarse capas peligrosas a partir de nubes de polvo muy diluidas, ya que, si no se controla, el proceso de sedimentación del polvo puede prolongarse largos periodos, resultando en una cantidad no despreciable de producto.

2.4.2. Clasificación formal:

→ RECOMENDACIONES DE SEGURIDAD:

Las instalaciones en las que se maneja, produce o almacena polvo combustible se deben diseñar y mantener de tal manera que no se produzcan escapes de polvo combustible y, consecuentemente, la extensión de las zonas clasificadas sea mínima.

En el caso de actividades de mantenimiento, la extensión de la zona puede verse afectada temporalmente, pero es de esperar que esto sea controlado mediante un sistema de permisos para trabajo.

Los polvos combustibles normalmente forman atmósferas explosivas entre ciertas concentraciones. Por lo tanto, una alta concentración de una mezcla polvo/aire que puede estar por encima de la concentración máxima explosiva y por tanto no ser una atmósfera de polvo explosiva, puede llegar a serlo si se diluye, o si se forman turbulencias y acumulaciones locales.

En una situación donde las mezclas polvo/aire son posibles se deberían seguir los siguientes pasos:

- Eliminar la posibilidad de una mezcla explosiva de polvo/aire y capas de polvo combustible.
- Eliminar la posibilidad de cualquier fuente de ignición.

Si esto no se puede realizar, deben tomarse medidas para reducir la probabilidad de que ocurra alguna de las dos (mezcla explosiva y fuente de ignición), de forma que la probabilidad de que coincidan sea suficientemente pequeña como para ser aceptable. En algunos casos, cuando la prevención no puede garantizar un nivel de seguridad aceptable, puede ser necesario emplear algún método de protección contra explosiones.

En la mayoría de las situaciones prácticas donde los polvos combustibles están presentes, es difícil asegurar que nunca aparezca una mezcla explosiva de polvo/aire o una capa de polvo combustible. Es también difícil asegurar que los equipos, máquinas o aparatos nunca se van a convertir en una fuente de ignición. Por tanto, en situaciones donde una mezcla explosiva de polvo/aire o una capa de polvo tienen alta probabilidad de coexistir, se utilizarán aparatos diseñados para tener una probabilidad extremadamente baja de originar una fuente de ignición.

Consecuentemente, cuando la probabilidad de una mezcla explosiva de polvo/aire o de existencia de capas de polvo combustible sea menor, la construcción de los aparatos eléctricos o no eléctricos seguirá un método constructivo menos restrictivo o con menor nivel de exigencias.

→ PRINCIPIOS DE LA CLASIFICACIÓN DE LAS ÁREAS DE RIESGO EN ZONAS:

Se consideran áreas de riesgo aquellas en las que pueden formarse atmósferas explosivas en cantidades tales que resulte necesaria la adopción de precauciones especiales para proteger la seguridad de los trabajadores afectados. Todas las sustancias

inflamables o combustibles se consideran capaces de formar atmósferas explosivas a no ser que el análisis de sus propiedades demuestre lo contrario.

La clasificación zonal se basa en las características del material (tamaño de partícula, humedad del polvo, parámetros de explosividad), en la presencia de acumulaciones de polvo o fuentes de escape y en la probabilidad de que se puedan formar mezclas explosivas polvo/aire.

Para determinar las posibilidades de escape en los lugares por donde el polvo sale despedido, es liberado o puesto en suspensión, deben tenerse en cuenta parámetros del proceso, tales como:

- Presiones superiores a la atmosférica.
- Velocidad de transporte.
- Velocidad de extracción de polvo.
- Altura de caída.
- Tamaños de partículas.
- Contenido de humedad.

Las nubes y capas de polvo se consideran de forma separada, ya que una nube de polvo es una atmósfera potencialmente explosiva en sí misma, mientras que una capa de polvo representa un riesgo latente. Por eso se considera que una capa de polvo actúa como una fuente de escape y, en consecuencia, se trata como tal a la hora de establecer la clasificación de zonas.

En el interior de los equipos donde se almacenan, manipulan o procesan productos pulverulentos, a menudo no pueden evitarse las capas de polvo de espesor incontrolado, ya que forman parte del propio proceso.

Por el contrario, las capas de polvo que se forman en el exterior de los equipos deben ser controladas (por ejemplo, mediante una limpieza diaria) hasta alcanzar un nivel aceptable. Conseguir el nivel adecuado puede tener consecuencias en la selección de los equipos eléctricos o no eléctricos. La idoneidad del mencionado nivel depende entre otros factores, de las características del polvo y de la temperatura superficial del equipo o maquinaria.

En la mayoría de los casos, una capa de polvo de tan solo 1 mm de espesor contiene suficiente cantidad de éste para crear una mezcla polvo/aire explosiva. En este caso, el área deberá ser clasificada.

Debe recordarse que, con el tiempo, es posible la formación de capas de polvo peligrosas a partir de una nube de polvo cuya concentración esté muy por debajo de la concentración mínima explosiva.

2.4.3. Capas de polvo:

La presencia y duración de acumulaciones de polvo puede modificar la probabilidad de formación de atmósferas explosivas en función de las operaciones de mantenimiento y limpieza. Se pueden considerar tres actuaciones:

a) Buen mantenimiento y limpieza:

No se requiere clasificación zonal cuando en ningún momento se llegan a acumular capas peligrosas.

b) Mantenimiento y limpieza suficientes:

Esta situación corresponde a la formación de capas de polvo no despreciables, pero de corta duración (menos de un relevo). Según la probabilidad de que se produzca la dispersión en funcionamiento normal se establece la clasificación que se muestra en la tabla 2.12 de abajo. La dispersión será probable, por ejemplo, en zonas de tránsito de personal o máquinas, en capas depositadas sobre equipos móviles o que producen vibraciones o sacudidas durante arranques y paradas, etc.

La dispersión será poco probable en zonas alejadas del paso del personal, en zonas libres de corrientes y alejadas de máquinas con movimiento o vibración.

Grado de escape	Dispersión probable en funcionamiento normal	Dispersión improbable en funcionamiento normal
Primario	21	22
Secundario	22	No se clasifica

Tabla 2.12

c) Mal mantenimiento y limpieza:

Corresponde al caso en que se forman capas de polvo, no despreciables y persistentes (con duración mayor que un relevo). La clasificación se muestra en la tabla 2.13 de abajo.

Grado de escape	Dispersión probable en funcionamiento normal	Dispersión improbable en funcionamiento normal
Primario o secundario	21	22

Tabla 2.13

Según se ha indicado, cuanto mayor es la probabilidad de que se forme o esté presente una atmósfera potencialmente explosiva, mayores deben ser las exigencias de los equipos que se van a instalar.

Es importante señalar que dentro de un mismo emplazamiento pueden coexistir diferentes tipos de zonas, cada una con sus correspondientes exigencias. A veces no es posible desplazar un equipo eléctrico (por ejemplo luminarias, timbres, altavoces) una distancia corta, pero suficiente para que el equipo quede instalado en una zona de menor grado de exigencia.

2.4.4. Extensión de las zonas:

La distancia, en cualquier dirección, entre el borde de una fuente de emisión y el punto donde el riesgo asociado se considera inexistente depende de:

- cantidad de polvo.
- caudal.
- tamaño de polvo.
- contenido de humedad.

Es difícil definir un criterio único y, por desgracia, no se conocen fórmulas o expresiones experimentales que permitan definir la extensión de las zonas debidas a polvo con la precisión existente para las zonas de gases.

En general, se tomará normalmente una distancia de 1 m alrededor de la fuente de escape y hasta el suelo o superficie sólida.

Como el polvo se deposita y forma capas, a veces a distancias considerables, también de forma general se debe definir la extensión de la zona clasificada hasta los límites que se extienda la capa de polvo.

Un emplazamiento clasificado como zona 20 se debe considerar que es inaceptable como zona de trabajo, es decir, nunca deberían entrar personas en zonas clasificadas como zona 20.

Si hay una fuente de escape de grado secundario en el exterior de un equipo o local, se definirá una zona 22 en el exterior, normalmente 1 m alrededor escape.

A continuación se presentan algunos ejemplos típicos de extensión de las zonas.

Zona 20:

La extensión de la zona 20 será:

- el interior de los conductos y equipos que producen y manipulan polvo, en los que están presentes de forma continua o frecuente mezclas polvo/aire explosivas.

– el interior de equipos que contienen polvo donde pueden formarse capas de polvo de espesor excesivo e incontrolable.

Si en el exterior del equipo que contiene polvo hay continuamente presente una mezcla polvo/aire explosiva, se requiere una clasificación de zona 20. Sin embargo, esta situación es inaceptable en áreas de trabajo.

Zona 21:

En la mayoría de las circunstancias, la extensión de la zona 21 puede definirse por evaluación de las fuentes de escape que causan mezclas polvo/aire explosivas o capas de polvo peligrosas o ambas a la vez, en relación con el ambiente.

La extensión de la zona 21 será:

– el interior de algunos equipos de manipulación de polvo en los cuales es probable que exista una mezcla polvo/aire explosiva.

– la extensión del área exterior al equipo, formada por una fuente de escape, también depende de diversos parámetros del polvo como velocidad de flujo, tamaño de partícula, cantidades de polvo y contenido de humedad en el producto. Esta zona suele ser de pequeña extensión:

– una fuente de escape característica normalmente origina una mezcla polvo/aire explosiva cuya extensión no suele ser superior a 1 m del perímetro de la fuente (caso de una puerta de inspección abierta), y se extiende en vertical y hacia abajo hasta alcanzar el suelo o el nivel del piso inferior

– cuando la extensión del polvo esté limitada por estructuras mecánicas (paredes, etc.) pueden tomarse como límites de la zona las superficies de éstas.

– consideraciones prácticas pueden hacer deseable clasificar toda el área en estudio como zona 21

Si se acumulan capas de polvo en el exterior de una Zona 21, puede requerirse una posterior clasificación para tener en cuenta la extensión de la capa así como las posibles dispersiones de la capa que pueden producir una nube.

Zona 22:

En la mayoría de las circunstancias, la extensión de la zona 22 puede definirse por evaluación de las fuentes que causan mezclas polvo/aire explosivas, en relación con el ambiente.

La extensión de un área formada por una fuente de escape también depende de diversos parámetros del polvo como cantidad de polvo, velocidad de transporte, tamaño de partícula y contenido de humedad en el producto:

– normalmente la zona será de una anchura horizontal de 1 m alrededor de la fuente de escape y se extenderá verticalmente hacia abajo hasta alcanzar el suelo o el nivel del piso inferior.

– cuando la extensión del polvo esté limitada por estructuras mecánicas (paredes, etc.) pueden tomarse como límites de la zona las superficies de éstas.

– consideraciones prácticas pueden hacer deseable clasificar toda el área en estudio como zona 22.

En el caso de áreas exteriores a los edificios (al aire libre), los límites de la zona 22 pueden verse reducidos como consecuencia de las condiciones climáticas como viento, lluvia, etc. Normalmente será suficiente un área de 1 m de anchura alrededor de la fuente de escape.

Una zona 21 no confinada (no limitada por estructuras mecánicas, como un reactor con un tragante abierto) situada en su interior, estará siempre rodeada por una zona 22. Esto es consecuencia de la formación de capas de polvo.

Si se acumulan capas de polvo en el exterior de una Zona 22, puede requerir una posterior clasificación para tener en cuenta la extensión de la capa, así como las posibles dispersiones de la capa que puedan producir una nube.

Es importante tener esto presente, especialmente si se establece la clasificación de zonas sobre planos o en la fase de proyecto, ya que la experiencia indica que, con el tiempo, la extensión de las zonas puede ser superior a la prevista inicialmente como consecuencia de la capacidad del polvo de llegar hasta distancias mayores y formar allí capas de polvo. En estos casos, debe revisarse la clasificación de zonas cuando se realice la puesta en marcha de la instalación o, mejor aún, un cierto tiempo después.

→ EJEMPLOS DE DESIGNACIÓN DE ZONAS:

Las capas, acumulaciones y montones de polvo se deben considerar como cualquier otra fuente de escape que puede formar una atmósfera explosiva.

Zona 20:

Ejemplos de emplazamientos que pueden dar lugar a zona 20 dentro de almacenamientos de polvo:

- tolvas, silos, etc.;
- ciclones y filtros;
- sistemas de transporte de polvo, excepto algunas partes de transportadores de bandas y de cadenas, etc.;
- mezcladores, molinos, secadores, equipos de ensacado, etc.;

Zona 21:

Ejemplos de emplazamientos que pueden dar lugar a zona 21:

- áreas exteriores a contenedores de polvo y en las proximidades a puertas de acceso sometidas a aperturas frecuentes o retiradas por motivos operativos, cuando en el interior hay presentes mezclas polvo/aire explosivas;
- áreas en el exterior de equipos que contienen polvo y en las proximidades de puntos de carga y descarga, alimentadores de cinta, puntos de muestreo, estaciones de descarga de camiones, puntos de transferencia de cintas, etc., donde no se hayan adoptado medidas para evitar la formación de mezclas polvo/aire explosivas;
- áreas exteriores a los equipos que contienen polvo, donde se acumula el polvo y en las cuales, debido a las operaciones de proceso, la capa de polvo tiene probabilidad de verse perturbada y originar mezclas polvo/aire explosivas;
- áreas alrededor de las salidas de ciclones y filtros de mangas (el área de salida de estos equipos siempre contiene pequeñas cantidades de polvo extremadamente fino, actuando como una fuente continua con baja concentración), cuando el polvo llega a acumularse cerca de las salidas debido a largos períodos de tiempo, de forma que puede dar lugar a mezclas polvo/aire explosivas si las capas de polvo se ven perturbadas.

Zona 22:

Ejemplos de emplazamientos que pueden dar lugar a zona 22:

- salidas de los respiraderos de filtros de mangas, ya que en caso de un mal funcionamiento pueden emitir mezclas polvo/aire explosivas.
- emplazamientos próximos a equipos que han de abrirse con poca frecuencia, o equipos que por experiencia se sabe que pueden dar lugar a pérdidas y que a consecuencia de una presión superior a la atmosférica el polvo saldrá despedido; equipos neumáticos (presión positiva), conexiones flexibles que pueden resultar dañadas, etc.;
- equipos de seguridad asociados con el venteo de explosiones como discos de ruptura o puertas anti explosión que pueden dar lugar a una liberación de polvo cuando se abren;

- almacenamientos de sacos que contienen productos pulverulentos. Durante la manipulación de los sacos puede producirse la rotura de estos, dando lugar a escapes de polvo;
- áreas normalmente clasificadas como zona 21 podrían llegar a clasificarse como zona 22 cuando se empleen medidas para prevenir la formación de mezclas polvo/aire explosivas. Estas medidas incluyen la captación de polvo en los escapes. Dichas medidas deberán emplearse en las proximidades de los puntos de llenado y vaciado de sacos, alimentadores de bandas, puntos de muestreo, estaciones de descarga de camiones, puntos de transferencia de cintas, etc.;
- áreas donde se han formado capas de polvo controladas siendo improbable que lleguen a originar mezclas polvo/ aire explosivas. En la mayoría de los casos una capa de polvo contiene suficiente cantidad de éste para originar una mezcla polvo/aire explosiva. El área sólo podrá ser clasificada como segura si las capas de polvo son retiradas mediante limpieza antes de que se puedan formar mezclas polvo/aire peligrosas.

Si las capas de polvo de espesor incontrolado se encuentran únicamente en el interior de los contenedores de polvo, es señal de que se han tomado las medidas adecuadas contra las acumulaciones de polvo en el exterior de los equipos.

Sin embargo, en el exterior de los sistemas de confinamiento de polvo, todos los tipos de escapes que originen una capa de polvo incontrolada (inadecuado mantenimiento de la limpieza) que resulte inaceptable, darán lugar a una zona 20.

2.5. MÉTODO DE EVALUACIÓN DEL RIESGO:

2.5.1. Identificación y análisis de las posibles fuentes de ignición:

Para que se produzca una explosión es preciso que coincidan una atmósfera explosiva potencialmente peligrosa (caracterizadas en el apartado anterior) y una fuente de ignición efectiva.

Se debe comparar la capacidad de la fuente de ignición para producir la ignición con las propiedades de ignición de la sustancia inflamable y/o combustible:

- Energía Mínima de ignición (EMI).
- Temperatura Mínima de Ignición en capa (TMIC).
- Temperatura Mínima de Ignición en nube (TMIn).

Procedimientos, materiales y métodos

La referencia sobre los posibles focos de ignición, aparece reflejada en la Norma UNE EN 1127, en la que se diferencian los siguientes focos:

TIPO DE FUENTE DE IGNICIÓN	
1	Superficies calientes
2	Llamas y gases calientes (incluyendo partículas calientes)
3	Chispas de origen mecánico
4	Material eléctrico
5	Corrientes eléctricas parásitas, protección contra la corrosión catódica
6	Electricidad estática
7	Rayo
8	Ondas E.M. de radiofrecuencia (RF), de 104 Hz a 3 x 10 ¹² Hz
9	Ondas E.M. de 3 x 10 ¹¹ Hz a 3 x 10 ¹⁵ Hz
10	Radiación ionizante
11	Ultrasonidos
12	Compresión adiabática y ondas de choque
13	Reacciones exotérmicas, incluyendo la autoignición de polvos

Tabla 2.14

TIPO DE FUENTE DE IGNICIÓN	EJEMPLOS	DESCRIPCIÓN	
1	Superficies calientes	<p>Superficies calientes fácilmente reconocibles: calentadores eléctricos, radiadores, cabinas de secado, tuberías de vapor...</p> <p>Otras: piezas de maquinaria, frenos y embragues a fricción, bujías y cojinetes dañados, soldaduras recientes...</p>	<p>Si una atmósfera explosiva potencialmente peligrosa entra en contacto con una superficie caliente, puede producirse la ignición.</p> <p>No sólo la propia superficie caliente puede actuar como fuente de ignición, sino que cada capa de polvo o sólido combustible en contacto con la superficie caliente e inflamada por ésta, puede actuar también como fuente.</p>
2	Llamas y gases calientes	<p>Llama desnuda: sopletes de soldadura, calentadores, encendedores...</p> <p>Gases de combustión: motores de combustión interna, vehículos...</p> <p>Las perlas de soldadura que se producen durante operaciones de oxicorte o soldeo, son chispas de</p>	<p>Las llamas están asociadas a reacciones de combustión a T^{as} superiores a 1000°C.</p> <p>Como productos de la reacción se obtienen gases calientes y, en el caso de llamas de partículas sólidas y/o de llamas conteniendo hollín, se producen</p>

Procedimientos, materiales y métodos

		superficie muy grande, y por tanto una de las fuentes de ignición más efectivas.	también partículas incandescentes. Las llamas, sus productos calientes de reacción y los gases a alta T ^a , pueden producir la ignición de una ATEX.
3	Chispas de origen mecánico	Al golpear herramientas metálicas entre sí, con otros metales, hormigón... Choques en los que están implicados la herrumbre y metales ligeros y sus aleaciones. La entrada de materiales extraños en aparatos, sistemas de protección y componentes. La utilización de herramientas manuales puede ser origen de chispas con suficiente energía para inflamar una ATEX.	Como resultado de operaciones de fricción, de choque y de abrasión, tales como el amolado, se pueden desprender partículas y calentarse debido a la energía disipada en el proceso. Si estas partículas se componen de sustancias oxidables, pueden sufrir un proceso de oxidación y alcanzar T ^{as} más elevadas, pudiendo producir la ignición de gases y vapores y algunas mezclas polvo/aire, sobre todo las de polvo metálico/aire.
4	Material eléctrico, arcos y chispas eléctricas	Motores y equipos eléctricos en malas condiciones. Apagado y encendido de circuitos. Cortocircuitos por conexiones erróneas o por trabajos inadecuados.	La muy baja tensión (MBT, inferior a 50V), está concebida para la protección de personas contra choques eléctricos. Tensiones inferiores a 50V pueden producir energía suficiente para actuar de fuente de ignición.
5	Corrientes eléctricas parásitas, protección contra la corrosión catódica	Fallos en instalaciones eléctricas. Corrientes de retorno en instalaciones generadoras de potencia, como trenes eléctricos y grandes instalaciones de soldadura. Efectos de inducción (cerca de instalaciones eléctricas con corrientes elevadas o transmisiones de RF elevadas).	Si las partes de un sistemas capaz de conducir las corrientes parásitas se desconectan, se conectan o se puentean, se producen chismas eléctricas y/o arcos que pueden producir la ignición de una ATEX. También se puede producir la ignición por el calentamiento de dichos caminos conductores, producido por la circulación de la corriente.
6	Electricidad estática	Circulación de fluido por una tubería, transmisiones de correas, transporte neumático de materiales pulverulentos, cintas transportadoras, elevadores de canchales, transporte de líquidos no conductores, transporte y trasvase de polvos y fibras, caminar sobre superficies aislantes...	En condiciones determinadas, se pueden producir descargas de electricidad estática, en forma de chispas, capaces de producir la ignición de una ATEX.

Procedimientos, materiales y métodos

7	Rayo	<p>Descarga de rayos.</p> <p>Corrientes transitorias asociadas a la descarga del rayo que originan calentamientos, descargas y chispas.</p> <p>Tormentas con ausencia de rayos: pueden producir tensiones importantes en aparatos y equipos de protección.</p>	<p>Si el rayo descarga en una ATEX, la ignición se producirá siempre. Además, también existe la posibilidad de ignición debido a la alta Tª que alcanzan los elementos que conducen el rayo.</p>
8	Ondas E.M. de radiofrecuencia (RF), de 10^4 Hz a 3×10^{12} Hz.	<p>Todos los sistemas que producen y utilizan las energías eléctricas de alta frecuencia o sistemas de RF (emisores de radio, generadores RF médicos o industriales para calentamiento, secado, endurecimiento, soldeo, oxicorte...).</p>	<p>Todos los sistemas que producen y utilizan energías eléctricas de alta frecuencia emiten ondas E.M.. Todas las partes conductoras situadas en el campo E.M. se comportan como antenas receptoras. Si el campo es suficientemente potente y si la antena tiene dimensiones suficientes, dichas partes conductoras pueden producir la ignición de ATEX.</p>
9	Ondas E.M. de 3×10^{11} Hz a 3×10^{15} Hz.	<p>Botellas actuando como lentes, reflectores concentrando la radiación, fuentes luminosas intensas, dispositivos láser de medición a distancia...</p>	<p>La radiación entre el infrarrojo y el ultravioleta cuando se concentra puede constituir una fuente de ignición a través de la absorción por ATEX o por superficies sólidas, así como la convergencia de la radiación solar.</p> <p>Cualquier aparato, sistema de protección y componente que genera radiaciones puede ser una fuente de ignición por llamas y gases calientes y/o material eléctrico.</p>
10	Radiación ionizante	<p>Medidores de espesores, contadores de partículas y gammagrafías.</p>	<p>La radiación ionizante producida, a partir de radiación X y gamma (sustancias radiactivas), pueden conducir a la ignición de ATEX por absorción de energía. Además también puede calentar el medio debido a la absorción interna de la energía de radiación produciendo la ignición de ATEX por superficies calientes.</p>
11	Ultrasonidos	<p>Medidores de caudal.</p> <p>En líquidos sometidos a ultrasonidos se forman cavidades que al colapsar</p>	<p>Cuando se utilizan ondas de ultrasonidos, una gran cantidad de la energía emitida por el emisor</p>

Procedimientos, materiales y métodos

		producen altas T^{as} .	electroacústico se absorbe por sustancias sólidas o líquidas. La sustancia expuesta a ultrasonidos se calienta de manera que, en situaciones extremas, puede producir la ignición de ATEX.
12	Compresión adiabática y ondas de choque	Ignición por compresión de nieblas de aceite de lubricación en compresores. Descarga brusca de gases a alta presión en redes de canalizaciones. Fugas de oxígeno pueden inflamar lubricantes, juntas de estanqueidad e incluso materiales.	La compresión adiabática tiene lugar sin intercambio de calor con el exterior, elevando la T^a . La elevación de T^a depende de la relación de presiones y no de la diferencia de presión. Se pueden alcanzar T^{as} suficientemente elevadas para producir la ignición de una ATEX.
13	Reacciones exotérmicas, incluyendo la autoignición de polvos	Reacciones de sustancias pirofosfóricas con el aire, de metales alcalinos con agua, autoignición de polvos inflamables, autocalentamiento de productos alimenticios debido a procesos biológicos, descomposición de peróxidos orgánicos, reacciones de polimerización.	Las reacciones exotérmicas pueden actuar como fuente de ignición por generación de T^{as} elevadas, cuando la velocidad de desprendimiento de calor es superior a la velocidad de evacuación del calor hacia el exterior.

Tabla 2.15

2.5.2. Criterios específicos para la evaluación del material eléctrico/mecánico:

Los equipos eléctricos y no eléctricos que se instalan en lugares donde se puede formar una ATEX potencialmente peligrosa, zonas clasificadas, deben cumplir unos requisitos, obtener una certificación y ser marcados conforme a las disposiciones citadas por el R.D. 400/1996 visto con anterioridad.

Los equipos y sistemas de protección para ATEX, se clasifican según diferentes criterios. Estas clasificaciones, al ir marcadas sobre los materiales, permiten una indicación más clara al usuario para su empleo seguro.

Tal y como se puede observar en las líneas a continuación, los equipos pueden llevar varios marcados, siendo obligatorios uno de conformidad con el R.D. 400/1996 (para equipos posteriores a la entrada en vigor del Real Decreto) y un segundo marcado normativo eléctrico, complementario del anterior.



Figura 11

a) Marcado de conformidad con el R.D. 400/1996:

MARCADO DE EQUIPOS DE CONFORMIDAD CON EL R.D. 400/1996						
	Marca "CE"	Nº Org. Not.	Símbolo ATEX	Grupo	Categoría	Símbolo de uso
	-	1	-	2	3	4
Aparatos minería	CE	XXXX	Ex	I	M1 M2	
Aparatos usos NO minería	CE	XXXX	Ex	II	1 2 3	G D G/D

Tabla 2.15 1

- Nº Org. Not. (XXXX): Número de cuatro dígitos identificativo del organismo notificado de control que intervenga en la fase de control de la fabricación.
- Grupo (I o II): Grupo al que pertenece el equipo:

Procedimientos, materiales y métodos

- I: Formado por aquellos destinados a trabajos subterráneos en las minas y en las partes de sus instalaciones de superficie, en las que puede haber peligro debido al grisú y/o polvo combustible.
- II: Compuesto por aquellos destinados al uso en otros lugares en los que puede haber peligro de formación de ATEX.
- Categoría (1, 2 o 3): Clasificación en función de la probabilidad de que los equipos aporten una fuente de energía que desencadene la explosión:

EQUIPOS DE GRUPO II			
	Categoría 1	Categoría 2	Categoría 3
Nivel de protección	Nivel de protección muy alto	Nivel de protección alto	Nivel de protección normal
	<p>Permanecen seguros en caso de averías extraordinarias.</p> <p>Disponen de medios de protección tales que:</p> <ul style="list-style-type: none"> - En caso de fallo de uno de los medios de protección, al menos un segundo medio independiente asegure el nivel de protección requerido. - En caso de que se produzcan dos fallos independientes, esté asegurado el nivel de protección requerido. 	<p>Aseguran el nivel de protección, aun en caso de avería frecuente o de fallos de funcionamiento que deban tenerse habitualmente en cuenta.</p>	<p>Aseguran el nivel de protección requerido durante su funcionamiento normal.</p>
Ambiente de trabajo	Pueden funcionar en un ambiente en el que se produzcan ATEX de forma constante, duradera o frecuente.	Pueden funcionar en un ambiente en el que sea probable la formación de ATEX.	Pueden funcionar en un ambiente en el que la formación de ATEX sea infrecuente y su presencia de corta duración.
Zonas en que se admiten los equipos	Zona 0 o 20. También en zonas 1 o 21 y/o 2 o 22.	Zonas 1 o 21. También en zonas 2 o 22.	Zonas 2 o 22.

Tabla 2.16

- Símbolo de uso (G, D o G/D):

G: Equipos para utilizar en ATEX debidas a gases, vapores o nieblas.

D: Equipos para utilizar en ATEX debidas a la presencia de polvo.

G/D: Equipos para utilizar en ATEX debidas bien a gases, vapores o nieblas o bien, a la presencia de polvo. Esto no garantiza que se puedan emplear en ATEX híbridas (gases y polvo presentes simultáneamente), lo que requiere una verificación específica.

- b) Marcado normativo, complementario del anterior y orientado a permitir un uso seguro del equipo:

Se pueden distinguir dos tipos de marcado normativo en función del tipo de equipos (eléctricos o no eléctricos) que se describen a continuación:

→ **MARCADO DE EQUIPOS ELÉCTRICOS:**

- Marcado especial de T^a de servicio: si la temperatura ambiente prevista no está en el rango comprendido entre -20°C y +40°C el equipo deberá estar marcado para trabajar en el rango de temperatura correspondiente.

- Simbolos asociados al número de certificado: X o U

X: Material certificado sometido a condiciones especiales de fabricación o uso.

U: Material certificado es un componente.

A continuación se muestran ejemplos de marcado de equipos eléctricos:



EJEMPLOS		
Marcado de conformidad directiva 94/9/ce	Marcado normativo complementario	Descripción
	Ex d IIB T4	Equipo adecuado para ATEX de gas de categoría d (adecuado para zonas 1 y 2). Equipo eléctrico con envolvente antideflagrante, adecuado para gases de los grupos IIA, IIB y T ^a superficial máxima de 135°C
	Ex pD T135°C	Equipo adecuado para ATEX de polvo de categoría d (adecuado para zonas 21 y 22). Equipo eléctrico con envolvente presurizado, adecuado para ATEX de polvo TMI _n superior a 90°C y TMI _c 60°C.

Tabla 2.17

El marcado de los equipos eléctricos se divide de la siguiente manera:

MARCADO DE EQUIPOS ELÉCTRICOS				
	1	2	3	4
	Marcado tradicional equipos eléctricos	Modo de protección	Grupo de material	Clase de temperatura
Material para ATEX de gas, vapor o niebla	Ex o EEx	d, p (px/py/pz), q, o, e, i (ia/ib), nA, nC, nR, nL	IIC, IIB, IIA	T1, T2, T3, T4, T5, T6
Material para ATEX de polvo	Ex o EEx	tD, pD, iaD/ibD, maD/mbD	-	Txxx°C

Tabla 2.18

1.Marcado de equipos eléctricos (Ex o EEx): Redundancia en el marcado que proviene de antiguas directivas; se está pasando de EEx a Ex.

2.Modo de protección: indica los modos de protección utilizados en la construcción del equipo. El modo de protección principal es el primero de la izquierda y los modos complementarios se indican a continuación.

2.A.Modo de protección para GASES:

MODO DE PROTECCIÓN PARA GASES				
MODO	SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN	NORMA UNE	ZONAS
Envolvente antideflagrante	d	Método de protección en el cual las partes que pueden provocar la ignición de una ATEX se encierra en una envolvente que resiste a la presión desarrollada en una explosión interna de una mezcla explosiva y que impide la transmisión de la explosión a la atmósfera circundante de la envolvente.	60079-1	1 y 2
Presurización	p (px, py, pz)	Método de protección en el cual la penetración de una atmósfera circundante dentro de la envolvente del material eléctrico es impedida por el mantenimiento, dentro de dicha envolvente, de un gas de protección a una presión superior a la de la	60079-2	1 y 2

Procedimientos, materiales y métodos

		atmósfera circundante. La sobrepresión se mantiene con o sin producción del gas de protección.		
Encapsulado	m (ma, mb)	Método de protección en el cual las partes que podrían encender una ATEX por chispas o por calentamientos se encierra en un compuesto de tal manera que esta ATEX no pueda encenderse o penetrar.	60079-18	0, 1 y 2
Relleno pulverulento	q	Método de protección en el cual la envolvente del material eléctrico se llena con un material en el estado pulverulento de tal modo que, en las condiciones de uso previstas en la construcción, un arco produciéndose dentro de la envolvente no puede causar la ignición de la atmósfera circundante. No hay ignición ni por propagación de la llama, ni por calentamiento excesivo de las paredes de la cojea.	60079-51	1 y 2
Inmersión en aceite	o	Método de protección en el cual el material eléctrico o las partes del material eléctrico se sumergen en el aceite de modo que una ATEX que se encuentra sobre el nivel de aceite o fuera de la envolvente no pueda encenderse.	60079-6	1 y 2
Seguridad aumentada	e	Método de protección que consiste en aplicar medidas con el fin de evitar, con un elevado coeficiente de seguridad, la posibilidad de T ^{as} excesivas y la aparición de arcos o chispas dentro y sobre las partes externas del material eléctrico que no produce servicio normal.		
Seguridad intrínseca (equipos)	i (ia, ib)	Un circuito de seguridad intrínseca es un circuito en el cual ninguna chispa ni ningún efecto térmico, producto en las condiciones de prueba fijadas por la UNE 60079-11 (que cubren el funcionamiento normal y las condiciones especificadas de defecto) son capaces de causar la ignición de una ATEX dada.	60079-11	0, 1 y 2

Procedimientos, materiales y métodos

Modos simplificados Protección 'n'	nA, nC, nR, nL	nA: No productor de chispas nC: Energía limitada nR: Respiración limitada nL: Dispositivo sellado	60079-15	2
---------------------------------------	-------------------	--	----------	---

Tabla 2.19

2.B. Modo de protección para POLVOS:

MODO DE PROTECCIÓN PARA POLVOS				
MODO	SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN	NORMA UNE	ZONAS
Envolvente antideflagrante	tD	Método de protección en el cual las partes que pueden provocar la ignición de una ATEX se encierra en una envolvente que resiste a la presión desarrollada en una explosión interna de una mezcla explosiva y que impide la transmisión de la explosión a la atmósfera	61241-1	21 y 22
Presurización	pD	Método de protección en el cual la penetración de una atmósfera circundante dentro de la envolvente del material eléctrico es impedida por el mantenimiento, dentro de dicha envolvente, de un gas de protección a una presión superior a la de la atmósfera circundante. La sobrepresión se mantiene con o sin producción del gas de protección.	61241-2	21 y 22
Encapsulado	maD mbD	Método de protección en el cual las partes que podrían encender una ATEX por chispas o por calentamientos se encierra en un compuesto de tal manera que esta ATEX no pueda encenderse o penetrar.	61241-18	20, 21 y 22
Seguridad intrínseca (equipos)	iaD/ibD	Un circuito de seguridad intrínseca es un circuito en el cual ninguna chispa ni ningún efecto térmico, producto en las condiciones de prueba fijadas por la UNE 60079-11 (que cubren el funcionamiento normal y las condiciones especificadas de defecto) son capaces de causar la ignición de una ATEX dada.	61241-11	20, 21 y 22

Tabla 2.20

*Nota: Material asociado: si el modo de protección es adecuado aparece dicho modo de protección entre corchetes y si no es adecuado aparecen tanto el modo de protección como el símbolo Ex entre corchetes.

3.Grupo (IIA, IIB, IIC): Específico para gases.

Clasificación de equipos por sensibilidad de la sustancia a la ignición, por arco eléctrico o llama. En función del tipo de certificación, el equipo se instalará en ATEX formadas por los siguientes grupos de gases:

TIPO DE CERTIFICACIÓN	GRUPO DE GASES DE UTILIZACIÓN
IIC	IIA, IIB, IIC
IIB	IIA, IIB
IIA	IIA

Tabla 2.21

*Nota: en el mercado puede incluirse un tipo de gas concreto. Su símbolo químico se incluirá detrás del II.

4.Clase de temperatura (T1 a T6): Hace referencia a la temperatura superficial máxima permitida para la clase térmica.

CLASE DE TEMPERATURA	TEMPERATURA SUPERFICIAL MÁXIMA
T1	450°C
T2	300 °C
T3	200 °C
T4	135 °C
T5	100 °C
T6	85 °C

Tabla 2.22

4.A.Clases de temperatura para GASES:

Si el material tiene una temperatura superficial máxima superior a 450°C, en lugar de la clase, debe indicarse dicha temperatura. Para temperaturas inferiores, también puede indicarse la temperatura superficial máxima pero, en este caso, se debe indicar la clase detrás y entre paréntesis.

4.B.Clases de temperatura para POLVOS:

La temperatura superficial máxima del equipo se indica como un valor de temperatura.

La temperatura superficial máxima admitida para equipos instalados en cualquier zona, se determinará con la deducción de su **margen de seguridad** desde la temperatura mínima de inflamación del polvo en cuestión, según recoge la Norma UNE-EN 50281-2-1 tanto para nubes de polvo como para capas de hasta 5 mm de espesor.

POLVO EN FORMA DE	TEMPERATURA SUPERFICIAL MÁXIMA °C
Nubes	$2/3 TMI_n$
Capas	$TMI_c - 75$

Tabla 2.23

*Nota: cuando se prevea una capa de polvo de espesor superior, la temperatura superficial máxima del equipo eléctrico se corregirá en 3°C por cada milímetro adicional.

GRADOS DE PROTECCIÓN IP E IK (ESPECÍFICO PARA POLVOS)

- Grado de protección (IP e IK):

El sistema de protección de los materiales eléctricos frente a la posibilidad de ser fuente de ignición de una potencial atmósfera explosiva debida a polvo es la envolvente del material eléctrico.

El grado de protección es el nivel de protección proporcionado por la envolvente contra el acceso a las partes peligrosas, contra la penetración de cuerpos sólidos extraños, contra la penetración de agua o contra impactos mecánicos exteriores y que además verifica mediante métodos de ensayo normalizados.

La envolvente es el elemento que proporciona la protección del material contra las influencias externas y en cualquier dirección, contra los contactos directos. Se considera parte de dicha envolvente todo accesorio o tapa que sea solidario con o forme parte de ella y que impida o limite la penetración de objetos en la envolvente, salvo que sea posible quitar las tapas con la ayuda de una herramienta o llave.

Existen dos tipos de grados de protección y cada uno de ellos tiene un sistema de codificación diferente: el código IP y el código IK.

- Código IP (IPXX):

Grado de protección proporcionada por las envolventes de materiales eléctricos contra contactos directos, cuerpos sólidos y penetración del agua.

GRADO DE PROTECCIÓN IP	
VALOR	GRADO DE ESTANQUEIDAD
0	No protegido
1	Protegido contra cuerpos sólidos de diámetro de más de 50mm
2	Protegido contra cuerpos sólidos de diámetro de más de 12.5mm
3	Protegido contra cuerpos sólidos de diámetro de más de 2.5mm
4	Protegido contra cuerpos sólidos de diámetro de más de 1mm
5	Protegido contra la penetración de polvo
6	Totalmente estanco al polvo

Tabla 2.24

El código IP se compone de dos dígitos, el primero hace referencia al grado de protección del equipo contra el ingreso de objetos extraños sólidos en una escala del 0 al 6 (ver tabla a continuación) y, el segundo hace referencia a la estanqueidad contra líquidos en una escala del 0 al 8 (desde el punto de vista de atmósferas explosivas pulverulentas es irrelevante por lo que se representa con X).

Desde el punto de vista de atmósferas explosivas por presencia de polvo, los equipos instalados deberán cumplir los siguientes grados de protección para prevenir la penetración de polvo:

GRADO DE PROTECCIÓN IP		
ZONA	VALOR IP	GRADO DE PROTECCIÓN
20	IP6X	Totalmente estanco al polvo
21	IP6X	Totalmente estanco al polvo
22 con polvo conductor	IP6X	Totalmente estanco al polvo
22	IP5X	Protegido contra la penetración de polvo

Tabla 2.25

- **Código IK:**

Grado de protección proporcionado por las envolventes de materiales eléctricos contra los impactos mecánicos exteriores.

CÓDIGO DE PROTECCIÓN IK	
VALOR	ENERGÍA DE CHOQUE (J)
00	0
01	0.14
02	0.20
03	0.35
04	0.50
05	0.70
06	1
07	2
08	5
09	10
10	20

Tabla 2.26

Los equipos instalados en cualquier zona 20, 21 o 22, deberán tener una resistencia al impacto máxima IK07, recomendándose IK08 cuando se trate de polvos inflamables y conductores de la electricidad o en emplazamientos muy pulverulentos o con formación frecuente de nubes inflamables.

→ MARCADO DE EQUIPOS NO ELÉCTRICOS:



EJEMPLOS		
Marcado de conformidad R.D. 400/96	Marcado normativo complementario	Descripción
	d IIB T4	Equipo adecuado para ATEX de gas de categoría 2 (adecuado para zonas 1 y 2). Equipo no eléctrico con envolvente antideflagrante, adecuado para gases de los grupos IIA, IIB y T ^a superficial máxima de 135°C
	pD T135°C	Equipo adecuado para ATEX de polvo de categoría 2 (adecuado para zonas 21 y 22). Equipo no eléctrico con envolvente presurizado, adecuado para ATEX de polvo TMI _n superior a 90°C y TMI _c 60°C.

Tabla 2.27

El marcado de los equipos no eléctricos se divide de la siguiente manera:

MARCADO DE EQUIPOS NO ELÉCTRICOS			
	1	2	3
	MODO DE PROTECCIÓN	GRUPO DE MATERIAL	CLASE DE TEMPERATURA
Material para atmósferas de gas, vapor o niebla	fr, d, c, b, p, k	IIC, IIB, IIA	T1, T2, T3, T4, T5, T6
Material para atmósferas de polvo	fr, d, c, b, p, k	-	Txxx°C

Tabla 2.28

La diferencia con el marcado de equipos eléctricos radica en que no comienza con el símbolo Ex o EEx y que los modos de protección son diferentes.

1.Modos de protección: indica los modos de protección utilizados en la construcción del equipo.

MODO DE PROTECCIÓN PARA EQUIPOS NO ELÉCTRICOS				
MODO	SÍMBOLO	NORMA UNE	GASES	POLVO
Envolvente con circulación restringida	fr	13463-2	2	22
Envolvente antideflagrante	d	13463-3	1 y 2	21 y 22
Seguridad constructiva	c	13463-5	1 y 2	21 y 22
Control de las fuentes de ignición	b	13463-6	1 y 2	21 y 22
Presurización	p	13463-7	1 y 2	21 y 22
Inmersión en líquido	k	13463-8	1 y 2	21 y 22

Tabla 2.29

2.Grupo de material (ver apartado A de equipos eléctricos)

3.Clase de temperatura (ver apartado A de equipos eléctricos)

c) ¿Qué equipos puedo emplear en zonas clasificadas?

Si el equipo es posterior al 30 de junio de 2003, debe ir marcado de conformidad con el R.D. 400/1996 por lo que:

EQUIPOS MARCADOS SEGÚN DIRECTIVA 94/9/CE	
Zona de riesgo	Categoría
Zona 0 o 20	Categoría 1
Zona 1 o 21	Categoría 2
Zona 2 o 22	Categoría 3

Tabla 2.30

En el caso de equipos anteriores al 30 de junio de 2003, hay que considerar el modo de protección empleado en la construcción del equipo.

ELECCIÓN DE EQUIPOS			
	Equipos eléctricos		Equipos no eléctricos
Zona de riesgo	Modos más adecuados (2)	Grado IP	Modos más adecuados (2)
Zona0	ia	-	g, c
Zona1	d, e, ia, ib, m, o, p, q	-	d, b, p, k
Zona2	n	-	fr
Zona 20 (1)	iaD	IP6X	g, c
Zona 21 (1)	iaD, ibD, mD, pD, tD	IP6X	d, b, p, k
Zona 22 (1)		IP5X	fr

Tabla 2.31

(1) En el caso de polvo es preciso tener en cuenta además la Temperatura Superficial Máxima.

(2) Datos obtenidos de la Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos derivados de ATEX en el lugar de trabajo, R.D. 681/2006, de 12 de junio.

2.5.3. Probabilidad de activación de las fuentes de ignición:

Una vez identificadas cuales de las 13 posibles fuentes de ignición pueden estar presentes de manera efectiva en la zona clasificada, es preciso estimar la probabilidad de activación de dichas fuentes:

- Frecuente (F): la activación de la fuente de ignición es permanente o sucede con mucha frecuencia. Los equipos instalados en la zona clasificada son convencionales (sin protección).

- Probable (P): la activación de la fuente de ignición se produce normalmente. Equipos de categoría o modo de protección no suficiente para la zona clasificada en la que se encuentran.
- Ocasional (O): la activación de la fuente de ignición se produce algunas veces. Equipos de categoría o modo de protección adecuados para la zona clasificada en la que se encuentran pero sin el mantenimiento adecuado (posible fuente de ignición por mal funcionamiento del equipo).
- Remota (R): es muy raro, aunque posible que se produzca la activación de la fuente de ignición. Equipos de categoría o modo de protección adecuados para la zona clasificada en la que se encuentran y con el mantenimiento adecuado (posible fuente de ignición por mal funcionamiento raro del equipo).
- Improbable (I): no se espera que se produzca la activación de la fuente de ignición. El riesgo de existencia y activación de focos de ignición en las zonas clasificadas está controlado.

En caso de no poder estimar la probabilidad de que existan fuentes de ignición, se debe suponer que la fuente de ignición está siempre presente.

2.5.4. Valoración del riesgo en función de la probabilidad y las consecuencias:

La probabilidad de explosión es función de las dos probabilidades de las que procede (ambas explicadas anteriormente):

- Probabilidad de presencia de ATEX
- Probabilidad de presencia de fuentes de ignición efectivas

Mediante el análisis de la instalación se identifica las fuentes de ignición presentes en la misma y la efectividad de dicha fuente para ser capaz de inflamar la nube de gas/vapor o polvo.

La frecuencia de ocurrencia de ambos sucesos vendrá determinada por:

- Frecuente (F): ocurre continuamente.
- Probable (P): ocurre varias veces en la vida del sistema.
- Ocasional (O): ocurre alguna vez en la vida del sistema.
- Remota (R): improbable, pero podría ocurrir en la vida del sistema.
- Improbable (I): es muy improbable, por lo que puede que no se produzca nunca.

De esta manera, la probabilidad de presencia del riesgo de explosión vendrá dada mediante una tabla similar a la siguiente:

		PRESENCIA DE ATMÓSFERAS EXPLOSIVAS		
		ZONA 2	ZONA 1	ZONA 0
PRESENCIA DE FUENTES DE IGNICIÓN	I IMPROBABLE	IMPROBABLE	IMPROBABLE	REMOTA
	R REMOTA	IMPROBABLE	REMOTA	OCASIONAL
	O OCASIONAL	IMPROBABLE	OCASIONAL	PROBABLE
	P PROBABLE	IMPROBABLE	PROBABLE	PROBABLE
	F FRECUENTE	IMPROBABLE	PROBABLE	FRECUENTE

Tabla 2.32

La severidad se expresa en niveles definidos en términos de daños a la salud de las personas o de daños a los sistemas. Estos niveles son:

	DESCRIPCIÓN	DEFINICIÓN DEL SUCESO	LOCALIZACIÓN
1	CATÁSTROFE	Se prevén muertes o pérdida de sistemas.	Existencia de trabajadores en la localización de la explosión.
2	MAYOR	Se prevén daños severos, accidentes laborales graves o daños graves al sistema.	Existencia de trabajadores cercanos a la localización de la explosión sin existencia de barreras de protección.
3	MENOR	Se prevén daños menores, accidentes laborales leves o leves daños al sistema.	Existencia de trabajadores cercanos a la localización de la explosión con existencia de barreras de protección.
4	INSIGNIFICANTE	Se prevé nivel inferior de daños, incidente laboral o daños insignificantes al sistema	Existencia de trabajadores alejados en otros lugares del interior de la explotación o no existencia de trabajadores en el interior de la explotación.

Tabla 2.33

Procedimientos, materiales y métodos

Una vez evaluados ambos factores, probabilidad de ocurrencia de una explosión y severidad de los posibles daños, y con la ayuda de la siguiente tabla se estima el riesgo de explosión mediante la técnica de reducción de riesgos:

		CONSECUENCIAS			
		4	3	2	1
		INSIGNIFICANTE	MENOR	MAYOR	CATÁSTROFE
PROBABILIDAD DE EXPLOSIÓN	I IMPROBABLE	D	C	C	B
	R REMOTA	D	C	B	A
	O OCASIONAL	D	B	B	A
	P PROBABLE	C	B	A	A
	F FRECUENTE	C	A	A	A

Tabla 2.34

De esta manera se define cada riesgo de forma que queden establecidos los niveles de acción y temporización de las actuaciones adecuadas. Esta correspondencia se muestra en la tabla siguiente donde junto a cada asignación del nivel de riesgo aparecen los tipos de acciones que requieren junto con sus periodos de implantación.

NIVEL DE RIESGO	ACCIÓN Y TEMPORARIZACIÓN
D TOLERABLE	No se necesita mejorar la acción preventiva. Sin embargo, se deben considerar soluciones más rentables o mejoras que no supongan una carga económica importante. Se requieren comprobaciones periódicas para asegurar que se mantiene la eficacia de las medidas de control.
C MODERADO	Se deben hacer esfuerzos para reducir el riesgo, determinando las inversiones precisas. Las medidas para reducir el riesgo deben implantarse en un período determinado. Cuando el riesgo moderado está asociado a una severidad mayor se precisará una acción posterior para establecer con más precisión la probabilidad de daño como base para determinar la necesidad de mejora de las medidas de control.

B IMPORTANTE	No debe comenzarse el trabajo hasta que se haya reducido el riesgo. Puede que se precisen recursos considerables para mejorar el riesgo. Cuando el riesgo corresponda a un trabajo en ejecución, debe remediarse el problema en un tiempo inferior al de los riesgos moderados.
A INTOLERABLE	No debe comenzarse ni continuar el trabajo hasta que se reduzca el riesgo. Si no es posible reducir el riesgo, incluso con recursos ilimitados, debe prohibirse el trabajo. Este tipo de trabajo requiere tanto la aplicación de medidas técnicas como de medidas organizativas.

Tabla 2.35

Los Niveles de Riesgo asociados a determinados eventos no son necesariamente invariables, es decir, para un mismo evento se puede reducir su nivel de riesgo inicial hasta un valor inferior (más seguro) mediante la adopción de medidas de prevención y/o protección adicionales. Dependiendo del tipo de medidas a tomar, la disminución del riesgo será dentro de la matriz, moviéndose vertical u horizontalmente.

2.6. MEDIDAS PREVENTIVAS PARA EVITAR LA FORMACIÓN DE ATEX:

La prevención de la formación de atmósferas explosivas potencialmente peligrosas siempre debe ir por delante de las demás medidas de protección contra explosiones, siguiendo los principios generales de acción preventiva definidos en el artículo 15.1 de la LPRL: “En toda acción preventiva, la primera actuación es siempre evitar los riesgos”. Evitando la formación de una atmósfera explosiva potencialmente peligrosa, se evita el riesgo de explosión.

Las medidas que se pueden realizar para prevenir la formación de una atmósfera explosiva potencialmente peligrosa son:

- Sustitución de las sustancias inflamables.
- Limitación de la concentración.
- Inertización.
- Aislamiento y cerramiento de las fuentes de escape.
- Medidas para eliminar los depósitos de polvo.
- Utilización de aparatos detectores de gas.

Procedimientos, materiales y métodos

MEDIDAS PREVENTIVAS PARA IMPEDIR LA FORMACIÓN DE ATEX			
	Descripción	Ejemplos GASES	Ejemplos POLVOS
Sustitución de las sustancias inflamables	La formación de ATEX peligrosas puede prevenirse evitando o reduciendo el uso de sustancias inflamables. En el caso de polvo, es posible evitar la formación de nubes aumentando el tamaño de partícula de polvo producido.	Sustituir productos disolventes o de limpieza inflamables por soluciones acuosas.	Evitar la suspensión de polvo, bien humedeciendo el polvo o utilizando productos pastosos.
Limitación de la concentración	Los gases y polvos sólo pueden formar una ATEX potencialmente peligrosa dentro de ciertos límites de concentración en mezcla con el aire. Si es posible mantener las condiciones operativas y ambientales de manera que no se alcance la concentración mínima necesaria para que se produzca una ATEX, no habrá riesgo de explosión.	En el caso de disolventes, evitar la formación de vapores en la superficie del líquido, manteniendo la T ^a ambiente por debajo del punto de inflamabilidad y una buena ventilación en la sala.	En el caso de polvo, además de asegurar que la concentración de polvo en aire es inferior al CME, es preciso evitar la formación de posibles capas de polvo. Aspirar (para evitar nubes de polvo) y limpiar (para evitar acumulaciones).
Inertización	Consiste en diluir el oxígeno del aire en el interior de las instalaciones con sustancias inertes. Esto sólo puede realizarse en el interior de pequeñas instalaciones o equipos herméticamente cerrados. A la hora de elegir una sustancia inerte, es muy importante que la sustancia no reaccione con el combustible.	Sustituir el oxígeno por un gas inerte como el nitrógeno, dióxido de carbono o gases nobles.	Sustituir el oxígeno por una sustancia inerte pulverulenta como el bicarbonato sódico o la cal natural.
Aislamiento y cerramiento de las fuentes de escape	Las instalaciones deben diseñarse de modo que en las condiciones de uso previsibles no se produzcan fugas significativas. Esto se asegurará mediante el mantenimiento adecuado de la instalación. Si no es posible prevenir la fuga de sustancias inflamables, a menudo se puede evitar la formación de atmósferas peligrosas mediante ventilación/aspiración.		
Medidas para eliminar los depósitos de polvo	Las técnicas de limpieza más adecuadas para la eliminación de capas de polvo son la limpieza en mojado y aspiración con equipos adecuados (que no puedan actuar como fuente de ignición). Nunca se debe soplar el polvo ya que de esta manera el polvo no se elimina, si no que se deposita en otra parte de la instalación.		
Utilización de aparatos detectores de gas	Se pueden emplear aparatos detectores de gas adecuados para ATEX, para verificar que la concentración en el ambiente es inferior al LIE.		

Tabla 2.36

2.7. MEDIDAS PARA EVITAR LA IGNICIÓN DE ATEX:

Cuando la formación de una ATEX no pueda impedirse, hay que prevenir su ignición. Esto puede conseguirse con medidas de protección que evitan o reducen la probabilidad de aparición de fuentes de ignición.

a) Medidas preventivas para evitar la ignición de ATEX generadas por GASES:

TIPO DE FUENTE DE IGNICIÓN		MEDIDAS PREVENTIVAS
1	Superficies calientes	<p>La T^a superficial máxima admitida, dependiendo de la zona, se determinará respecto a la T^a mínima de ignición.</p> <p>Zona 0 (Eq.Categoría1): T^a superficial máxima admitida inferior al 80% de la TMI.</p> <p>Zona 1 (Categoría 2): T^a superficial máxima admitida inferior a la TMI. (Inferior al 80% de la TMI si no se puede evitar que el gas o vapor se caliente hasta T^a superficial.</p> <p>Zona 2: (Categoría 3): T^a superficial máxima admitida inferior a la TMI.</p>
2	Llamas y gases calientes (incluyendo partículas calientes)	<p>Sólo se deben autorizar llamas desnudas en las siguientes condiciones:</p> <p>Zona 0: No se admiten llamas desnudas, ni gases provenientes de llamas, ni otros gases calientes.</p> <p>Zonas 1 y 2: Sólo se admiten dispositivos con llamas si las llamas están confinadas y no se superan las T^{as} indicadas para las superficies calientes. Además la envolvente debe ser suficientemente resistente para que no se produzca la propagación de la llama en el emplazamiento peligroso. Sólo se pueden introducir gases calientes si se garantiza que no se alcanzará la T^a mínima de ignición de la sustancia peligrosa.</p> <p>En el caso de ser preciso realizar trabajos de corte y soldadura en las zonas clasificadas se debe contar con un sistema de permisos de trabajo.</p>
3	Chispas de origen mecánico	<p>Se debe evitar en las zonas clasificadas el uso de equipos que puedan producir chispas de origen mecánico por fricción, choque o abrasión capaces de provocar la ignición de la ATEX.</p> <p>En cuanto al uso de herramientas portátiles:</p> <p>Zona 0: no se permite el uso de ninguna herramienta que pueda producir chispas.</p> <p>Zonas 1 y 2: se pueden emplear herramientas que durante su utilización sólo pueden producir chispas aisladas como destornilladores o llaves.</p> <p>Sólo se pueden emplear herramientas de acero y/o herramientas portátiles que durante su utilización en trabajos de corte o molienda, generan un haz de chispas, si se garantiza que no existe ninguna ATEX en el momento del uso.</p> <p>El uso de herramientas portátiles en zonas clasificadas debe estar sometido a un</p>

Procedimientos, materiales y métodos

		sistema de permisos de trabajo.
4	Material eléctrico, arcos y chispas eléctricas	<p>Empleo de material eléctrico adecuado para la zona clasificada:</p> <p>Zona0: Categoría 1G.</p> <p>Zona 1: Categorías 1G y 2G.</p> <p>Zona 2: Categorías 1G, 2G y 3G.</p>
5	Corrientes eléctricas parásitas, protección contra la corrosión catódica	<p>Si se han detectado peligros debidos a corrientes eléctricas parásitas y/o la protección contra la corrosión catódica, se deben adoptar medidas de protección especiales para los sistemas con protección contra la corrosión catódica por inyección de corriente.</p> <p>Zona 0: debe aplicarse equipotencialidad a todas las partes conductoras.</p> <p>Zona 1: igual que para la zona 0, salvo que se permite no aplicar las medidas especiales de equipotencialidad a las partes conductoras del sistema que no son adyacentes a las instalaciones eléctricas cuando ya existe un sistema de equipotencialidad formado por las redes de canalizaciones o sistemas completos de puesta a tierra.</p> <p>Zona 2: no es preciso aplicar la equipotencialidad salvo que se produzcan frecuentemente arcos o chispas debidos a corrientes parásitas.</p>
6	Electricidad estática	<p>Para evitar la generación y/o acumulación de cargas electrostáticas la clave está en propiciar la disipación d las cargas:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Uso de ropa y calzado de protección antiestática. - Puesta a tierra y conexión equipotencial de todas las superficies conductoras de manera que la resistencia de tierra del conjunto no supere el valor de $1M\Omega$. - Aumento de la conductividad de materiales. Bien por un aumento de la humedad relativa del aire hasta valores no inferiores del 60%, o por tratamiento superficial al agregar productos antiestáticos a las pinturas. - Empleo de ionizadores de aire para aumentar la conductividad del aire y que éste sea capaz de disipar las cargas electrostáticas que se pueden generar. - Empleo de materiales o productos antiestáticos como plásticos y cintas de material impregnado de partículas conductoras para embalajes, adhesivos, bolsas, brochas y pinceles para operaciones de limpieza, mobiliario antiestático, etc. - Reducción de la velocidad relativa entre superficies de rozamiento: cuanto menor sea la velocidad relativa entre dos superficies, el calentamiento por rozamiento será menor y, por tanto, también se reducirá la excitación atómica de los materiales y su capacidad de cesión y admisión de carga electrostática. - Control de la velocidad de paso de materiales por conductos, cintas, etc.: se puede controlar el ritmo de generación de electricidad estática limitando la velocidad de paso de materiales en el proceso productivo. - Utilización de suelos de material disipador (no aislante). - Instalación de medios conductores de descargas electrostáticas para personas.

Procedimientos, materiales y métodos

7	Rayo	Las instalaciones deben estar protegidas mediante medidas apropiadas de protección contra el rayo. Estas medidas no deben perjudicar a las medidas de protección contra la corrosión catódica.
8	Ondas E.M. de RF de 10^4 a $3 \cdot 10^{12}$ Hz	Como medida de seguridad se debe mantener una distancia de seguridad, en todas las direcciones, entre las partes radiantes más próximas y la antena receptora. Evitar el uso de teléfonos móviles en zonas clasificadas.
9	Ondas E.M. de $3 \cdot 10^{11}$ a $3 \cdot 10^{15}$ Hz	No se deben permitir los dispositivos que puedan provocar la ignición debido a absorción por resonancia. Se puede emplear el material eléctrico adecuado en que además la energía de radiación pulsatoria o flujo de energía de radiación continua sea suficientemente bajo para no provocar la ignición una ATEX en el exterior de la envolvente, o bien que dicha envolvente no permita la penetración de la ATEX.
10	Radiación ionizante	Se puede emplear el material eléctrico adecuad en que además la energía de radiación pulsatoria o flujo de energía de radiación continua sea suficientemente bajo para no provocar la ignición una ATEX en el exterior de la envolvente, o bien que dicha envolvente no permita la penetración de la ATEX.
11	Ultrasonidos	No se deben permitir ondas ultrasónicas con una frecuencia superior a 10 MHz, salvo que esté demostrado que no existe riesgo de ignición por absorción debida a una resonancia molecular. Para ondas de frecuencia de hasta 10 MHz, sólo se deben permitir las ondas ultrasónicas si está garantizada la seguridad del procedimiento de trabajo. La densidad de potencia del campo acústico no debe sobrepasar 1 mW/mm^2 a menos que está probado que no existe riesgo de ignición.
12	Compresión adiabática y ondas de choque	Se deben evitar los procesos que pueden dar lugar a compresiones o a ondas de choque capaces de provocar la ignición. Esto se puede conseguir si, las correderas y válvulas entre secciones del sistema entre las que existe una diferencia de presión elevada, sólo se pueden abrir lentamente.
13	Reacciones exotérmicas, incluyendo la autoignición de polvos	En la medida de lo posible se deben evitar las sustancias con tendencia a la autoignición. Las reacciones exotérmicas pueden actuar como una fuente de ignición cuando la velocidad a la que se genera el calor desprendido de la reacción es mayor que la velocidad de disipación del mismo. De ahí la importancia de un sobredimensionado de la capacidad de refrigeración de equipos que puedan originar esta fuente de ignición.

Tabla 2.37

b) Medidas preventivas para evitar la ignición de ATEX generadas por POLVOS:

	TIPO DE FUENTE DE IGNICIÓN	MEDIDAS PREVENTIVAS
1	Superficies calientes	Seleccionar equipos cuya T ^a superficial máxima sea inferior a 2/3 T _{MIn} para nubes y a T _{Mic} – 75 para capas.
2	Llamas y gases calientes (incluyendo partículas calientes)	<p>Sólo se deben autorizar llamas desnudas en las siguientes condiciones:</p> <p>Zona 20: No se admiten llamas desnudas, ni gases provenientes de llamas, ni otros gases calientes.</p> <p>Zonas 21 y 22: Sólo se admiten dispositivos con llamas si las llamas están confinadas y no se superan las T^{as} indicadas para las superficies calientes. Además la envolvente debe ser suficientemente resistente para que no se produzca la propagación de la llama en el emplazamiento peligroso. Sólo se pueden introducir gases calientes si se garantiza que no se inflamará el polvo depositado.</p> <p>Es necesario controlar la circulación de vehículos para evitar la coexistencia de dichos gases con ATEX así como la posibilidad de que accedan a otras áreas a través de rejillas o huecos comunicantes. En el tubo de escape de motores de combustión, aparte de los gases calientes, también pueden salir partículas incandescentes y llamaradas o fognazos, fuentes potentes de ignición. Se pueden instalar protecciones del tipo apagallamas.</p> <p>En el caso de ser preciso realizar trabajos de corte y soldadura en las zonas clasificadas se debe contar con un sistema de permisos de trabajo.</p>
3	Chispas de origen mecánico	<p>Se debe evitar en las zonas clasificadas el uso de equipos que puedan producir chispas de origen mecánico por fricción, choque o abrasión capaces de provocar la ignición de la ATEX.</p> <p>En cuanto al uso de herramientas portátiles:</p> <p>Zona 20: no se permite el uso de ninguna herramienta que pueda producir chispas.</p> <p>Zonas 21 y 22: se pueden emplear herramientas que durante su utilización sólo pueden producir chispas aisladas como destornilladores o llaves.</p> <p>Sólo se pueden emplear herramientas de acero y/o herramientas portátiles que durante su utilización en trabajos de corte o molienda, generan un haz de chispas, si se garantiza que no existe ninguna ATEX en el momento del uso: si el lugar de trabajo está apantallado, se han retirado los depósitos de polvo o si el lugar de trabajo se mantiene suficientemente húmedo para que el polvo no se pueda dispersar en el aire</p> <p>El uso de herramientas portátiles en zonas clasificadas debe estar sometido a un</p>

Procedimientos, materiales y métodos

		sistema de permisos de trabajo.
4	Material eléctrico, arcos y chispas eléctricas	<p>Empleo de material eléctrico adecuado para la zona clasificada:</p> <p>Zona0: Categoría 1D.</p> <p>Zona 1: Categorías 1D y 2D.</p> <p>Zona 2: Categorías 1D, 2D y 3D.</p>
5	Corrientes eléctricas parásitas, protección contra la corrosión catódica	<p>Si se han detectado peligros debidos a corrientes eléctricas parásitas y/o la protección contra la corrosión catódica, se deben adoptar medidas de protección especiales para los sistemas con protección contra la corrosión catódica por inyección de corriente.</p> <p>Zona 20 y 21: debe aplicarse equipotencialidad a todas las partes conductoras. Las canalizaciones de ventilación y de aspiración de depósitos, deben estar en primer lugar integradas en un sistema de equipotencialidad.</p> <p>Zona 22: no es preciso aplicar equipotencialidad salvo que se produzcan frecuentemente arcos o chispas debidos a corrientes parásitas.</p>
6	Electricidad estática	<p>Para evitar la generación y/o acumulación de cargas electrostáticas la clave está en propiciar la disipación d las cargas:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Uso de ropa y calzado de protección antiestática. - Puesta a tierra y conexión equipotencial de todas las superficies conductoras de manera que la resistencia de tierra del conjunto no supere el valor de $1M\Omega$. - Aumento de la conductividad de materiales. Bien por un aumento de la humedad relativa del aire hasta valores no inferiores del 60%, o por tratamiento superficial al agregar productos antiestáticos a las pinturas. - Empleo de ionizadores de aire para aumentar la conductividad del aire y que éste sea capaz de disipar las cargas electrostáticas que se pueden generar. - Empleo de materiales o productos antiestáticos como plásticos y cintas de material impregnado de partículas conductoras para embalajes, adhesivos, bolsas, brochas y pinceles para operaciones de limpieza, mobiliario antiestático, etc. - Reducción de la velocidad relativa entre superficies de rozamiento: cuanto menor sea la velocidad relativa entre dos superficies, el calentamiento por rozamiento será menor y, por tanto, también se reducirá la excitación atómica de los materiales y su capacidad de cesión y admisión de carga electrostática. - Control de la velocidad de paso de materiales por conductos, cintas, etc.: se puede controlar el ritmo de generación de electricidad estática limitando la velocidad de paso de materiales en el proceso productivo. - Utilización de suelos de material disipador (no aislante). - Instalación de medios conductores de descargas electrostáticas para personas.
7	Rayo	Las instalaciones deben estar protegidas mediante medidas apropiadas de protección contra el rayo. Estas medidas no deben perjudicar a las medidas de protección contra la corrosión catódica.

Procedimientos, materiales y métodos

8	Ondas E.M. de RF de 10^4 a $3 \cdot 10^{12}$ Hz	Como medida de seguridad se debe mantener una distancia de seguridad, en todas las direcciones, entre las partes radiantes más próximas y la antena receptora. Evitar el uso de teléfonos móviles en zonas clasificadas.
9	Ondas E.M. de $3 \cdot 10^{11}$ a $3 \cdot 10^{15}$ Hz	No se deben permitir los dispositivos que puedan provocar la ignición debido a absorción por resonancia. Se puede emplear el material eléctrico adecuado en que además la energía de radiación pulsatoria o flujo de energía de radiación continua sea suficientemente bajo para no provocar la ignición una ATEX en el exterior de la envolvente, o bien que dicha envolvente no permita la penetración de la ATEX.
10	Radiación ionizante	Se puede emplear el material eléctrico adecuado en que además la energía de radiación pulsatoria o flujo de energía de radiación continua sea suficientemente bajo para no provocar la ignición una ATEX en el exterior de la envolvente, o bien que dicha envolvente no permita la penetración de la ATEX.
11	Ultrasonidos	No se deben permitir ondas ultrasónicas con una frecuencia superior a 10 MHz, salvo que esté demostrado que no existe riesgo de ignición por absorción debida a una resonancia molecular. Para ondas de frecuencia de hasta 10 MHz, sólo se deben permitir las ondas ultrasónicas si está garantizada la seguridad del procedimiento de trabajo. La densidad de potencia del campo acústico no debe sobrepasar 1 mW/mm^2 a menos que está probado que no existe riesgo de ignición.
12	Compresión adiabática y ondas de choque	Se deben evitar los procesos que pueden dar lugar a compresiones o a ondas de choque capaces de provocar la ignición. Esto se puede conseguir si, las correderas y válvulas entre secciones del sistema entre las que existe una diferencia de presión elevada, sólo se pueden abrir lentamente.
13	Reacciones exotérmicas, incluyendo la autoignición de polvos	En la medida de lo posible se deben evitar las sustancias con tendencia a la autoignición. Las reacciones exotérmicas pueden actuar como una fuente de ignición cuando la velocidad a la que se genera el calor desprendido de la reacción es mayor que la velocidad de disipación del mismo. De ahí la importancia de un sobredimensionado de la capacidad de refrigeración de equipos que puedan originar esta fuente de ignición.

Tabla 2.38

2.8. MEDIDAS DE PROTECCIÓN:

En algunos casos, las medidas para prevenir la formación de atmósferas explosivas y las fuentes de ignición no pueden realizarse con la fiabilidad suficiente. Entonces deben adoptarse medidas que limiten los efectos de una explosión hasta un nivel inocuo.

Los efectos de una explosión dependerán de:

- La presión y T^{as} iniciales de la explosión.
- La sobrepresión máxima generada por la deflagración o la detonación.
- La velocidad del crecimiento de la presión (gradiente de presión).
- La fuerza de la onda de presión y su impacto con elementos interpuestos, proyección de objetos...
- La formación de onda calorífica, llamas, sustancias tóxicas...

Los sistemas que limiten los efectos de la explosión deben estar diseñados para mitigar o minimizar la explosión, evitando su propagación y/o controlando que la onda de presión no alcance un nivel peligroso.

La elección y diseño de estos sistemas deberá venir avalado por un estudio específico para cada instalación. En el mismo se habrán tenido en cuenta los factores característicos de la misma y aquellos que afectan específicamente a la explosión, tanto en su generación como en su capacidad destructiva. Por ello se considera necesario que dichos estudios los realicen especialistas (de la propia empresa o de fuera de la misma), conjuntamente con los fabricantes de los medios de protección a establecer.

Las principales medidas de protección que permiten atenuar los efectos de la explosión son:

a) Construcciones resistentes a la explosión:

Diseño y construcción de los locales con materiales resistentes al fuego y a la onda de presión en aquellos locales donde la presencia de personal es permanente o asidua (salas de controles) de modo que no se vean afectados en caso de explosión. En general, estas estructuras tienen una masa importante, para resistir las potenciales cargas derivadas de la onda de presión y la inercia de los elementos proyectados. Otro elemento clave es la ductilidad de los materiales, que les permite absorber gran cantidad de energía con o sin deformación pero sin rotura.

b) Confinamiento de la explosión: equipos resistentes a la explosión.

Es una técnica de protección pasiva, que se limita a recipientes de escaso volumen, (de unos pocos metros cúbicos), salvo alguna excepción, ya que es sumamente costoso conseguir recipientes de gran volumen que resistan 10 ó 12 bar.

Estos equipos pueden estar diseñados para resistir la presión máxima de explosión y/o la onda de choque generada por la explosión, sufriendo deformaciones o no. Estos equipos son de construcción robusta, de mayor peso y consecuentemente de un coste económico superior.

Si se opta por este medio de protección, se debe tener en cuenta la resistencia requerida para soportar la explosión que se puede generar en su interior en todas las partes del equipo, incluyendo partes móviles como bocas de hombre, el mantenimiento de dicha resistencia a lo largo de su vida útil así como la adaptación de los métodos de trabajo como las entradas de hombre o las consecuencias de fallos humanos.

c) Dispositivos de descarga de la presión de explosión: venteo de la explosión.

El planteamiento de este tipo de protección se basa en permitir que la explosión se desarrolle, pero bajo condiciones seguras tanto para el personal como para los equipos e instalaciones.

Los equipos se pueden diseñar para que resistan una presión predeterminada de diseño, disponiendo dispositivos de alivio de presión fiables que protejan al sistema contra cualquier presión que sobrepase los límites marcados.

Estos paramentos débiles permiten mediante su rotura o apertura a una presión calibrada, la evacuación de los gases de explosión evitando que el resto del equipo se vea sometido a elevadas presiones. Son elementos de este tipo los paneles de venteo, las puertas de explosión, discos de ruptura...

d) Control de la onda de presión y del frente de llama: equipos supresores de explosiones:

Los sistemas de supresión de explosiones se diseñan para impedir que se desarrollen altas presiones por explosiones de gas o polvo combustible en el interior de espacios o recintos industriales que no han sido diseñados para resistirlas.

Su instalación es especialmente útil en aquellos casos en los que el alivio de explosiones por venteo es impracticable, así como en aquellos otros en los que a la explosión en sí se asocian emisiones de gases, vapores, polvos tóxicos o peligrosos en general para el entorno.

Constan de uno o varios detectores de explosiones incipientes, de una unidad de control y de unos extintores presurizados cuyas válvulas son activadas por el sistema sensor (supresores):

- Detectores:

La detección puede realizarse por presión, mediante un transductor de presión o bien un indicador de ruptura, o mediante detección óptica de infrarrojos (IR) o ultravioleta (UV).

Una condición que deben cumplir los detectores es que deben ser sumamente rápidos y por ello no se utilizan detectores de temperatura, ni tampoco de gases.

- Unidad de control:

Es el cuadro de maniobra que lee las señales del detector o de los detectores, las interpreta a gran velocidad, activa el sistema de supresión, a la vez que para el proceso y da señal de alarma acústica y visual.

- Supresores:

Consiste en un recipiente a presión que contiene un agente extintor, el cual debe inundar la zona a proteger con la suficiente rapidez, como para frenar el avance de la deflagración.

La supresión de la deflagración se basa en dos aspectos:

- El enfriamiento e inertización, por la evaporación en el caso de utilizar agua micronizada.
- La inertización, ya sea por el efecto de las partículas de bicarbonato sódico, absorbiendo los radicales libres de la combustión o por desplazamiento del oxígeno, reduciendo la concentración del mismo.

Pero lo fundamental es el tiempo de descarga, que debe ser suficientemente rápido como para controlar la deflagración en su estado incipiente.

A continuación se muestra un ejemplo de un sistema de supresión de explosiones donde un detector dinámico detecta la explosión (presión), da la señal al panel de control y activa los supresores:

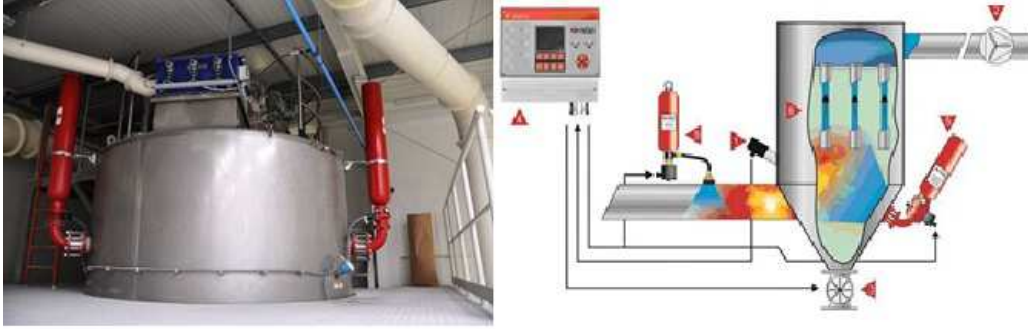


Figura 12

- e) **Sistemas de control técnico. Sistemas de aislamiento de explosiones:** prevención de la propagación de llamas y de la explosión.

Debido a la posibilidad de que una explosión primaria al propagarse genere una explosión secundaria de mayores consecuencias será necesario impedir esta propagación, procediendo a la separación, compartimentación o aislamiento de los sectores, confinando los efectos de la explosión primaria.

Métodos y equipos capaces de aislar o confinar la explosión:

- Separación de zonas o equipos:

Alejamiento, separación de instalaciones, interposición de obstáculos. La mejor protección contra los efectos de una explosión accidental es que exista una distancia amplia entre la misma y los posibles sujetos de daño. Esta es la base de las tablas y fórmulas de distancias en función de la potencial carga explosiva. Las distancias que proporcionan estas fórmulas son muy grandes, y por ello en muchas ocasiones no son en la práctica utilizables.

- Cierres rotativos y tornillos sin fin:

Impiden la transmisión de la llama y de la presión de un lado a otro del cierre.

- Dispositivos para interrumpir las explosiones:

- Apagallamas:

Los apagallamas son barreras mecánicas pasivas capaces de interrumpir el paso de la explosión a lo largo de conductos y tuberías. Consiste en capas de láminas metálicas plegadas a través de las cuales debe pasar el frente de llama, produciéndose su enfriamiento, hasta llegar a la extinción.

Únicamente eficaz para gases. Se emplean para evitar la propagación de explosiones en tuberías, mangueras y venteos de diversos equipos de planta:

Procedimientos, materiales y métodos

tanques, reactores, descarga de cisternas, hornos, quemadores, bombas, compresores, gasómetros, equipos de corte y soldadura, etc.

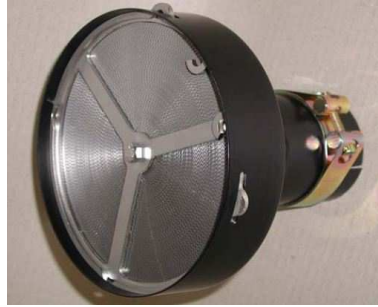


Figura 13

- Diversores o chimeneas de descarga de explosión:

La tobera de descompresión de explosión está diseñada para cambiar la dirección del flujo de aire 180° y parar la propagación de la explosión a lo largo del sistema de conducción ya que, debido a la inercia acelerante de la explosión, ésta tiene el efecto de conservar su dirección inicial en vez de hacer un giro de 180° en forma de U. Mediante la instalación de un codo con una compuerta débil se permite ventear al exterior la explosión, sin propagarla a lo largo de la línea de tuberías o conductos.

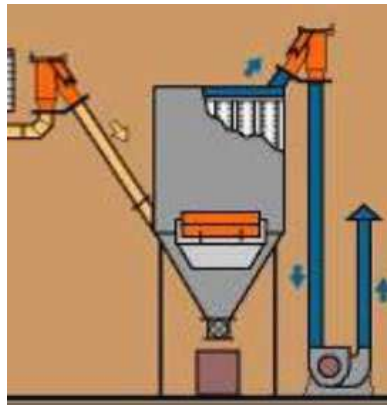


Figura 14

- Válvulas de cierre rápido.



Figura 15

Válvula ventex: Dispositivo pasivo que consiste en una barrera mecánica para procesos en los que se utilicen polvos explosivos. Proporciona un cierre estanco cuando se alcanza un valor de presión. No se evitará la transmisión de la explosión si no se ha alcanzado ese valor que permite la activación del cierre de la misma.

Válvula ventex activa: Opera con un sensor control auxiliar de flujo de gas (chorro de aproximadamente 60 bar de nitrógeno de un contenedor de alta velocidad de descarga) en la dirección del eje de la tubería cerrando la válvula ventex.

Válvula de deslizamiento mecánico o cierre rápido: Evita la propagación de los frentes de llama y de presión. Se instalan entre reactores de distintos procesos donde podría iniciarse una explosión de polvo. El disco de cierre de la válvula es accionado mediante un cilindro de pistón por medio de una corriente de aire comprimido.

Válvula de mariposa: Se emplea en aquellos equipos en los que la explosión primaria ha sido controlada por otros medios, como venteo o supresión de explosión. El sistema utiliza un dispositivo primario de detección que cerrará la válvula de mariposa de acción rápida delante de la onda de presión y el frente de llama.

- Barrera química de frente de llama:

Inyecta un agente extintor en los conductos corriente abajo respecto a la explosión. De esta forma el frente de llama es extinguido en la zona inerte. Consiste en un detector, una unidad de control y una botella de agente extintor.

- Detección y extinción de chispas:

Es un método simplificado de extinción automática en tuberías. Se emplea para la detección de chispas aerotransportadas o puntos incandescentes. El sistema

se compone de una detección óptica, una unidad de control y un sistema de extinción que suele ser una neblina de agua.

2.9. MEDIDAS ORGANIZATIVAS:

Las medidas organizativas deben ser complementarias de las medidas técnicas de preventivas descritas en el apartado anterior, de manera que permitan, mediante la adecuada organización de actividades y fases de trabajo, reducir al mínimo el número de empleados expuestos al riesgo o incluso evitar la exposición de trabajadores al riesgo de explosión.

La planificación del mantenimiento y las revisiones periódicas son medidas imprescindibles en la prevención y protección frente al riesgo de explosión, independientemente del tipo de medidas técnicas que se hayan tomado.

Las principales medidas organizativas se pueden dividir en:

- Instrucciones de servicio para los puestos de trabajo.
- Cualificación de los trabajadores.
- Contenido y frecuencia de la formación.
- Regulación de los equipos de trabajo móviles en las áreas de riesgo.
- Equipos de protección individuales para los trabajadores.
- Sistema de permisos de trabajo y su organización.
- Programa de limpieza.
- Organización de los trabajos de mantenimiento, control y comprobación.
- Señalización de las áreas de riesgo.

2.9.1. Instrucciones de servicio para los puestos de trabajo:

Instrucciones de trabajo por escrito y modos operativos de ejecución: se elaborarán disposiciones y normas de comportamiento relacionadas con actividades que comporten un riesgo especial o que agraven un riesgo existente y de cuya correcta realización pueda depender la seguridad de los trabajadores.

Estas normas deben ser vinculantes y especificar detalladamente la forma de realización, el equipo a utilizar, equipos de protección necesarios y cualquier otra medida necesaria para garantizar la seguridad de los trabajadores. Se comprobará que los trabajadores a los que vayan dirigidas estas instrucciones comprenden y conocen teórica y prácticamente cada uno de los requisitos exigidos.

Las instrucciones de servicio son disposiciones y normas de comportamiento vinculantes relacionadas con la actividad y que el empresario da a los trabajadores por escrito. Son elaboradas por el empresario o una persona capacitada por él designada. Los trabajadores deben observar estas instrucciones, que se refieren a un puesto de trabajo o sector de actividad determinado.

Deben redactarse de tal modo que el trabajador pueda comprender y aplicar su contenido. Si la empresa emplea a trabajadores que no dominan suficientemente la lengua del país, las instrucciones de servicio deberán estar redactadas en una lengua que puedan comprender.

Las instrucciones de servicio deben especificar detalladamente la forma de realización, el equipo a utilizar, equipos de protección necesarios y cualquier otra medida necesaria para garantizar la seguridad de los trabajadores. Las instrucciones de trabajo para lugares de trabajo con riesgo de atmósfera explosiva también deben reflejar especialmente dónde existen, qué riesgos, qué equipos de trabajo móviles se autorizan y si es preciso utilizar algún equipo de protección personal.

2.9.2. Cualificación de los trabajadores:

En relación a la cualificación necesaria para realizar determinadas funciones relacionadas con el R.D. 681/2003 sobre atmósferas explosivas, ya se han expuesto en una tabla al desglosar dicho Real Decreto en el ANEXO I.

En caso de no estar establecida legalmente la cualificación de los trabajadores, será el empresario el que defina y valide la experiencia y formación requerida por el trabajador para desarrollar una determinada actividad.

2.9.3. Contenido y frecuencia de la formación:

Todos los trabajadores propios que acceden o pueden acceder a un área clasificada deben recibir información y formación sobre:

- Los riesgos de explosión existentes en el lugar de trabajo y de las medidas de protección adoptadas (R.D. 681/2003 sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores expuestos a los riesgos derivados de atmósferas explosivas en el lugar de trabajo).
- En esta formación debe explicarse cómo y en qué puntos del lugar de trabajo surge el riesgo de explosión.
- Medidas de protección contra explosiones y explicar su funcionamiento.

- Manipulación correcta de los equipos de trabajo disponibles. Los trabajadores deben ser formados para la ejecución segura de las tareas en áreas de riesgo o proximidad de éstas.
- Significado de la señalización de las áreas de riesgo e indicación de los equipos móviles cuya utilización está autorizada en estas áreas.
- Equipos de protección personal que deben utilizar durante el trabajo.
- Instrucciones de servicio existentes y sistema de permisos.

La formación de los trabajadores se ha de realizar en los momentos que se indican:

- Antes de comenzar su actividad (contratación).
- Un traslado o modificación de sus tareas.
- La introducción o modificación de equipos de trabajo.
- La introducción de una nueva tecnología.
- Debido a bajas de larga duración.

2.9.4. Regulación de los equipos de trabajo móviles en las áreas de riesgo:

Se debe disponer de un listado de equipos de trabajo móviles susceptibles de penetrar en las áreas de riesgo, en el que se identifique en qué zonas clasificadas es adecuado su uso. Este listado se puede incluir como anexo en el Documento de Protección Contra Explosiones.

Cualquier equipo portátil que entre en áreas clasificadas debe cumplir con los requisitos indicados anteriormente.

2.9.5. Equipos de protección individual para los trabajadores:

La gestión de los Equipos de Protección Individual requiere la correcta selección de los mismos para cumplir con los requisitos derivados de la actividad y los riesgos del centro.

Los EPIs utilizados deben cumplir con una doble finalidad, proteger al trabajador frente a los riesgos derivados de su actividad y para el caso de las áreas clasificadas, la prevención de ignición de una posible atmósfera explosiva generada.

El calzado y la ropa que se suministre a los trabajadores expuestos a los riesgos derivados de atmósferas explosivas, para permitir la disipación de las cargas electrostáticas que pudieran generarse, deben estar certificados de acuerdo con el R.D. 1407/1992, de 20 de noviembre.

2.9.6. Sistema de permisos de trabajo:

Se debe establecer un sistema de permisos de actividades con fuego, llamas o cualquier otra fuente de ignición, validados por personal designado competente.

Mediante el Sistema de Permisos de Trabajo, dichos trabajos son autorizados, con anterioridad a su ejecución, por la persona responsable de la empresa en cuestión. Esto se debe aplicar también a los procesos de trabajo que puedan plantear riesgos por solaparse con otros trabajos.

Los permisos de trabajo deben incluir como mínimo:

- El lugar exacto de la empresa en que deben realizarse los trabajos.
- Indicación clara del trabajo que deben efectuarse.
- Indicación de los riesgos.
- Precauciones necesarias; la persona que toma las precauciones debe firmar para acreditar su cumplimiento.
- Equipos de protección personal necesarios.
- Inicio y finalización previsible de los trabajos.
- Aceptación, confirmación y comprensión.
- Procedimiento de extensión/relevo de turno.
- Retorno de la instalación para comprobación y reanudación del servicio.
- Cancelación, instalación probada y reanudación del servicio.
- Parte de cualquier anomalía detectada durante el trabajo.

Al término de los trabajos se comprueba que sigue manteniéndose o se ha restablecido la seguridad de la instalación. Se informa a todos los participantes sobre la finalización de los trabajos.

A modo de orientación, se ha incluido el modelo de permiso de trabajo propuesto en la “Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos derivados de atmósferas explosivas en el lugar de trabajo”, el cual viene especificado en el ANEXO IV.

2.9.7. Programa de limpieza:

La limpieza es una medida básica para evitar la formación de ATEX por polvo y además para evitar sobrecalentamientos en la maquinaria, permanencia de derrames en las instalaciones...

La cantidad necesaria de polvo en suspensión para que se forme la atmósfera explosiva dependerá de cada tipo de sustancia, pero sería suficiente la suspensión de una capa de polvo que se apreciase a simple vista.

Por eso es especialmente importante, a la vez que una medida fácil y poco costosa, el mantener la limpieza adecuada, mediante aspiración, limpieza con paños húmedos de superficies o cualquier otra forma apropiada a la evaluación de riesgos, pero nunca con sistemas que pusiesen en suspensión el polvo, como equipos de barrido o soplado.

La limpieza es tan importante en emplazamientos peligrosos por polvo como la ventilación en los emplazamientos peligrosos por gases o vapores; hasta el punto en que afecta a la clasificación de zonas ATEX.

Se debe incluir el procedimiento de limpieza en las instrucciones de servicio relacionadas con emplazamientos peligrosos donde es posible la formación de atmósferas explosivas potencialmente peligrosas por polvo.

En el ANEXO V, se muestra un ejemplo de tabla para el control del programa de limpieza.

2.9.8. Organización de los trabajos de mantenimiento, control y comprobación:

El mantenimiento comprende las operaciones de reparación, conservación, así como de inspección o verificación.

Antes de empezar un mantenimiento, es preciso informar a todos los participantes y autorizar dichos trabajos a través del sistema de permisos de trabajo. Los trabajos de mantenimiento deben confiarse únicamente a personas capacitadas para ello.

Los trabajos de mantenimiento entrañan un riesgo de accidente más elevado. Por esta razón, resulta necesario poner gran cuidado en la adopción de las necesarias medidas de protección antes, durante y después de su realización.

2.9.9. Señalización de las áreas de riesgo:

Según el apartado 3 del artículo 7 del R.D. 681/2003, los accesos a las áreas en las que puedan formarse ATEX en cantidades tales que supongan un peligro para la salud y la seguridad de los trabajadores deberán señalizarse, cuando sea necesario, con la señal de advertencia que se muestra a continuación:



Las características distintivas de esta señal son:

- Forma triangular.
- Letras negras sobre fondo amarillo, con bordes negros (el amarillo debe cubrir como mínimo el 50% de la superficie de la señal).

Esta señal indica que existe riesgo de explosión, por tanto es la misma independientemente de la clasificación de la zona y del tipo de sustancia que provoque la atmósfera explosiva.

Se puede acompañar, si es necesario, de paneles informativos así como de otras señales apropiadas para la zona.

Se pueden prever también señalizaciones temporales, como acordonar zonas mientras se realizan trabajos puntuales.

2.10. PLANIFICACIÓN Y COORDINACIÓN DE LAS MEDIDAS DE PROTECCIÓN:

2.10.1. Planificación.

El documento de protección contra explosiones siempre debe reflejar la planificación de puesta en marcha de las medidas preventivas.

También deberá indicar quién es la persona responsable o encargada de la aplicación de las medidas, cuándo es preciso aplicar dichas medidas y cómo se controla si éstas son eficaces.

2.10.2. Coordinación:

Los diferentes tipos de relaciones que se pueden dar entre empresarios que coincidan en un mismo centro de trabajo están regulados por el R.D. 171/2004, de 30 de enero, que desarrolla el artículo 24 de la LPRL. En él se establece la obligación general de coordinación a través de un intercambio de información sobre los riesgos específicos de las actividades de cada empresario concurrente que puedan afectar a los trabajadores de las demás empresas.

La coordinación para la protección contra explosiones pretende crear una colaboración segura entre empresario y empresa exterior (todas las empresas y trabajadores autónomos concurrentes en el centro de trabajo), teniendo en cuenta que se realizan las medidas de protección convenidas, y las personas participantes están suficientemente formadas y se comportan con arreglo a las medidas de seguridad convenidas.

Se debe disponer de un procedimiento de “Coordinación de Actividades Preventivas” que recoja las normas a cumplir por parte de las empresas externas, así como una serie de instrucciones escritas en las que se identificarán los riesgos de la instalación y unas medidas de actuación en caso de emergencia.

Este procedimiento de coordinación de actividades empresariales deberá contener:

- Las zonas en que existe o se puede formar una atmósfera explosiva. Actividades a realizar y entorno en el que se van a realizar.
- Las medidas preventivas y de protección a adoptar cuando se realicen trabajos o se manipulen sustancias capaces de generar una atmósfera explosiva.
- Las medidas preventivas y de protección a adoptar si se van a realizar trabajos en caliente o actividades susceptibles de generar fuentes de ignición.
- Los equipos que se deben utilizar y procedimientos de trabajo a cumplir cuando se realicen actividades en zonas clasificadas por riesgo de explosión.
- Cuantas otras medidas estén previstas en la evaluación de riesgos.

Procedimientos, materiales y métodos

Toda esta información se ha de facilitar por escrito, antes de dar inicio a la actividad y ante cualquier modificación que se deba tener en cuenta a fin de poder garantizar la seguridad y la salud de los trabajadores.

En el ANEXO VI, se adjuntan dos tablas como ejemplo tanto para la planificación de medidas, como para la coordinación de actividades preventivas.

3. DESARROLLO, RESULTADOS Y DISCUSIÓN GENERAL:

A continuación se presenta una aplicación práctica de todo lo expuesto anteriormente, no sólo de la clasificación en zonas peligrosas si no también de los medios de prevención y protección necesarios, todo ello acorde a la clasificación realizada y según nos exige la Ley, dando cumplimiento al requisito de cumplimentar el Documento de Protección Contra explosiones (en adelante DPCE).

3.1. RESOLUCIÓN DE CASOS PRÁCTICOS:

En el caso que se presenta, la instalación a estudiar será una empresa de productos lácteos.

Lo primero que se debe de hacer en el estudio de atmósferas explosivas, a fin de rellenar el DPCE (el cual se ha desarrollado extensamente en este proyecto) es identificar las características principales de la instalación en cuanto a qué sustancias emplea y cuáles son sus principales instalaciones para identificar cuáles son las principales fuentes de riesgo.

En el caso que nos ocupa se han estudiado dos plantas diferentes, una en Albacete y otra en Valladolid.

Tras revisar todos los productos que se emplean en ambas instalaciones estudiando las Fichas de Datos de Seguridad (FDS) de cada uno de ellos, llegamos a la conclusión de que las instalaciones y productos peligrosos son los siguientes:

- Planta de Valladolid: en este caso se presentan 2 casos o situaciones peligrosas:
 - Un depósito de gasoil de 6000 l situado al aire libre y con un tejado que protege la instalación de la lluvia.
 - Una sala de refrigeración en la que se encuentra un compresor con 770 l de amoniaco anhidro. En este caso la ventilación es tanto natural como forzada, siendo el caudal de ventilación de 2100 m³/h.
- Planta de Albacete: en el caso de estas instalaciones encontramos otros 2 casos que pueden originar una situación peligrosa:
 - Una sala de calderas de producción de vapor de agua, en este caso alimentadas por gas natural.
 - Una sala de refrigeración en la que se tienen 4 compresores de amoniaco anhidro, que mueven 3000 kg de amoniaco. En el caso de esta sala de refrigeración la ventilación es natural.

Una vez hecha esta primera aproximación a cada uno de los casos, vamos a ir estudiándolos detenidamente uno a uno, para obtener la clasificación en zonas y a

continuación poder aplicar a cada caso las medidas de prevención y protección necesarias, habiendo evaluado previamente el riesgo de forma adecuada y según nos marcan los procedimientos expuestos con anterioridad.

CASO 1: CARGA Y DESCARGA DE DEPÓSITOS DE GASOIL

a) Identificación de emplazamientos:

Como se ha dicho al principio se trata de un depósito de gasoil de 6000 l de capacidad situado al aire libre.

Las características de planta y proceso son:

- Localización: al aire libre.
- Tª de operación: 20°C, menor que el punto de inflamabilidad.
- No se realiza recuperación de vapores.
- Ventilación: velocidad del aire $\geq 2\text{m/s}$

b) Identificación de sustancias:

GASES Y/O VAPORES										
Sustancia inflamable		LIE			Volatilidad					
Nº	Nombre	Pto. De inflamabilidad (°C)	kg/m ³	% Vol	Presión de vapor	Punto de ebullición (°C)	Densidad relativa del gas o vapor	Tª de autoignición (°C)	Grupo y clase de Tª	Peso molecular (g/mol)
1	Gasoil	60	0,13	1,3	0,405	257	3,4	257	T3	220

c) Identificación de fuentes de escape:

En este caso nos encontramos con 3 fuentes de escape, la primera de ellas sería la superficie del líquido dentro del depósito, la segunda sería la boca de carga/descarga y por último los posibles derrames en el suelo.

d) Grado de escape:

En cuanto al grado de escape distinguiremos entre los estos tres tipos: continuo, primario y secundario.

- Continuo: la superficie del líquido.
- Primario: bocas de carga/bocas de descarga.
- Secundario: derrames en el suelo.

e) Análisis de las influencias de todos los escapes:

En este caso los escapes se consideran independientes, por lo que no es necesario aplicar el procedimiento de la suma de escapes múltiples.

f) Cálculo de la tasa de escape:

Para este cálculo nos valdremos de las fórmulas y valores tabulados desarrollados anteriormente:

- Grado primario:
 - Bocas de carga/descarga: tomamos un valor típico tabulado de 0.005 kg/s.
- Grado secundario:
 - Derrames en el suelo: en el caso de derrames en el suelo, siendo este derrame de gasoil, no es necesario tenerlo en cuenta, ya que si nos fijamos en su temperatura de inflamabilidad es de 60° C, con lo que es muy difícil que en condiciones normales, se produzca su inflamación.

g) Ventilación: definición de grado y disponibilidad:

- Tipo de ventilación: natural.
- Grado medio.
- Disponibilidad: normal.
- Velocidad: $\geq 2\text{m/s}$.
- Ineficacia de la ventilación (f_v): 1

h) Determinación del tipo de zona peligrosa:

La tabla 2.7 indica que para un escape de grado primario y disponibilidad normal, se obtiene una zona 1 rodeada de una zona 2.

i) Cálculo de la extensión de la zona:

Para estos cálculos necesitaremos las expresiones siguientes:

- Expresión 2.27 para el cálculo de los caudales mínimos de ventilación:

$$Qv_{min} = \frac{G_{E_{max}}}{k * LIE} * fr$$

- Expresión 2.37 para el cálculo del volumen de atmósfera explosiva, el cual se asimila a una esfera, cuyo radio se calcula fácilmente a partir de ese volumen, siendo éste la extensión de la zona peligrosa.

$$V_z = \frac{Qv_{min}}{0.03} * f_v$$

En tabla presentada a continuación se resumen los resultados de los cálculos realizados:

Desarrollo, resultados y discusión general

Escape	Tasa escape	Grado escape	Coef. Seguridad	LIE	Factor f_t	Caudal vent.	Volumen V_z	Radio esfera
	kg/s		k	kg/m ³		m ³ /s		m
Bocas	5*10 ⁻³	Primario	0.25	0.13	1	0.154	5.13	1.070

Los resultados se han de redondear, quedando definitivamente los valores de 1.1m y 1.6m para bocas de carga/descarga y derrames respectivamente.

j) Clasificación del lugar peligroso:

ZONA 0: interior del depósito.

ZONA 1: 1.1m alrededor de la boca de carga.

ZONA 2: 1.1m alrededor de la zona 1, además de 1.1m en vertical.

Estos resultados serían iguales tanto para el caso de la operación de carga del depósito como la operación de descarga.

CASO 2: SALA DE REFRIGERACIÓN DE NH₃:

a) Identificación de emplazamientos:

Consideramos una sala de igual superficie y dimensiones que la del caso anterior (15 m²) y (5*3*3)m.

En esta sala se encuentra un compresor de amoníaco anhidro, con una capacidad de 770 l. La T^a máxima de trabajo es de 20° C. La ventilación en el caso de esta sala de refrigeración tiene dos componentes, una natural a través de rejillas de (20*15)cm y otra forzada, la cual tiene un caudal de ventilación Q_{v0} de 2100m³/h.

b) Identificación de sustancias:

GASES Y/O VAPORES										
Sustancia inflamable		LIE			Volatilidad					
Nº	Nombre	Pto. De inflamabilidad (°C)	kg/m ³	% Vol	Presión de vapor	Punto de ebullición (°C)	Densidad relativa del gas o vapor	T ^a de autoignición (°C)	Grupo y clase de T ^a	Peso molecular (g/mol)
2	Amoníaco	11	0,114	15	8,6	-33,5	0,588	630	T1	17,03

c) Identificación de fuentes de escape:

Para el caso de este compresor las posibles fuentes de escape se encontrarían en las conexiones y en las válvulas y válvulas de escape (seguridad).

d) Grado de escape:

- Grado continuo: no hay.
- Grado primario:
 - Conexiones.
 - Válvulas.
 - Válvulas de escape.
- Grado secundario: no hay.

e) Análisis de las influencias:

Hemos de considerar 3 elementos que pueden ser una fuente de escape. Como en el caso anterior calcularemos el Q_{vmin} de cada uno de estos escapes y los sumaremos para calcular el volumen y la extensión de la zona peligrosa.

f) Cálculo de la tasa de escape:

Tomamos los valores tabulados para cada uno de los escapes:

- Conexiones: $1.9 \cdot 10^{-8}$ kg/s.
- Válvulas: $5.6 \cdot 10^{-7}$ kg/s.
- Válvulas de escape (seguridad): $1.5 \cdot 10^{-6}$ kg/s.

g) Ventilación: definición de grado y disponibilidad:

- Tipo de ventilación: natural y forzada.
- Grado: medio.
- Disponibilidad: alta.
- Ineficacia de la ventilación (f_v): 4.

h) Determinación del tipo de zona peligrosa:

Como en el resto de casos acudimos a la tabla 2.7 y obtenemos que para un escape primario y disponibilidad alta la zona resultante sería de tipo 1. Como en el caso anterior, si esta no está confinada por paredes se deberá rodear con una zona de tipo 2 de igual extensión.

i) Cálculo de la extensión de la zona:

Las expresiones a utilizar son las mismas que en el caso anterior, por lo que se procedemos a presentar la tabla resumen de resultados:

Desarrollo, resultados y discusión general

Escape	Tasa escape	Grado escape	Coef. Seguridad	LIE	Factor f_t	Caudal vent.	Volumen V_z	Radio esfera
	kg/s		k	kg/m ³		m ³ /s		m
Conex.	1.9*10 ⁻⁸	Primario	0.25	0.114	1	6.67*10 ⁻⁷	2.06*10 ⁻⁴	0.04
Válvula	5.6*10 ⁻⁷	Primario	0.25	0.114	1	1.96*10 ⁻⁵	6.05*10 ⁻³	0.11
Válvula segur.	1.5*10 ⁻⁶	Primario	0.25	0.114	1	5.26*10 ⁻⁵	1.62*10 ⁻²	0.16

Como nos indica el procedimiento vamos a repetir el cálculo para la suma de los caudales de ventilación:

$$Q_{vmin} (\Sigma) = 7.29 \cdot 10^{-5}$$

$$V_z (\Sigma) = 2.25 \cdot 10^{-2}$$

$$R (\text{extension}) = 0.18 \text{ m} \approx 0.20 \text{ m}$$

j) Clasificación del lugar peligroso:

ZONA 0: no existe.

ZONA 1: 0.20 m alrededor de todos los dispositivos y 0.40 m en vertical (ya que se trata de un gas más ligero que el aire).

ZONA 2: 0.20 m alrededor y 0.40 m en vertical de la zona 1.

CASO 3: SALA DE CALDERAS DE GAS NATURAL:

a) Identificación de emplazamientos:

Para este caso tenemos una sala de iguales dimensiones que en los casos anteriores, es decir, 15 m² de superficie y 3 m de altura al techo. En ella se encuentran de nuevo dos calderas de producción de vapor de agua. Ambas calderas trabajan a una presión máxima de 8 bar y las temperaturas máximas son de 172 y 174° C.

La ventilación de que se dispone es de tipo natura a través de rejillas de (20*15)cm como en el resto de casos. El caudal de ventilación de la instalación Q_{v0} es de 0.015 m³/s.

b) Identificación de sustancias:

GASES Y/O VAPORES										
Nº	Sustancia inflamable	Pto. De inflamabilidad (°C)	kg/m ³	% Vol	Presión de vapor	Punto de ebullición (°C)	Densidad relativa del gas o vapor	Tª de autoignición (°C)	Grupo y clase de Tª	Peso molecular (g/mol)
3	Gas Natural		0,0314	4,4		-160	0,6	540	T1	16

c) Identificación de fuentes de escape:

En este caso de calderas de gas natural tenemos como fuentes de escape las válvulas de corte manuales y automáticas, reguladores de presión, dispositivos automáticos de control de presión y filtros.

Cuando realicemos los cálculos debemos tener en cuenta que se trata de 2 calderas, con lo que no tendremos 5 fuentes de escape si no 10.

d) Grado de escape:

- Grado continuo: no existe.
- Grado primario: los 5 escapes nombrados anteriormente.
- Grado secundario: no hay.

e) Análisis de las influencias:

Como ya se ha dicho, se consideran 10 elementos (5 por caldera) en los que puede haber escapes primarios. No se consideran independientes, con lo que como en casos anteriores calcularemos el caudal de ventilación para cada uno de ellos y sumaremos el de los 5 mayores según nos marca el procedimiento.

f) Cálculo de la tasa de escape:

Al igual que en casos precedentes tomaremos valores tabulados:

- Válvula de corte manual: $2.08 \cdot 10^{-8}$ kg/s.
- Regulador de presión: $5.20 \cdot 10^{-9}$ kg/s.
- Dispositivo automático de control de presión: $2.08 \cdot 10^{-8}$ kg/s.
- Válvula de corte automática: $1.04 \cdot 10^{-8}$ kg/s.
- Filtro: $2.08 \cdot 10^{-8}$ kg/s.

g) Ventilación: definición de grado y disponibilidad:

- Tipo: natural.
- Grado: medio.
- Disponibilidad: alta.
- Ineficacia de la ventilación (f_v): 4.

h) Determinación del tipo de zona peligrosa.

Se obtiene una zona 1, la cual al no estar limitada por paredes se ha de rodear con otra zona de tipo 2 de igual extensión a la primera.

i) Cálculo de la extensión de la zona:

Los resultados de los cálculos quedan resumidos en la siguiente tabla:

Desarrollo, resultados y discusión general

Escape	Tasa escape	Grado escape	Coef. Seguridad	LIE	Factor f_t	Caudal vent.	Volumen V_z	Radio esfera
	kg/s		k	kg/m ³		m ³ /s		m
Válvula manual	2.08*10 ⁻⁸	Primario	0.25	0.0314	1	2.65*10 ⁻⁶	3.18*10 ⁻²	0.196
Regulad.	5.2*10 ⁻⁹	Primario	0.25	0.0314	1	6.62*10 ⁻⁷	7.94*10 ⁻³	0.123
Dispos. Autom.	2.08*10 ⁻⁸	Primario	0.25	0.0314	1	2.65*10 ⁻⁶	3.18*10 ⁻²	0.196
Válvula autom.	1.04*10 ⁻⁸	Primario	0.25	0.0314	1	1.32*10 ⁻⁶	1.58*10 ⁻²	0.156
Filtro	2.08*10 ⁻⁸	Primario	0.25	0.0314	1	2.65*10 ⁻⁶	3.18*10 ⁻²	0.196

Realizamos los cálculos nuevamente, pero para el valor de la suma de los caudales de ventilación como nos manda el procedimiento.

$$Q_{vmin} (\Sigma) = 1.33 \cdot 10^{-5}.$$

$$V_z (\Sigma) = 0.160 \text{ m}^3.$$

$$R (\text{extension}) = 0.337 \text{ m}.$$

j) Clasificación del lugar peligroso:

ZONA 0: no aplica.

ZONA 1: 0.35 m alrededor de los elementos del quemador y 0.70 en vertical por tratarse de un gas menos denso que el aire.

ZONA 2: 0.35 m alrededor de la zona 1 y otros 0.70 m en vertical.

CASO 4: SALA DE REFRIGERACIÓN DE NH₃:

a) Identificación de emplazamientos:

En el caso de esta sala de refrigeración, nos encontramos con 4 compresores de NH₃. Las dimensiones de la sala son iguales que en el resto de casos, es decir, una superficie de 15 m² y una altura al techo de 3 m.

En cuanto a la ventilación disponible en esta sala, se trata de un tipo de ventilación natural, a través de unas rejillas de superficie (20*15)cm². Con estas dimensiones y adoptando como velocidad del aire un valor de 0.5 m/s, el caudal de ventilación de esta instalación es igual a 0.015 m³/s.

Desarrollo, resultados y discusión general

b) Identificación de sustancias:

GASES Y/O VAPORES										
	Sustancia inflamable			LIE		Volatilidad				
Nº	Nombre	Pto. De inflamabilidad (°C)	kg/m ³	% Vol	Presión de vapor	Punto de ebullición (°C)	Densidad relativa del gas o vapor	Tª de autoignición (°C)	Grupo y clase de Tª	Peso molecular (g/mol)
2	Amoniaco	11	0,114	15	8,6	-33,5	0,588	630	T1	17,03

c) Identificación de fuentes de escape:

Para este caso, tenemos las mismas fuentes de escape que en el caso de la sala de refrigeración estudiada anteriormente, es decir, conexiones, válvulas y válvulas de escape (de seguridad).

d) Grado de escape:

- Continuo: no existen escapes de grado continuo.
- Primario:
 - Conexiones.
 - Válvulas.
 - Válvulas de escape (seguridad).
- Secundario: no hay escapes de grado secundario.

e) Análisis de las influencias:

En esta situación consideramos 12 elementos (3 por cada uno de los 4 compresores) en los que pueden aparecer escapes primarios. Según nos marca el procedimiento, calcularemos el caudal de Q_{vmin} para cada uno de esos escapes y sumaremos el de los 5 mayores para repetir los cálculos de volumen y extensión con ese nuevo valor de la suma.

f) Cálculo de la tasa de escape:

Los valores los obtenemos de las tablas como en los casos anteriores:

- Conexiones: $1.9 \cdot 10^{-8}$ kg/s.
- Válvulas: $5.6 \cdot 10^{-7}$ kg/s.
- Válvulas de seguridad: $1.5 \cdot 10^{-6}$ kg/s.

g) Ventilación: Definición de grado y disponibilidad:

- Tipo: natural.
- Grado: medio.
- Disponibilidad: alta.
- Ineficacia de la ventilación (f_v): 4

h) Determinación del tipo de zona peligrosa:

El resultado que se obtiene para un escape primario y disponibilidad alta es de una zona 1, la cual se ha de rodear con una zona 2 si la primera no se encuentra confinada entre paredes.

i) Cálculo de la extensión de la zona:

Resumimos los resultados en la tabla presentada a continuación:

Escape	Tasa escape	Grado escape	Coef. Seguridad	LIE	Factor f_t	Caudal vent.	Volumen V_z	Radio esfera
	kg/s		k	kg/m ³		m ³ /s		m
Conex.	$1.9 \cdot 10^{-8}$	Primario	0.25	0.114	1	$6.67 \cdot 10^{-7}$	$8.01 \cdot 10^{-3}$	0.124
Válvula	$5.6 \cdot 10^{-7}$	Primario	0.25	0.114	1	$1.96 \cdot 10^{-5}$	0.235	0.383
Válvula segur.	$1.5 \cdot 10^{-6}$	Primario	0.25	0.114	1	$5.26 \cdot 10^{-5}$	0.631	0.532

Lo que nos resta por hacer por último es realizar los cálculos con la suma de los caudales.

$$Q_{vmin} (\Sigma) = 2.30 \cdot 10^{-4}$$

$$V_z (\Sigma) = 2.76 \text{ m}^3$$

$$R (\text{extension}) = 0.87 \text{ m}$$

j) Clasificación del lugar peligroso:

ZONA 0: no existe.

ZONA 1: 0.90 m alrededor de los elementos de escapa y 1.80 m en vertical, al tratarse de un gas más ligero que el aire.

ZONA 2: 0.90 m alrededor de la zona 1 y otros 1.80 m en vertical.

Ya hemos obtenido la **CLASIFICACIÓN** de todos los lugares peligrosos identificados en estas instalaciones.

Lo que debemos hacer a continuación es identificar las posibles **FUENTES DE IGNICIÓN**, para poder después valorar el riesgo que suponen esas atmósferas explosivas y proponer unas medidas para, en primer lugar intentar eliminarlas y en caso de que no sea posible, limitar sus posibles consecuencias con unos adecuados medios de protección, no sólo físicos si no también de carácter organizativo.

Las fuentes de ignición identificadas para estas instalaciones son las siguientes:

- Superficies calientes:
 - Tuberías de vapor: en los casos de las calderas de gas natural.

- Llamas desnudas:
 - Presentes en operaciones de mantenimiento, como pueden ser operaciones de oxicorte, soldeo, etc.
 - Gases calientes presentes en esas operaciones de soldeo y oxicorte entre otras.
- Chispas de origen mecánico:
 - Al realizar trabajos de mantenimiento manipulando herramientas metálicas que golpean entre sí, contra otros metales, con el hormigón, etc.
- Material eléctrico:
 - Apagado y encendido de circuitos.
 - Cortocircuitos por conexiones en mal estado o trabajos mal efectuados (en condiciones peligrosas).
- Rayo:
 - Principalmente en el caso del depósito de gasoil al aire libre.

Hemos identificado las posibles fuentes de ignición y como se puede observar, la práctica totalidad de ellas están relacionadas con equipos y herramientas en las operaciones de mantenimiento.

A continuación lo que hemos de hacer, tal y como hemos visto en la parte de métodos, es **VALORAR EL RIESGO** en función de la probabilidad y las consecuencias.

Para valorar la probabilidad de explosión, debemos estudiar las dos probabilidades de que proviene:

- Probabilidad de que exista una atmósfera explosiva (ver el resultado de la clasificación).
- Probabilidad de que exista una fuente de ignición efectiva.

Esta última puede valorarse en una escala de 5 valores, los cuales se presentan a continuación:

- Frecuente (F): la activación de la fuente de ignición es permanente o sucede con mucha frecuencia. Los equipos instalados en la zona clasificada son convencionales (sin protección).

Desarrollo, resultados y discusión general

- Probable (P): la activación de la fuente de ignición se produce normalmente. Equipos de categoría o modo de protección no suficiente para la zona clasificada en la que se encuentran.
- Ocasional (O): la activación de la fuente de ignición se produce algunas veces. Equipos de categoría o modo de protección adecuados para la zona clasificada en la que se encuentran pero sin el mantenimiento adecuado (posible fuente de ignición por mal funcionamiento del equipo).
- Remota (R): es muy raro, aunque posible que se produzca la activación de la fuente de ignición. Equipos de categoría o modo de protección adecuados para la zona clasificada en la que se encuentran y con el mantenimiento adecuado (posible fuente de ignición por mal funcionamiento raro del equipo).
- Improbable (I): no se espera que se produzca la activación de la fuente de ignición. El riesgo de existencia y activación de focos de ignición en las zonas clasificadas está controlado.

Así, la probabilidad de presencia del riesgo de explosión vendrá dada por una tabla como la siguiente:

		PRESENCIA DE ATMÓSFERAS EXPLOSIVAS		
		ZONA 2	ZONA 1	ZONA 0
PRESENCIA DE FUENTES DE IGNICIÓN	I IMPROBABLE	IMPROBABLE	IMPROBABLE	REMOTA
	R REMOTA	IMPROBABLE	REMOTA	OCASIONAL
	O OCASIONAL	IMPROBABLE	OCASIONAL	PROBABLE
	P PROBABLE	IMPROBABLE	PROBABLE	PROBABLE
	F FRECUENTE	IMPROBABLE	PROBABLE	FRECUENTE

Definamos pues la probabilidad de activación de las fuentes de ignición:

- Superficies calientes: la probabilidad la definiremos como probable, puesto que el flujo de vapor de agua por las tuberías es constante, luego es una fuente que está siempre activada.

Desarrollo, resultados y discusión general

- Llamas desnudas y chispas de origen mecánico: se deben a operaciones de mantenimiento, que tienen una ocurrencia periódica, luego definiremos esta probabilidad como ocasional.
- Material eléctrico: en este sentido, la probabilidad la definiremos como remota.
- Rayo: esta probabilidad la definiremos como remota.

Analizaremos ahora caso por caso la probabilidad de presencia de explosión, valiéndonos de la tabla anterior:

CASO 1:

- ZONA 0 + Llamas y chispas de origen mecánico (Ocasional) = PROBABLE.
- ZONA 1 + Llamas y chispas de origen mecánico (Ocasional) = OCASIONAL.
ZONA 1 + Rayo (Remota) = REMOTA.

En este caso, en el que para una misma zona nos salen dos probabilidades distintas, elegiremos la que nos proporciona un mayor nivel de seguridad, la más restrictiva, es decir, que la probabilidad será OCASIONAL.

- ZONA 2, el resultado es IMPROBABLE.

CASO 2:

- ZONA 1 + Llamas y chispas de origen mecánico (Ocasional) = OCASIONAL.
ZONA 1 + Material eléctrico (Remota) = REMOTA.

En caso de dos resultados, como hemos hecho en el apartado anterior, nos quedamos con la opción más restrictiva, es decir, OCASIONAL.

- ZONA 2, el resultado es IMPROBABLE.

CASO 3:

- ZONA 1 + Superficies calientes (Probable) = PROBABLE.
ZONA 1 + Llamas y chispas de origen mecánico (Ocasional) = OCASIONAL.
ZONA 1 + Material eléctrico (Remota) = REMOTA.

Como en otros casos, elegimos la más restrictiva, es decir, PROBABLE.

- ZONA 2, el resultado es IMPROBABLE.

CASO 4:

- ZONA 1 + Llamas y chispas de origen mecánico (Ocasional) = OCASIONAL.
ZONA 1 + Material eléctrico (Remota) = REMOTA.
Elegimos como opción más segura la probabilidad OCASIONAL.
- ZONA 2, el resultado es IMPROBABLE.

Nos queda ahora definir la **SEVERIDAD** de los daños para finalmente poder valorar el nivel de riesgo y proponer las acciones correctivas.

Como vimos en el apartado de métodos la severidad se expresa en estos niveles:

	DESCRIPCIÓN	DEFINICIÓN DEL SUCESO	LOCALIZACIÓN
1	CATÁSTROFE	Se prevén muertes o pérdida de sistemas.	Existencia de trabajadores en la localización de la explosión.
2	MAYOR	Se prevén daños severos, accidentes laborales graves o daños graves al sistema.	Existencia de trabajadores cercanos a la localización de la explosión sin existencia de barreras de protección.
3	MENOR	Se prevén daños menores, accidentes laborales leves o leves daños al sistema.	Existencia de trabajadores cercanos a la localización de la explosión con existencia de barreras de protección.
4	INSIGNIFICANTE	Se prevé nivel inferior de daños, incidente laboral o daños insignificantes al sistema	Existencia de trabajadores alejados en otros lugares del interior de la explotación o no existencia de trabajadores en el interior de la explotación.

Para estos casos, las **CONSECUENCIAS** se consideran de tipo mayor, ya que pueden suponer daños severos tanto a personal como a las instalaciones.

Con este nivel de severidad definido y con el nivel de probabilidad de presencia de explosión que se ha obtenido anteriormente, procedemos obtener el nivel de riesgo valiéndonos de la siguiente tabla:

Desarrollo, resultados y discusión general

		CONSECUENCIAS			
		4	3	2	1
		INSIGNIFICANTE	MENOR	MAYOR	CATÁSTROFE
PROBABILIDAD DE EXPLOSIÓN	I IMPROBABLE	D	C	C	B
	R REMOTA	D	C	B	A
	O OCASIONAL	D	B	B	A
	P PROBABLE	C	B	A	A
	F FRECUENTE	C	A	A	A

siendo,

NIVEL DE RIESGO	ACCIÓN Y TEMPORARIZACIÓN
D TOLERABLE	No se necesita mejorar la acción preventiva. Sin embargo, se deben considerar soluciones más rentables o mejoras que no supongan una carga económica importante. Se requieren comprobaciones periódicas para asegurar que se mantiene la eficacia de las medidas de control.
C MODERADO	Se deben hacer esfuerzos para reducir el riesgo, determinando las inversiones precisas. Las medidas para reducir el riesgo deben implantarse en un período determinado. Cuando el riesgo moderado está asociado a una severidad mayor se precisará una acción posterior para establecer con más precisión la probabilidad de daño como base para determinar la necesidad de mejora de las medidas de control.
B IMPORTANTE	No debe comenzarse el trabajo hasta que se haya reducido el riesgo. Puede que se precisen recursos considerables para mejorar el riesgo. Cuando el riesgo corresponda a un trabajo en ejecución, debe remediarse el problema en un tiempo inferior al de los riesgos moderados.
A INTOLERABLE	No debe comenzarse ni continuar el trabajo hasta que se reduzca el riesgo. Si no es posible reducir el riesgo, incluso con recursos ilimitados, debe prohibirse el trabajo. Este tipo de trabajo requiere tanto la aplicación de medidas técnicas como de medidas organizativas.

Desarrollo, resultados y discusión general

Con todo esto, obtenemos niveles de riesgo que van desde **MODERADO (C)** hasta **INTOLERABLE (A)**, con lo que en todo caso, se necesitará proponer medidas para reducir el riesgo.

Empezaremos con las **MEDIDAS PREVENTIVAS** para impedir la **FORMACIÓN** de ATEX. De acuerdo con los principios generales de acción preventiva definidos en el artículo 15.1 de la LPRL, la primera actuación es siempre evitar los riesgos.

A estos efectos podemos adoptar las siguientes medidas:





- Sustitución de las sustancias inflamables: podríamos sustituir los compresores de amoníaco, por otros que utilicen como sustancia refrigerante, una no inflamable como puede ser el agua. No obstante, el rendimiento de estos compresores es menor que el de los compresores de amoníaco, por lo que puede resultar una medida no del todo rentable.

En cuanto a las calderas, se podrían cambiar las de gasoil por unas de gas natural, ya que tiene un punto de ignición más elevado, con lo que puede resultar menos peligroso. Sin embargo, puede resultar una medida que requiera una gran inversión, con lo que debería planificarse correctamente esta sustitución para producir un impacto económico lo menos significativo posible.

- Limitación de la concentración: para ello se debería trabajar sobre la ventilación. Cabría la posibilidad de instalar sistemas de ventilación forzada o bien sustituir las rejillas de ventilación que son pequeñas (sus dimensiones son las más pequeñas disponibles) por otras de mayor tamaño a fin de aumentar el caudal de ventilación de la instalación.
- Utilización de aparatos detectores de gas: estos aparatos han de ser adecuados al uso en atmósferas explosivas (atendiendo al tipo de zona en el que se encuentran). Su trabajo es verificar que la concentración en el ambiente es menor al LIE, dando la orden de parar la actividad en el momento en el que esa concentración es mayor.

En el caso de que no haya sido posible evitar la formación de la atmósfera explosiva, será necesario proponer **MEDIDAS PREVENTIVAS** para evitar la **IGNICIÓN**:

Desarrollo, resultados y discusión general

- Superficies calientes: se propone en estos casos usar equipos adecuados a cada una de las zonas, es decir, equipos de categoría 1 para las zonas clasificadas como tipo 0, equipos de categoría 2 para las zonas de tipo 1 y equipos de categoría 3 para las áreas clasificadas como zona 2.
- Llamas y chispas de origen mecánico: las recomendaciones en estos casos son las siguientes:
 - No se deben admitir llamas desnudas en las zonas de tipo 0. Sin embargo, este tipo de zona, se ha dado en un único caso en el interior de un depósito. Es evidente, que los trabajos en esta zona se harán con el depósito vacío y con el proceso totalmente suspendido. Con los debidos procedimientos de trabajo, controlados por un adecuado sistema de permisos de trabajo, podrían llegarse a admitir este tipo de llamas en las zonas citadas.
 - Se debe evitar en las zonas clasificadas el uso de equipos que produzcan chispas de origen mecánico. Para el uso de herramientas portátiles, no se permite en el caso de las zonas de tipo 0, mientras que en las zonas de tipo 1 y 2 se permiten sólo herramientas que produzcan chispas aisladas como destornilladores o llaves. En cualquier caso, el uso de estas herramientas debe estar sujeto a un sistema de permisos de trabajo.
- Material eléctrico: como es lógico en el caso del material eléctrico se elegirá el que por sus características sea el más adecuado a cada una de las zonas clasificadas:
 - Zona 0: Equipos de categoría 1G, cuyo marcado sea del tipo:
 II 1G Ex ia IIA T3 (Gasoil)
 - Zona 0: Equipos de categoría 1G, cuyo marcado sea del tipo:
 II 1G Ex ia IIA T1 (Amoniaco y gas natural). En estos casos, en la clase de T^a podrían aparecer sus T^{as} de ignición.
 - Zona 1: Equipos de categorías 1G o 2G, cuyo marcado sea del tipo:
 II 2G Ex d IIA T3 (Gasoil)
 - Zona 2: Equipos de categorías 1G, 2G o 3G, con el marcado del tipo:
 II 2G Ex n IIA T1 (Amoniaco o gas natural)
- Rayo: las instalaciones estarán protegidas con medidas apropiadas de protección contra el rayo, como pueden ser sistemas de puesta a tierra, pararrayos, etc.

En cuanto a las **MEDIDAS de PROTECCIÓN**, es decir que limiten los efectos de las explosiones, podríamos adoptar las siguientes:

- Instalación de dispositivos de descarga de la presión de explosión: este tipo de protección permite que la explosión se desarrolle pero bajo condiciones seguras para personal y equipos. Estas instalaciones consisten en unos dispositivos que alivian la presión mediante la evacuación de los gases de explosión.
- Instalación de equipos supresores de explosiones.
- Instalación de equipos para aislar o confinar la explosión:
 - Instalación de cierres rotativos, que impiden la transmisión de la llama.
 - Instalación de apagallamas, chimeneas de descarga de explosión, válvulas de cierre rápido (como válvulas ventex), etc.

También podría ser interesante aplicar ciertas **MEDIDAS ORGANIZATIVAS**, como pueden ser las siguientes:

- Instrucciones de servicio para los puestos de trabajo, las cuales han de incluir:
 - Forma de realización del trabajo.
 - Equipos de trabajo móviles que se autorizan
 - Equipos de protección necesarios.
- Cualificación de los trabajadores: según lo recogido en el R.D. 681/2003.
- Formación e información adecuada a los trabajadores, la cual debe ser revisada y actualizada con frecuencia y debe incluir:
 - Los riesgos existentes en el lugar de trabajo.
 - Medidas de protección contra explosiones y explicación de su funcionamiento.
 - Manipulación correcta de los equipos de trabajo.
 - Significado de la señalización.
 - EPIS que han de utilizar.
 - Instrucciones de servicio y sistema de permisos de trabajo.

Además, es conveniente que la formación de los trabajadores se realice en los momentos siguientes:

- Antes de comenzar la actividad, es decir, justo después de la contratación.

Desarrollo, resultados y discusión general

- En el momento en que el trabajador comience una nueva actividad en la empresa.
- Cuando se introduzcan nuevos métodos e instrumentos de trabajo en la organización.
- Cuando el trabajador retoma la actividad después de una baja prolongada.
- Equipos de protección individual para los trabajadores (EPIS): el empresario está obligado a proporcionar equipos de protección individual a los trabajadores, los cuales han de estar certificados de acuerdo con el R.D. 1407/1992.
- Establecer permisos de trabajo, sobre todo para las operaciones de mantenimiento, en las zonas de riesgo por chispas y llamas, superficies calientes y riesgo por fuentes de ignición de tipo eléctrico. El modelo de permiso de trabajo que se propone está recogido en el ANEXO IV.
- Establecer un programa de limpieza: aunque no existan atmósferas explosivas producidas por polvos, es importante mantener un buen nivel de orden y limpieza a fin de evitar sobrecalentamientos, permanencia de derrames, etc. En el ANEXO V, se propone una tabla de registro del control de la limpieza.
- Señalización: se ha de realizar conforme a lo expuesto en el R.D. 681/2003. Esta señalización será la misma independientemente del tipo de zona clasificada. Constará de una señal triangular, con fondo amarillo y bordes y pictograma de color negro, como la que se muestra a continuación:



Esta señal se puede acompañar de otros paneles informativos, además de otras señales apropiadas para la zona.

Desarrollo, resultados y discusión general

Todas estas medidas de protección han de **PLANIFICARSE** en el tiempo, dando siempre prioridad a aquellas que supongan una reducción de los riesgos más elevados, es decir, los de nivel intolerable o importante.

En el ANEXO VI, se adjunta una tabla para la planificación de las medidas preventivas.

4. CONCLUSIONES.

Como primera conclusión de este trabajo, se ha de destacar la importancia de la elaboración de un Documento de Protección Contra Explosiones. Este nos ayuda a obtener una imagen fiel en cuanto a los riesgos de explosión dentro de la actividad que desarrolle la empresa.

Es sabido que el estudio de este tipo de riesgo es de vital importancia para la seguridad de la empresa, debido a la severidad en cuanto a las consecuencias que este tipo de riesgos tienen para la empresa, tanto personales en forma de riesgos de salud para los trabajadores, que podrían perder incluso su vida, como riesgos económicos para la empresa al suponer estos riesgos un fuerte daño a las instalaciones.

El Documento de Protección Contra Explosiones es pues, una herramienta de suma importancia, que nos ayudará a poner los medios necesarios para eliminar este riesgo, tal como nos indica la Ley de Prevención de Riesgos Laborales o en su defecto, poder reducirlo lo máximo posible y poder minimizar las consecuencias proporcionando los medios preventivos y de protección más adecuados en cada caso.

El DPCE ha de poner especial énfasis en dos puntos fundamentales, que son los que nos definen el riesgo de explosión: por un lado la identificación de productos inflamables que son susceptibles de formar una atmósfera explosiva al mezclarse con el aire (revisando sus parámetros de inflamabilidad en las Fichas de Datos de Seguridad) y por otro lado la identificación de posibles fuentes de ignición y su probabilidad de activación. Estos dos elementos son los que definen una atmósfera explosiva y en ellos centraremos los estudios: eliminando o reduciendo tanto la probabilidad de formación de la atmósfera explosiva, como su probabilidad de activación, estamos reduciendo el riesgo de explosión.

Pero, ¿qué forma tenemos de evaluar esas probabilidades y de reducir en consecuencia el riesgo? Una vez hechas las actividades previas de identificación de la empresa, de los procesos productivos y de la identificación de instalaciones y sustancias peligrosas, procedemos a la tarea de evaluación propiamente dicha, empezando por la clasificación en zonas peligrosas, tanto para gases y vapores como para polvos, para a continuación medir tanto las probabilidades de formación de la atmósfera explosiva como de activación de las fuentes de ignición y finalmente proponer unas medidas. Estas medidas, tal y como se ha visto a lo largo de todo el trabajo y como se ha dicho en

estas líneas de conclusión, se centrarán primeramente en intentar evitar la formación de la atmósfera explosiva, tratar de evitar su ignición en el caso de que no haya sido posible impedir su formación y en último caso en proporcionar medios de protección para reducir las consecuencias de la explosión en el caso de que todas las medidas anteriores no hayan sido suficientes.

Será de suma importancia igualmente proponer una serie de medidas organizativas, que influyen directamente sobre las actuaciones de los trabajadores, haciendo hincapié además en tareas de planificación y coordinación de todas las actividades para asegurar completamente el buen funcionamiento de la empresa y la ausencia por tanto de actuaciones que incrementen el riesgo de explosión.

Empezaremos pues, analizando de forma resumida los pasos a seguir para la clasificación en zonas peligrosas, es decir, las zonas en las que es posible la formación de la atmósfera explosiva.

CLASIFICACIÓN PARA GASES Y VAPORES:

1. Identificación de emplazamientos:
 - a. Localización: aire libre, interior...
 - b. Ventilación: natural, forzada, caudal de ventilación,...
 - c. Tª máxima de operación
2. Identificación de las sustancias: las sustancias inflamables y/o combustibles se identifican, a través de sus Fichas de Datos de Seguridad. Para ello deberán aparecer uno de los siguientes pictogramas o frases R:



R10 Inflamable
R11 Fácilmente inflamable
R12 Extremadamente inflamable

Los datos pueden resumirse en una tabla como la siguiente:

GASES Y/O VAPORES										
Sustancia inflamable			LIE			Volatilidad				
Nº	Nombre	Pto. De inflamabilidad (°C)	kg/m ³	% Vol	Presión de vapor	Punto de ebullición (°C)	Densidad relativa del gas o vapor	Tª de autoignición (°C)	Grupo y clase de Tª	Peso molecular (g/mol)

3. Identificación de fuentes de escape: en este punto, analizando las características de aparatos y procesos, distinguiremos en nuestros equipos e instalaciones cuáles pueden ser posibles fuentes de escape de que supongan un riesgo de ignición de la atmósfera explosiva.
4. Grado de escape: una vez identificadas las fuentes de escape las clasificaremos según una escala de tres valores:
 - a. Continuas.
 - b. Primarias.
 - c. Secundarias.
5. Análisis de las influencias: como ya hemos visto, en caso de fuentes de escape múltiples, debe determinarse el caudal mínimo de ventilación para cada una de ellas y procederse de la siguiente manera:
 Sumarlas según marca la tabla 2.8, donde el número de fuentes que se debe utilizar se obtiene aplicando la tabla 2.9

Grado de escape	Acción para $Q_{v_{min}}$
Continuo	Sumar todos los valores de $Q_{v_{min}}$ y aplicar el resultado total en las fórmulas de cálculo
Primario	Sumar el número correspondiente de la 2.9 de los valores de $Q_{v_{min}}$ y aplicar el resultado total en las fórmulas de cálculo
Secundario	Usar sólo el mayor valor de $Q_{v_{min}}$ y aplicarlo en las fórmulas de cálculo

Tabla 2.8

Número de fuentes de escape primarias	Numero de escapes primarios considerables simultáneos (escoger las más desfavorables para la ventilación)
1	1
2	2
3 a 5	3
6 a 9	4
10 a 13	5
14 a 18	6
19 a 23	7
24 a 27	8
28 a 33	9
34 a 39	10
40 a 45	11
46 a 51	12
> 51	12 + 20% (n-51)

Tabla 2.9

6. Cálculo de la tasa de escape: para ello tenemos dos posibilidades:
 - a. Mediante fórmula.
 - b. Mediante tablas (los valores de éstas, han sido obtenidos mediante análisis estadísticos). Es la opción elegida en la parte de desarrollo de este proyecto, por su comodidad y menor complejidad, además de tratarse de valores completamente fiables.
7. Ventilación: definición de grado y disponibilidad:
 - a. Tipo: natural o forzado.
 - b. Grado: distinguiremos entre tres niveles que son, intenso o alto, medio y bajo.
 - c. Disponibilidad: en la que también distinguiremos tres niveles que son alto, medio y bajo.
 - d. Ineficacia de la ventilación (fv): un valor que toma valores de 1 (situación ideal de ventilación) a 5 (circulación de aire con dificultades debido a los obstáculos).
8. Determinación del tipo de zona peligrosa: para ello y una vez resuelto el punto anterior, nos valemos de la siguiente tabla:

VENTILACIÓN	GRADO	VA			VM			VB
	DISPONIBILIDAD	Alta	Normal	Pobre	Alta	Normal	Pobre	
GRADO DE ESCAPE	CONTINUO	(Zona 0 ED)	(Zona 0 ED)	(Zona 0 ED)				
						Zona 0	Zona 0	
		Sin riesgo	Zona 2	Zona 1	Zona 0	Zona 2	Zona 1	Zona 0
	PRIMARIO	(Zona 1 ED)	(Zona 1 ED)	(Zona 1 ED)				
						Zona 1	Zona 1	
		Sin riesgo	Zona 2	Zona 2	Zona 1	Zona 2	Zona 2	Zona 1
	SECUNDARIO	(Zona 2 ED)	(Zona 2 ED)					
								Zona 1
		Sin riesgo	Sin riesgo	Zona 2	Zona 2	Zona 2	Zona 2	^o Zona 0

9. Cálculo de la extensión de la zona:
 - a. Caudal mínimo de ventilación:

$$Qv_{min} = \frac{G_{Emax}}{k * LIE} * ft$$
 - b. Volumen de la atmósfera explosiva (asimilable a una esfera): donde distinguiremos:
 - i. Si está al aire libre:

$$V_z = \frac{Qv_{min}}{0.03} * f_v$$
 - ii. Si está en un ambiente cerrado:

$$V_z = \frac{G_{Emax}}{k * LIE} * f_t * V_o * f_v$$

- c. Extensión de la zona: al ser el volumen asimilable a una esfera, al calcular el radio de la misma calcularemos la extensión de la atmósfera explosiva.
10. Clasificación del lugar peligroso: se trata en este punto de resumir cuales han sido las zonas obtenidas según el nivel de ventilación de acuerdo a las tablas y las extensiones que tenga cada una, las cuales las hemos calculado en el punto anterior.

CLASIFICACIÓN PARA POLVOS:

En el caso de la clasificación de zonas para polvos sigue el mismo esquema que hemos visto para la clasificación de zonas para gases y vapores.

EVALUACIÓN DEL RIESGO:

Una vez que hemos llevado a cabo la clasificación en zonas peligrosas, procedemos a evaluar el riesgo. Para ello seguimos los siguientes pasos:

1. Identificación de fuentes de ignición: las cuales podrían ser:
 - a. Superficies calientes.
 - b. Llamas y gases calientes (incluyendo partículas calientes).
 - c. Chispas de origen mecánico.
 - d. Material eléctrico.
 - e. Corrientes eléctricas parásitas.
 - f. Electricidad estática.
 - g. Rayo.
 - h. Ondas E.M. de radio frecuencia, de 104 Hz a $3*10^{12}$ Hz.
 - i. Ondas E.M. de $3*10^{11}$ Hz a $3*10^{15}$ Hz.
 - j. Radiación ionizante.
 - k. Ultrasonidos.
 - l. Compresión adiabática y ondas de choque.
 - m. Reacciones exotérmicas, incluyendo la autoignición de polvos.

2. Determinación de la probabilidad de activación de dichas fuentes de ignición: la cual la evaluaremos según uno de estos valores:

- a. Frecuente (F): la activación de la fuente de ignición es permanente o sucede con mucha frecuencia. Los equipos instalados en la zona clasificada son convencionales (sin protección).
- b. Probable (P): la activación de la fuente de ignición se produce normalmente. Equipos de categoría o modo de protección no suficiente para la zona clasificada en la que se encuentran.
- c. Ocasional (O): la activación de la fuente de ignición se produce algunas veces. Equipos de categoría o modo de protección adecuados para la zona clasificada en la que se encuentran pero sin el mantenimiento adecuado (posible fuente de ignición por mal funcionamiento del equipo).
- d. Remota (R): es muy raro, aunque posible que se produzca la activación de la fuente de ignición. Equipos de categoría o modo de protección adecuados para la zona clasificada en la que se encuentran y con el mantenimiento adecuado (posible fuente de ignición por mal funcionamiento raro del equipo).
- e. Improbable (I): no se espera que se produzca la activación de la fuente de ignición. El riesgo de existencia y activación de focos de ignición en las zonas clasificadas está controlado.

3. Probabilidad del riesgo de explosión: el cual se obtiene de una tabla como la siguiente:

		PRESENCIA DE ATMÓSFERAS EXPLOSIVAS		
		ZONA 2	ZONA 1	ZONA 0
PRESENCIA DE FUENTES DE IGNICIÓN	I IMPROBABLE	IMPROBABLE	IMPROBABLE	REMOTA
	R REMOTA	IMPROBABLE	REMOTA	OCASIONAL
	O OCASIONAL	IMPROBABLE	OCASIONAL	PROBABLE
	P PROBABLE	IMPROBABLE	PROBABLE	PROBABLE
	F FRECUENTE	IMPROBABLE	PROBABLE	FRECUENTE

4. Análisis de la severidad: la cual se expresa según uno de esos niveles:

	DESCRIPCIÓN	DEFINICIÓN DEL SUCESO	LOCALIZACIÓN
1	CATÁSTROFE	Se prevén muertes o pérdida de sistemas.	Existencia de trabajadores en la localización de la explosión.
2	MAYOR	Se prevén daños severos, accidentes laborales graves o daños graves al sistema.	Existencia de trabajadores cercanos a la localización de la explosión sin existencia de barreras de protección.
3	MENOR	Se prevén daños menores, accidentes laborales leves o leves daños al sistema.	Existencia de trabajadores cercanos a la localización de la explosión con existencia de barreras de protección.
4	INSIGNIFICANTE	Se prevé nivel inferior de daños, incidente laboral o daños insignificantes al sistema	Existencia de trabajadores alejados en otros lugares del interior de la explotación o no existencia de trabajadores en el interior de la explotación.

5. Definición del riesgo de explosión: éste se obtiene de la siguiente tabla:

		CONSECUENCIAS			
		4	3	2	1
		INSIGNIFICANTE	MENOR	MAYOR	CATÁSTROFE
PROBABILIDAD DE EXPLOSIÓN	I IMPROBABLE	D	C	C	B
	R REMOTA	D	C	B	A
	O OCASIONAL	D	B	B	A
	P PROBABLE	C	B	A	A
	F FRECUENTE	C	A	A	A

De esta manera se define cada riesgo quedando establecidos el nivel de acción y la temporización de las actuaciones.

NIVEL DE RIESGO	ACCIÓN Y TEMPORARIZACIÓN
D TOLERABLE	No se necesita mejorar la acción preventiva. Sin embargo, se deben considerar soluciones más rentables o mejoras que no supongan una carga económica importante. Se requieren comprobaciones periódicas para asegurar que se mantiene la eficacia de las medidas de control.
C MODERADO	Se deben hacer esfuerzos para reducir el riesgo, determinando las inversiones precisas. Las medidas para reducir el riesgo deben implantarse en un período determinado. Cuando el riesgo moderado está asociado a una severidad mayor se precisará una acción posterior para establecer con más precisión la probabilidad de daño como base para determinar la necesidad de mejora de las medidas de control.
B IMPORTANTE	No debe comenzarse el trabajo hasta que se haya reducido el riesgo. Puede que se precisen recursos considerables para mejorar el riesgo. Cuando el riesgo corresponda a un trabajo en ejecución, debe remediarse el problema en un tiempo inferior al de los riesgos moderados.
A INTOLERABLE	No debe comenzarse ni continuar el trabajo hasta que se reduzca el riesgo. Si no es posible reducir el riesgo, incluso con recursos ilimitados, debe prohibirse el trabajo. Este tipo de trabajo requiere tanto la aplicación de medidas técnicas como de medidas organizativas.

PROPOSICIÓN DE MEDIDAS DE TÉCNICAS Y ORGANIZATIVAS.

Ya hemos evaluado el riesgo, ahora sólo falta proponer unas medidas siguiendo este orden: evitar la formación de atmósferas explosivas, evitar la activación de las fuentes de ignición, minimizar los daños en caso de explosión (medidas de protección) y medidas de tipo organizacional.

MEDIDAS PARA EVITAR LA FORMACIÓN DE ATEX:

1. Sustitución de las sustancias inflamables.
2. Limitación de la concentración.
3. Inertización.
4. Aislamiento y cerramiento de las fuentes de escape.
5. Medidas para eliminar los depósitos de polvo.
6. Utilización de aparatos detectores de gas.

MEDIDAS PARA EVITAR LA ACTIVACIÓN DE LAS FUENTES DE IGNICIÓN:

1. En todo caso se han de utilizar equipos que hayan sido fabricados y debidamente etiquetados para su uso en las zonas clasificadas. Como ya hemos visto, distinguiremos entre equipos anteriores y posteriores a la fecha 30 de Junio de 2003.
 - a. Equipos posteriores a esa fecha deben ir marcados de conformidad con el R.D. 400/1996, por lo que:

EQUIPOS MARCADOS SEGÚN DIRECTIVA 94/9/CE	
Zona de riesgo	Categoría
Zona 0 o 20	Categoría 1
Zona 1 o 21	Categoría 2
Zona 2 o 22	Categoría 3

- b. Equipos anteriores: deben considerarse los modos de protección empleados en la construcción:

ELECCIÓN DE EQUIPOS			
	Equipos eléctricos		Equipos no eléctricos
Zona de riesgo	Modos más adecuados (2)	Grado IP	Modos más adecuados (2)
Zona0	ia	-	g, c
Zona1	d, e, ia, ib, m, o, p, q	-	d, b, p, k
Zona2	n	-	fr
Zona 20 (1)	iaD	IP6X	g, c
Zona 21 (1)	iaD, ibD, mD, pD, tD	IP6X	d, b, p, k
Zona 22 (1)		IP5X	fr

2. Medidas específicas para cada fuente de ignición y estado de la sustancia inflamable, es decir, gases/vapores o polvos.

GASES:

- a. Superficies calientes:
 - i. Tener en cuenta la T^a mínima de ignición.
 - ii. Uso de equipos adecuados al tipo de clasificación.

- b. Llamas y gases calientes:
 - i. No autorizar llamas desnudas en zonas tipo 0, admitiéndose equipos con llamas en zonas 1 y 2 si están confinadas y no se superan las T^{as} de ignición.
 - ii. Sistema de permisos de trabajo.
- c. Chispas de origen mecánico:
 - i. Evitar el uso de equipos que produzcan chispas en zonas clasificadas.
 - ii. Someter el uso de herramientas portátiles que generen chispas a un sistema de permisos de trabajo.
- d. Material eléctrico:
 - i. Empleo de material eléctrico adecuado a la zona clasificada.
- e. Corrientes eléctricas parásitas:
 - i. Aplicar equipotencialidad salvo en zona 2, donde no sólo sería preciso si se producen frecuentemente arcos o chispas debidas a corrientes parásitas.
- f. Electricidad estática:
 - i. Uso de ropa y calzado de protección antiestática.
 - ii. Puesta a tierra.
 - iii. Empleo de ionizadores de aire.
 - iv. Empleo de materiales antiestáticos como puede ser el plástico.
 - v. Reducción de la velocidad relativa entre superficies de rozamiento.
 - vi. Utilización de suelos de material disipador.
 - vii. Instalación de medios conductores de descargas electrostáticas para personas.
- g. Rayo:
 - i. Proteger las instalaciones con medidas apropiadas de protección contra el rayo.
- h. Ondas E.M. de radiofrecuencia:
 - i. Mantener una distancia de seguridad.
 - ii. Evitar el uso de teléfonos móviles en las zonas clasificadas.

- i. Ondas E.M.:
 - i. No permitir equipos que provoquen la ignición debido a la absorción por resonancia.
 - ii. Uso del material eléctrico adecuado.
- j. Radiación ionizante:
 - i. Uso del material eléctrico adecuado.
- k. Ultrasonidos:
 - i. No permitir ondas ultrasónicas con una frecuencia superior a 10 MHz, salvo que esté demostrado que no existe riesgo de ignición por absorción por resonancia.
- l. Compresión adiabática y ondas de choque:
 - i. Evitar procesos que den lugar a compresiones o a ondas de choque capaces de provocar la ignición.
- m. Reacciones exotérmicas:
 - i. Evitar en la medida de lo posible sustancias con tendencia a la autoignición.

POLVOS:

- a. Superficies calientes:
 - i. Seleccionar equipos cuya T^a superficial máxima sea inferior a $2/3$ $T_{MI n}$ para nubes y $T_{MI c}-75$ para capas.
- b. Llamas y gases calientes:
 - i. No autorizar llamas desnudas en zonas tipo 20, admitiéndose equipos con llamas en zonas 21 y 22 si están confinadas y no se superan las T^{as} de ignición.
 - ii. Sistema de permisos de trabajo.
- c. Chispas de origen mecánico:
 - i. Evitar el uso de equipos que produzcan chispas en zonas clasificadas.
 - ii. Someter el uso de herramientas portátiles que generen chispas a un sistema de permisos de trabajo.
- d. Material eléctrico:
 - i. Empleo de material eléctrico adecuado a la zona clasificada.

- e. Corrientes eléctricas parásitas:
 - i. Aplicar equipotencialidad salvo en zona 2, donde no sólo sería preciso si se producen frecuentemente arcos o chispas debidas a corrientes parásitas.
- f. Electricidad estática:
 - i. Uso de ropa y calzado de protección antiestática.
 - ii. Puesta a tierra.
 - iii. Empleo de ionizadores de aire.
 - iv. Empleo de materiales antiestáticos como puede ser el plástico.
 - v. Reducción de la velocidad relativa entre superficies de rozamiento.
 - vi. Utilización de suelos de material disipador.
 - vii. Instalación de medios conductores de descargas electrostáticas para personas.
- g. Rayo:
 - i. Proteger las instalaciones con medidas apropiadas de protección contra el rayo.
- h. Ondas E.M. de radiofrecuencia:
 - i. Mantener una distancia de seguridad.
 - ii. Evitar el uso de teléfonos móviles en las zonas clasificadas.
 - i. Ondas E.M.:
 - i. No permitir equipos que provoquen la ignición debido a la absorción por resonancia.
 - ii. Uso del material eléctrico adecuado.
- j. Radiación ionizante:
 - i. Uso del material eléctrico adecuado.
- k. Ultrasonidos:
 - i. No permitir ondas ultrasónicas con una frecuencia superior a 10 MHz, salvo que esté demostrado que no existe riesgo de ignición por absorción por resonancia.
- l. Compresión adiabática y ondas de choque:
 - i. Evitar procesos que den lugar a compresiones o a ondas de choque capaces de provocar la ignición.

m. Reacciones exotérmicas:

- i. Evitar en la medida de lo posible sustancias con tendencia a la autoignición.

MEDIDAS DE PROTECCIÓN: MEDIDAS PARA LIMITAR LOS EFECTOS DE LAS EXPLOSIONES:

1. Construcciones resistentes a la explosión.
2. Confinamiento de la explosión.
3. Dispositivos de descarga de la presión de explosión.
4. Equipos supresores de explosiones: los cuales constan de
 - a. Detectores.
 - b. Unidad de control.
 - c. Supresores.
5. Sistemas de aislamiento de explosiones:
 - a. Separación de zonas o equipos.
 - b. Cierres rotativos y tornillos sin fin.
 - c. Dispositivos para interrumpir las explosiones:
 - i. Apagallamas.
 - ii. Diversores o chimeneas de descarga de explosión.
 - iii. Válvulas de cierre rápido.
 - iv. Barrera química de frente de llama.
 - v. Detección y extinción de chispas.

MEDIDAS ORGANIZATIVAS:

1. Instrucciones de servicio para los puestos de trabajo.
2. Cualificación de los trabajadores.
3. Contenido y frecuencia de la formación.
4. Regulación de los equipos de trabajo móviles en las áreas de riesgo.
5. Equipos de protección individual para los trabajadores.
6. Sistema de permisos de trabajo. (ANEXO IV)
7. Programa de limpieza. (ANEXO V)
8. Organización de los trabajos de mantenimiento, control y comprobación.
9. Señalización de las áreas de riesgo.

PLANIFICACIÓN Y COORDINACIÓN:

En el ANEXO VI, se adjuntan dos modelos para llevar a cabo la planificación y coordinación de actividades preventivas.

5. BIBLIOGRAFÍA:

INSHT. “NTP 826 – El documento de protección contra explosiones”.

INSHT. “Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos derivados de atmósferas explosivas en el lugar de trabajo”. *Real Decreto 681/2006, de 12 de Junio.*

INSHT. “R.D. 681/2003”. *Real Decreto sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores expuestos a los riesgos derivados de atmósferas explosivas en el lugar de trabajo.*

INSHT. “R.D. 400/1996”. *Real Decreto relativo a los aparatos y sistemas de protección para uso en atmósferas potencialmente explosivas.*

INSHT. “R.D. 842/2002 (ITC BT 29)”. *Prescripciones particulares para las instalaciones eléctricas de los locales con riesgo de incendio o explosión.*

ESCUER IBARS F. & GARCÍA TORRENT J. (2005). “Manual práctico: Clasificación de zonas en atmósferas explosivas”. *Colegio de Ingenieros Técnicos Industriales de Barcelona.*

AENOR (1997). “Norma UNE – EN 1127 – 1”. *Atmósferas explosivas. Prevención y protección contra la explosión. Parte 1: Conceptos básicos y metodología.*

AENOR (2003). “Norma UNE – EN – 13463 – 1”. *Equipos no eléctricos destinados a atmósferas potencialmente explosivas. Parte 1: Requisitos y metodología básica.*

AENOR (2003). “Norma UNE – EN – 13237”. *Términos y definiciones para equipos y sistemas de protección destinados a usarse en atmósferas potencialmente explosivas.*

AENOR (2004). “Norma UNE – EN – 60079 – 10”. *Material eléctrico para atmósferas de gas explosivas. Parte 10: Clasificación de emplazamientos peligrosos.*

ANEXO I
Real Decreto
681/2003

Este Real Decreto tiene por objeto, en el marco de la Ley 31/1995, de 8 de Noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales, establecer las disposiciones mínimas para la protección de la salud y seguridad de los trabajadores que pudieran verse expuestos a riesgos derivados de atmósferas explosivas en el lugar de trabajo.

A este fin, en el presente Real Decreto se establecen una serie de obligaciones por parte del empresario para proteger a los trabajadores, como son una evaluación de riesgos, implementar medidas de prevención y protección, coordinación de actividades, formación e información de los trabajadores, etc. Además, se establecen algunas obligaciones específicas tales como la clasificación en zonas de las áreas de riesgo, las características específicas que deben cumplir los equipos instalados o introducidos en las zonas clasificadas y la obligatoriedad de recoger todos los aspectos preventivos que se hayan desarrollado en la empresa en un “Documento de Protección Contra Explosiones”.

a) Alcance:

→ Las disposiciones de este Real Decreto se aplicarán sin perjuicio de las disposiciones más rigurosas o específicas establecidas en la normativa específica que le sea de aplicación. De esta manera, el cumplimiento de los requisitos establecidos en este Real Decreto no exime al empresario del cumplimiento, cuando le sea aplicable, de normativa más rigurosa o específica, bien sea del ámbito de la seguridad industrial, como es el caso de la normativa de los Reales Decretos 379/2001 y 2016/2004 que aprueban el Reglamento de Almacenamiento de productos químicos, o del ámbito de la protección civil, como el RD 948/2005 que aprueba medidas de control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas.

Las disposiciones de este Real Decreto no serán de aplicación a:

→ Las áreas utilizadas directamente para el tratamiento médico de pacientes y durante dicho tratamiento.

→ La utilización reglamentaria de los aparatos de gas conforme a su normativa específica.

→ La fabricación, manipulación, utilización, almacenamiento y transporte de explosivos o sustancias químicas inestables.

→ Las industrias extractivas por sondeos y las industrias extractivas a cielo abierto o subterráneas, tal como se definen en su normativa específica.

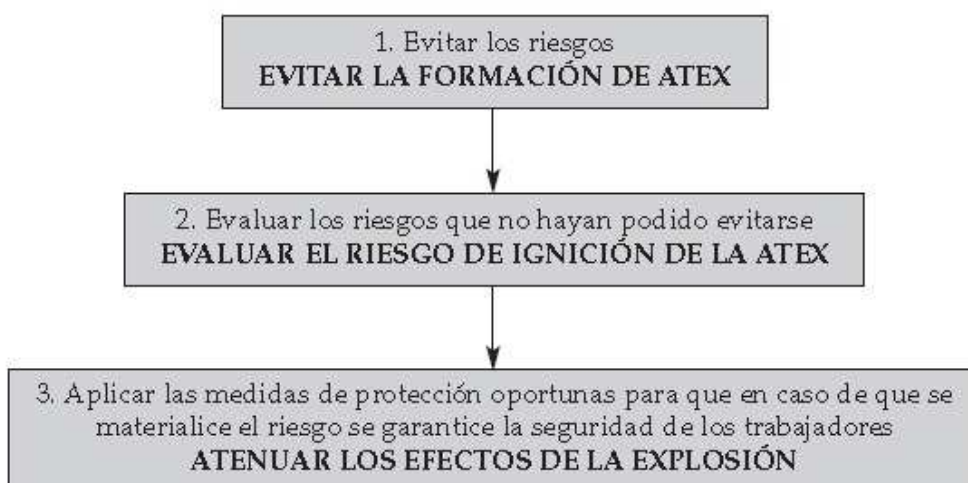
→ La utilización de medios de transporte terrestres, marítimo y aéreo, a los que se aplican las disposiciones correspondientes de convenios internacionales, así como la normativa mediante la que se da efecto a dichos convenios. No se excluirán los medios de transporte diseñados para su uso en una atmósfera potencialmente explosiva.

b) Obligaciones del empresario:

A continuación se exponen una serie de obligaciones que el empresario tiene en el ámbito de la protección frente a las atmósferas explosivas, aunque algunos puntos como los medios de protección, la clasificación en áreas y el Documento de Protección Contra explosiones, serán desarrollados de forma más exhaustiva más adelante.

→ Prevención de explosiones y protección contra estas:

Con objeto de prevenir las explosiones, de conformidad con el artículo 15.1 de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales y de proporcionar una protección contra ellas, el empresario deberá tomar medidas de carácter técnico y/u organizativo en función del tipo de actividad, siguiendo un orden de prioridades y conforme a los principios básicos siguientes: impedir la formación de atmósferas explosivas (actuando sobre la fuente, es decir, impidiendo la liberación o difusión de cualquier sustancia inflamable en el ambiente de trabajo) o, cuando la naturaleza de la actividad no lo permita, evitar la ignición de atmósferas explosivas y atenuar los efectos perjudiciales de una explosión si en última instancia se produce, garantizando la salud y la seguridad de los trabajadores. En la figura siguiente, se recogen estos principios:



→ Evaluación de los riesgos de explosión:

El empresario evaluará los riesgos específicos derivados de las atmósferas explosivas, teniendo en cuenta:

- La probabilidad de formación y la duración de atmósferas explosivas.
- La probabilidad de la presencia y activación de focos de ignición, incluidas las descargas electrostáticas.
- Las instalaciones, las sustancias empleadas, los procesos industriales y sus posibles interacciones.
- Las proporciones de los efectos previsibles.

En la evaluación de los riesgos de explosión se tendrán en cuenta los lugares que estén o puedan estar en contacto mediante aperturas, con lugares en los que puedan crearse atmósferas explosivas.

→ Obligaciones generales:

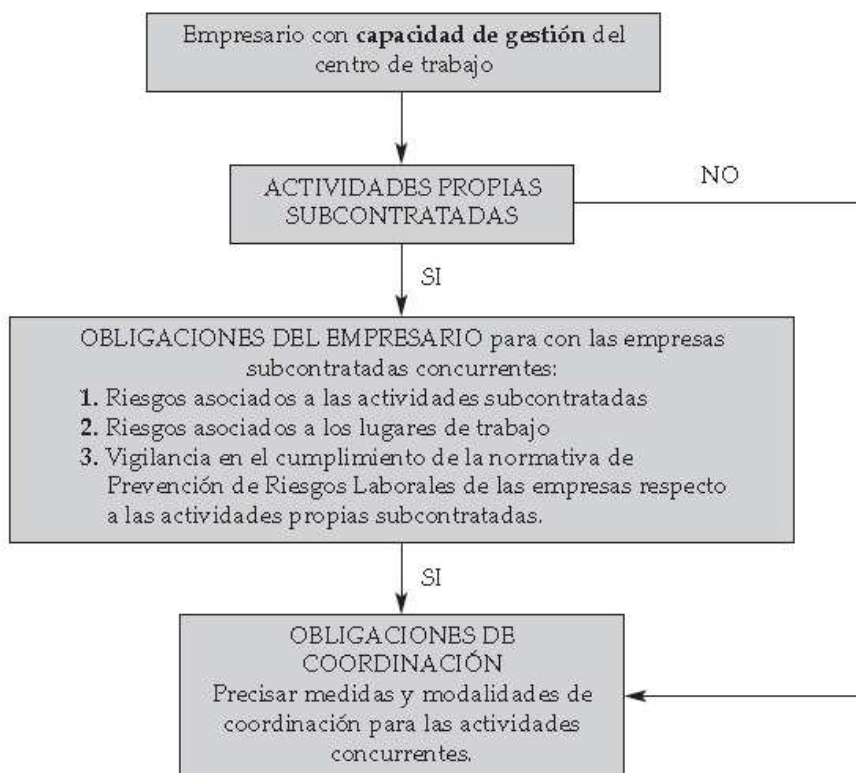
Del cumplimiento de lo anteriormente expuesto se desprende que se habrá hecho todo lo posible para eliminar el riesgo o bien que habrá sido controlado y evaluado, adoptando las medidas preventivas necesarias para garantizar la seguridad y salud de los trabajadores. Sin embargo, pueden darse circunstancias en las que sea necesario garantizar que las condiciones ambientales seguras se mantienen en el momento de desarrollar el trabajo. En estos casos será necesario prever una supervisión, estableciendo:

- Cuándo se va a realizar la supervisión del ambiente.
- Cómo se realiza la supervisión del ambiente.
- Procedimiento de actuación.

→ Obligación de coordinación:

Cuando en un mismo lugar de trabajo se encuentren trabajadores de varias empresas, cada empresario deberá adoptar las medidas que sean necesarias para la protección de la salud y la seguridad de sus trabajadores, incluidas las medidas de cooperación y coordinación a que hace referencia el artículo 24 de la Ley de Prevención. Sin perjuicio de ello y en el marco de lo dispuesto en el citado artículo, el empresario titular del centro de trabajo coordinará la aplicación de todas las medidas relativas a la seguridad y la salud de los trabajadores y precisará, en el Documento de Protección Contra Explosiones, el objeto, las medidas y las modalidades de aplicación de dicha coordinación.

Esto mismo, lo tenemos resumido en el siguiente esquema:



→ Áreas en las que pueden formarse atmósferas explosivas:

- El empresario deberá clasificar en zonas, con arreglo a lo que se ordena en este Real Decreto, las áreas en las que pueden formarse atmósferas explosivas.
- El empresario deberá garantizar, en las áreas a las que nos hemos referido en el punto anterior, la aplicación de las disposiciones mínimas establecidas en el Real Decreto.
- Sin perjuicio a lo establecido en el Real Decreto 485/1997 sobre disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo, los accesos a las áreas en las que puedan formarse atmósferas explosivas en cantidades tales que supongan un peligro para salud y la seguridad de los trabajadores deberán señalizarse, cuando sea necesario, con arreglo a lo dispuesto en el Real Decreto 681/2003.

→ Documento de protección contra explosiones:

En cumplimiento de las obligaciones establecidas en este Real Decreto, el empresario se encargará de que se elabore y mantenga actualizado un documento, denominado Documento de Protección Contra Explosiones. Dicho documento deberá reflejar en concreto:

- Que se han determinado y evaluado los riesgos de explosión.
- Que se tomarán las medidas adecuadas para lograr los objetivos de este Real Decreto.
- Las áreas que han sido clasificadas en zonas de conformidad a lo expuesto en el Real Decreto.
- Las áreas en que se aplicarán los requisitos mínimos establecidos.
- Que el lugar y los equipos de trabajo, incluidos los sistemas de alerta, están diseñados y se utilizan y mantienen teniendo debidamente en cuenta la seguridad.
- Que se han adoptado las medidas necesarias, de conformidad con el Real Decreto 1215/1997, para que los equipos de trabajo se utilicen en condiciones seguras.

El Documento de Protección Contra Explosiones se elaborará antes de que comience el trabajo y se revisará siempre que se efectúen modificaciones, ampliaciones o transformaciones importantes en el lugar de trabajo, en los equipos de trabajo o en la organización de trabajo. Este documento podrá constituir un documento específico o integrarse total o parcialmente con la documentación general sobre la evaluación de los riesgos y las medidas de protección y prevención.

c) Funciones y cualificación:

FUNCIONES	ACTIVIDAD	CUALIFICACIÓN
DPCE	Implica principalmente: - Evaluación de riesgos - Selección e implantación de medidas preventivas	- Personal perteneciente al SPP - Personal perteneciente al SPA (Puntualmente el SPA podrá subcontratar algún aspecto que se incluya en el DPCE)
SUPERVISIÓN AMBIENTAL	Control ambiental durante la realización de trabajos para la detección de ATEX si puede poner en peligro a los trabajadores Puede implicar la elaboración de procedimiento de medición	- Planificación y elaboración del procedimiento: técnico superior de prevención - Supervisión: en función del grado de autonomía que permita el procedimiento
COORDINACIÓN	Debe existir coordinación entre empresas y trabajadores concurrentes en un centro de trabajo cuando exista riesgo de formación de ATEX. En general, en lo referente al riesgo de explosión, será importante coordinarse sobre: - Las zonas en que existe o se puede formar ATEX - Las medidas preventivas a adoptar cuando se realicen trabajos o se manipulen sustancias capaces de generar ATEX y si se van a realizar trabajos en caliente o actividades susceptibles de generar fuentes de ignición - Los equipos y procedimientos de trabajo a	Si poseen formación en prevención de nivel intermedio, puede realizar la actividad: - Personal de la organización preventiva especializada de la empresa (trabajador designado, SPP, SPA) - Trabajadores con los conocimientos y experiencia necesarios (actividad integrada) - Empresas dedicadas a la coordinación

Anexo I

	<p>utilizar en zonas clasificadas por riesgo de ATEX</p> <ul style="list-style-type: none"> - Las actividades a realizar y dónde se van a realizar - Cuantas otras estén previstas en la evaluación de riesgos 	
RECURSO PREVENTIVO	Vigilancia, cuando se llevan a cabo operaciones peligrosas en sí mismas o por el hecho de concurrir con otras operaciones	<ul style="list-style-type: none"> - Personal del SPP o SPA - Trabajadores designados - Personal designado por el empresario por su experiencia en el trabajo a realizar
INSTRUCCIONES Y PERMISOS DE TRABAJO	La elaboración del procedimiento de trabajo debe abordarse en colaboración con el servicio de prevención y los departamentos implicados	<ul style="list-style-type: none"> - Elaboración del procedimiento: técnicos de prevención con formación de nivel superior en colaboración con los departamentos implicados - Ejecución de los arts. 18 y 19 de la LPRL
VERIFICACIÓN	Comprobación de las medidas de protección reflejadas en el DPCE	<ul style="list-style-type: none"> - Técnicos de prevención con formación de nivel superior - Personal con experiencia certificada de 2 años o más en prevención de explosiones - Personal con formación específica en dicho campo impartida por una entidad capacitada - Personal especificado en la reglamentación de aplicación
DESCONEXIÓN DE SISTEMAS DE PROTECCIÓN	Desconexión manual de los sistemas de protección que estén incluidos en un proceso automático si se producen condiciones peligrosas	Según las instrucciones establecidas

ANEXO II
Real Decreto
400/1996

Esta directiva establece los Requisitos Esenciales de Seguridad que deben cumplir los equipos y sistemas de protección previstos para su uso en atmósferas explosivas, así como los procedimientos para la acreditación de la conformidad.

Una de sus principales características es que hace un planteamiento global del riesgo considerando no sólo las fuentes de ignición eléctricas, si no también las debidas a cualquier tipo de equipamiento mecánico (chispas, arcos y centelleos eléctricos, descargas electrostáticas, llamas, radiaciones, etc.)

a) Alcance:

De forma específica, el alcance de este Real Decreto se extiende a:

- Aparatos definidos como máquinas, materiales, dispositivos fijos y móviles, los órganos de control y la instrumentación, los sistemas de detección y prevención que, solos o combinados, se destinan a la producción, transporte, almacenamiento, medición, regulación, conversión de energía y transformación de materiales y que, por las fuentes de ignición que los caracterizan, pueden desencadenar una explosión.
- Sistemas de protección definidos como dispositivos, distintos de los componentes definidos anteriormente, cuya función es la de detener inmediatamente las explosiones incipientes y/o limitar la zona afectada por una explosión, y que se comercializan por separado como sistemas con funciones autónomas.
- Dispositivos de seguridad, control y regulación previstos para su uso fuera de una atmósfera potencialmente explosiva, pero requeridos para funcionamiento seguro de aparatos y sistemas de protección, que están ubicados en ambientes explosivos.
- Componentes definidos como las piezas que son esenciales para el funcionamiento seguro de los aparatos y sistemas de protección, pero que no tienen función autónoma.

Quedarán excluidos en cuanto a la aplicación de este Real Decreto, los siguientes equipos:

- Los dispositivos médicos para uso en un entorno sanitario.
- Los aparatos y sistemas de protección cuando el peligro de explosión se deba exclusivamente a la presencia de sustancias explosivas o sustancias químicas inestables.

- Los equipos destinados a usos en entornos domésticos y no comerciales, donde las atmósferas potencialmente explosivas se crean muy rara vez, únicamente como consecuencia de una fuga fortuita de gas.
- Los equipos de protección individual, cuya comercialización y libre circulación por la Comunidad Económica Europea, está regulada por el Real Decreto 159/1995 de aplicación de la Directiva 89/686/CEE.
- Los navíos marinos y las unidades móviles “offshore”, así como los equipos a bordo de dichos navíos o unidades.
- Los medios de transporte, es decir, los vehículos y sus remolques destinados únicamente al transporte de personas por vía aérea, red vial, red ferroviaria o vías acuáticas y los medios de transporte, cuando estén concebidos para el transporte de mercancías por vía aérea, red vial pública, red ferroviaria o vías acuáticas. No estarán excluidos los vehículos destinados al uso en una atmósfera potencialmente explosiva.
- Los equipos contemplados en el párrafo b) del apartado 1 del Artículo 223 del Tratado de Roma.

b) Clasificación de equipos:

Los equipos y sistemas de protección para atmósferas explosivas, se clasifican según diferentes criterios. Estas clasificaciones, al ir marcadas sobre los materiales, permiten una indicación más clara al usuario para su empleo seguro.

- Por el estado de la sustancia combustible, se clasifican en CLASES:

CLASE I: La sustancia combustible se presenta en forma de gas, vapor o niebla. Se identifica mediante la letra G.

CLASE II: La sustancia combustible se presenta en forma de polvo combustible. Se identifica mediante la letra D.

- Por el ambiente industrial en el que está prevista su instalación, los aparatos de clasifican en GRUPOS:

Aparatos del GRUPO I: Corresponde a aparatos y sistemas de protección para minería subterránea o zonas superficiales de las minas en las que se pueden presentar mezclas explosivas de gas y polvos.

Aparatos del GRUPO II: equipos destinados al resto de instalaciones con presencia de atmósfera explosiva. Al contrario que en los anteriores, se establecen

categorías de material en relación a las zonas de ubicación de los aparatos y de los sistemas de protección o de su nivel de seguridad.

- Por la sensibilidad de la sustancia a la iniciación de la explosión por arco eléctrico o por llama, se clasifican en SUBGRUPOS. Esta medida de la sensibilidad tanto a la llama como al arco, se obtienen en función del IEMS (Intersticio Experimental Máximo de Seguridad) y de la CMI (Corriente Mínima de Ignición) respectivamente.
- Por la sensibilidad de la sustancia a la iniciación de la explosión por contacto con una superficie caliente, los equipos se clasifican en CLASES TÉRMICAS.
- Por la probabilidad de que los equipos aporten una fuente de energía que desencadene la explosión, se clasifican en CATEGORÍAS. Así, tenemos que según el nivel de seguridad, se establecen dos categorías para el Grupo I (Categorías M1 y M2) y tres categorías para el Grupo II (Categorías 1, 2 y 3).

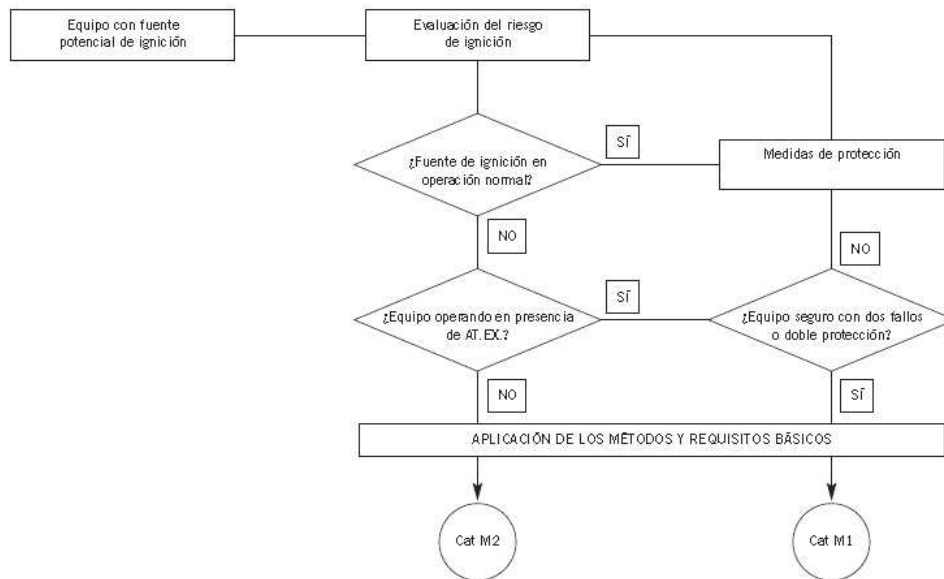
Categoría M1 y 1: comprende los aparatos diseñados y, si es necesario, equipados con medios de protección especiales, de manera que puedan funcionar dentro de los parámetros operativos especificados por el fabricante y asegurar un **nivel de protección muy alto**. Los aparatos de esta categoría deben estar previstos para utilizarse en ambientes en los que se produzcan de forma constante, duradera o frecuente mezclas explosivas de gases, vapores, nieblas o polvos. Los aparatos de categoría M1 están normalmente destinados a funcionar de forma continua aún con la presencia de atmósferas explosivas. Estos aparatos deben asegurar el nivel de protección aún en el caso de avería infrecuente, de forma que:

- en caso de fallo de uno de los medios de protección, al menos un segundo medio independiente asegure el nivel de protección requerido.
- en caso de que se produzcan dos fallos independientes, esté asegurado el nivel de protección requerido.

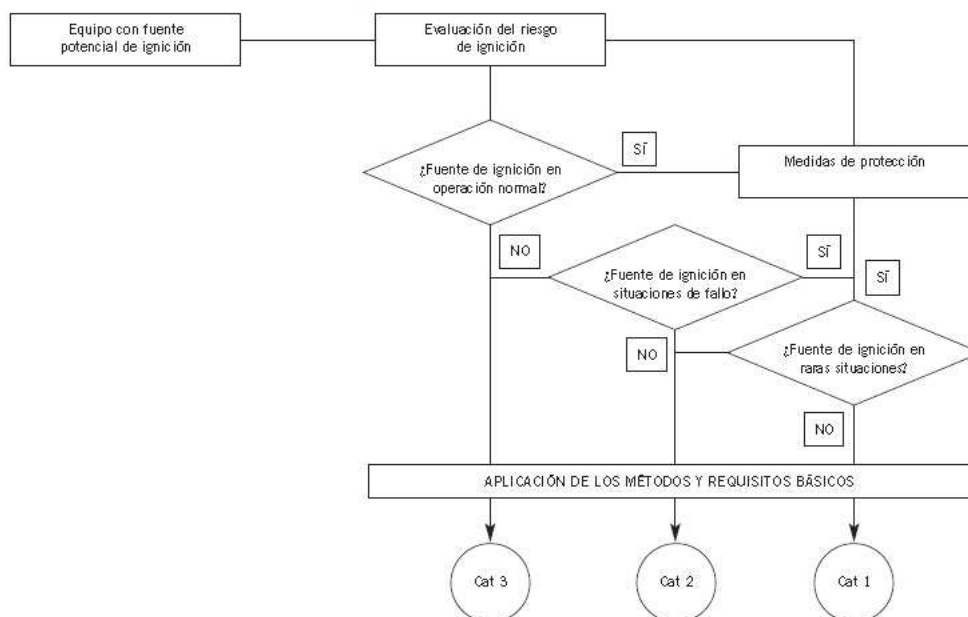
Categoría M2 y 2: comprende los aparatos diseñados para poder funcionar en las condiciones prácticas fijadas por el fabricante y basados en un **alto nivel de protección**. Los aparatos de esta categoría están destinados a utilizarse en un ambiente en el que sea probable la presencia de una atmósfera explosiva y asegurarán el nivel de protección requerido, aún en el caso de avería frecuente o de fallos de funcionamiento que habitualmente se tienen en cuenta. Los aparatos de categoría M2 son normalmente aquellos que, en caso de detección de una atmósfera explosiva (por encima del nivel de

concentración fijado reglamentariamente), deberá poder cortarse su alimentación energética.

Categoría 3: comprende los aparatos diseñados para poder funcionar en las condiciones prácticas fijadas por el fabricante y asegurar un **nivel de protección normal**. Los aparatos de esta categoría están destinados a utilizarse en un ambiente en el que sea poco probable e infrecuente la formación de mezclas explosivas, y cuando ocurre su presencia es de corta duración.



Categorías dentro del Grupo I



Categorías dentro del Grupo II

A continuación se muestran unas tablas, que resumen las características de los equipos, tanto del Grupo I como del Grupo II.

APARATOS DEL GRUPO I	
Categoría M1	Categoría M2
Equipos diseñados para asegurar un nivel de protección muy alto Los aparatos de esta categoría están destinados a utilizarse en trabajos subterráneos en las minas y en las partes de sus instalaciones de superficie en las que exista peligro debido al grisú y/o polvos explosivos	Equipos diseñados para asegurar un nivel de protección alto Los aparatos de esta categoría están destinados a utilizarse en trabajos subterráneos en las minas y en las partes de sus instalaciones de superficie en las que pueda haber peligro debido al grisú o a polvos combustibles
Está asegurada la protección durante el funcionamiento normal, y en caso de averías fuera de lo normal.	Está asegurada la protección durante el funcionamiento normal y también en condiciones de uso más severas.

Equipos del Grupo I

APARATOS DEL GRUPO II		
Categoría 1	Categoría 2	Categoría 3
Equipos diseñados para asegurar un nivel de protección muy alto Los aparatos de esta categoría están previstos para utilizarse en un medio ambiente en el que se produzcan de forma constante, duradera o frecuente atmósferas explosivas debidas a mezclas de aire con gases, vapores, nieblas o mezclas polvo/aire	Equipos diseñados para asegurar un nivel alto de protección. Los aparatos de esta categoría están destinados a utilizarse en un ambiente en el que sea probable la formación de atmósferas explosivas debidas a gases, vapores, nieblas o polvo en suspensión	Equipos diseñados para asegurar un nivel normal de protección. Los aparatos de esta categoría están destinados a utilizarse en un ambiente en el que la formación de atmósferas explosivas sea poco probable o infrecuente y que en cualquier caso sea de corta duración
Permanecen seguros en caso de averías extraordinarias	Aseguran el nivel de protección en caso de perturbaciones frecuentes y fallos normales	Aseguran el nivel de protección durante su funcionamiento normal

Equipos del Grupo II

Para que un equipo o sistema pueda ser comercializado ya no basta con cumplir una lista de normas armonizadas, si no que debe haber sido diseñado y construido de acuerdo con los requisitos esenciales de seguridad y salud que aparecen en el Anexo II de este Real Decreto (R.D. 400/1996) y deberá estar provisto de una declaración de conformidad.

Esta conformidad, se obtiene en base a:

- Cumplir con todos los Requisitos Esenciales de Seguridad aplicables.
- Someter, en algunos casos, un prototipo a examen CE de tipo por un Organismo Notificado que, si procede, emitirá un Certificado de Examen CE de Tipo.
- Estar sujeto, en muchos casos, al control para el aseguramiento de la calidad de fabricación (en algunos casos, un Organismo Notificado auditará la factoría donde se fabrica el equipo mediante uno de los cuatro procedimientos previstos) y disponer de la Notificación del Fabricante.
- Emisión de la Declaración de Conformidad CE.
- Marcado CE de los equipos.

ANEXO III
Real Decreto
842/2002

La Instrucción Técnica Complementaria ITC-BT-029 aprobada mediante el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión, a través del R.D. 842/2002, tiene por objeto especificar las reglas esenciales para el diseño, ejecución, explotación, mantenimiento y reparación de las instalaciones eléctricas en emplazamientos en los que existe riesgo de explosión o incendio debido a la presencia de sustancias inflamables para que dichas instalaciones y sus equipos no puedan ser, dentro de límites razonables, la causa de inflamación de dichas sustancias.

a) Alcance:

Dentro del concepto de atmósferas potencialmente explosivas la Instrucción considera aquellos emplazamientos en los que se fabriquen, procesen, manipulen, traten, utilicen o almacenen sustancias sólidas, líquidas o gaseosas, susceptibles de inflamarse o explotar, siendo sostenida la reacción por el aporte de oxígeno procedente del aire ambiente en que se encuentran.

No se consideran incluidos en esta Instrucción las instalaciones eléctricas siguientes:

- Las instalaciones correspondientes a los equipos excluidos del campo de aplicación del R.D. 400/1996, relativo a los aparatos y sistemas de protección para uso en atmósferas potencialmente explosivas.
- Cualquier otro entorno que disponga de una reglamentación particular.

Así mismo, en esta Instrucción sólo se consideran los riesgos asociados a la coexistencia en el espacio y tiempo de equipos eléctricos con atmósferas explosivas; para otras fuentes de ignición, se aplicara lo dispuesto en las reglamentaciones pertinentes.

b) Requisitos de los equipos:

Los equipos eléctricos y los sistemas de protección y sus componentes, destinados a su empleo en emplazamientos comprendidos en el ámbito de esta instrucción, deberán cumplir las condiciones establecidas en el R.D. 400/1996, anteriormente expuesto.

c) Documentación:

Para instalaciones nuevas o ampliaciones de las existentes, en el ámbito de aplicación de la presente ITC, se incluirá la siguiente información en el proyecto de instalación:

- Clasificación de emplazamientos y plano representativo.
- Adecuación de la categoría de los equipos a los diferentes emplazamientos y zonas.
- Instrucciones de implantación, instalación y conexión de los aparatos y equipos.
- Condiciones especiales de instalación y utilización.

El propietario deberá conservar:

- Copia del proyecto en su forma definitiva.
- Manual de instrucciones de los equipos.
- Declaraciones de Conformidad de los equipos.
- Documentos descriptivos del sistema para los de seguridad intrínseca.
- Todo documento que pueda ser relevante para las condiciones de seguridad.

d) Selección de equipos (Según la CLASE de emplazamiento)

- CLASE I: Gases y vapores.

<i>Categoría del equipo</i>	<i>Zonas en las que se admiten</i>
Categoría 1	0, 1 y 2
Categoría 2	1 y 2
Categoría 3	2

- CLASE II: Atmósferas con polvo explosivo

<i>Categoría del equipo</i>	<i>Zonas en las que se admiten</i>
Categoría 1	20, 21 y 22
Categoría 2	21 y 22
Categoría 3	22

ANEXO IV

Modelo de permiso de trabajo

PERMISO DE TRABAJO EN EMPLAZAMIENTO ATEX	
Fechas: Inicio: / / Finalización: / / Emplazamiento y/o instalación: _____ Responsable de los trabajos: D/D ^o _____ Trabajo, tarea u operación a realizar en el emplazamiento: _____ _____	
Riesgos específicos: _____ _____ _____ Riesgos indirectos (interacción con otras operaciones): _____ _____	Medidas preventivas adoptadas: _____ _____ _____ Equipos de protección individual a utilizar: _____ _____
Personal que interviene en el trabajo, tarea u operación:	
D/D ^o _____ Firma: _____	D/D ^o _____ Firma: _____
D/D ^o _____ Firma: _____	D/D ^o _____ Firma: _____
Personal de relevo de turno / extensión de turno:	
D/D ^o _____ Fecha y hora del relevo/extensión: / / Firma: _____	D/D ^o _____ Fecha y hora del relevo/extensión: / / Firma: _____
Todos los arriba firmantes aceptan, confirman y comprenden los riesgos, medidas preventivas y equipos de protección individual aplicables al trabajo cubierto por este permiso.	
<input type="checkbox"/> Trabajos realizados <input type="checkbox"/> Instalación comprobada <input type="checkbox"/> Comprobación y reanudación del servicio en el emplazamiento de realización de los trabajos <input type="checkbox"/> Anomalías detectadas Descripción de las anomalías detectadas: _____ _____	
Referencia del parte de anomalías (si existe): <input type="checkbox"/> Permiso cancelado	
Firma del responsable de los trabajos: _____	

ANEXO V

Modelo control programa de limpieza

ANEXO VI

Modelo de planificación y coordinación

COORDINACIÓN DE ACTIVIDADES:

EMPRESA:				
CENTRO:				
TAREAS:				
PUNTO DE COMPROBACIÓN		SI	NO	OBSERVACIONES
1	¿Se controla el cumplimiento de las normas legales o de la empresa para la aplicación del R.D. 681/2003?			
2	¿Se encomienda por escrito a alguna persona la realización de la coordinación de la colaboración entre empresas?			
3	¿La persona encargada de la coordinación está cualificada y tiene autoridad suficiente?			
4	¿La persona encargada de la coordinación realiza visitas sobre el terreno?			
5	¿Se informa a los subcontratistas la existencia de esta persona que realiza las labores de coordinación?			
6	¿Se controla el desarrollo del trabajo en cuanto a los posibles riesgos mutuos?			
7	¿Se evita la formación de una atmósfera explosiva en los ámbitos donde son posibles fuentes de ignición descontroladas?			
8	¿Se evita la utilización o generación de fuentes de ignición descontroladas en ámbitos con presencia de atmósferas explosivas peligrosas?			
9	¿Se previene la aparición de disfunciones peligrosas en empresas subcontratadas para realizar trabajos en zonas de riesgo?			
10	¿Se fija mediante algún tipo de documento el desarrollo de las etapas de trabajo realizado por las subcontratas en zonas de riesgo?			
11	¿Se controla que se adaptan de manera adecuada las medidas de protección convenidas en función del avance del trabajo o de las deficiencias reconocidas?			
12	¿Se controla que existe una información continuada de los riesgos y medidas de protección a adoptar en cada momento?			

13	¿Se controla que existe una sincronización continua de las empresas subcontratistas en las zonas de riesgo?			
14	¿Se controla que existe una formación de los riesgos de incendio o explosión para los trabajadores de las empresas subcontratistas que realizan trabajos en zonas de riesgo?			
15	¿Se produce una comprobación continua del cumplimiento de los puntos anteriores?			

ANEXO VII

Otras

reglamentaciones y

normas aplicables

OTRAS REGLAMENTACIONES:

- **Equipos de Trabajo:** Directiva 89/655/CEE, modificada por la Directiva 95/63/CE, que establece las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización de los equipos de trabajo por los trabajadores y que se transpone al derecho español mediante el Real Decreto 1215/1997.
- **Transporte de Mercancías Peligrosas:** El Reglamento Nacional de Transporte de Mercancías Peligrosas por Carretera, procedente de la Directiva 84/449/CEE, modificada por la Directiva 94/55/CE y transpuesto como R.D. 2115/1998.
- **Sustancias inflamables:** El Reglamento sobre notificación de sustancias nuevas y clasificación, envasado y etiquetado de sustancias peligrosas, publicado como R.D. 363/1995 y que procede de la Directiva 67/548/CEE, actualizada por la 98/73/CE.
- **Instalaciones petrolíferas:** R.D. 2085/1994, modificado por el R.D. 1523/1999, que establece el Reglamento aplicable a los diferentes tipos de instalaciones petrolíferas, desarrollado en sus ITCs.
- **Almacenamiento de productos químicos:** R.D. 379/2001, por el que se aprueba el Reglamento de almacenamiento de productos químicos, así como sus ITCs.
- **Instalaciones de gas:** Estas instalaciones deben cumplir el Reglamento denominado RIGLO (R.D. 1853/1993).
- **Instalaciones térmicas en edificios:** deben cumplir el R.D. 1751/1998, además de sus ITCs.

NORMATIVA APLICABLE

→ Equipos eléctricos:

Las principales normas que se refieren a los aparatos eléctricos para atmósferas potencialmente explosivas son:

- EN 50014:1997. Material eléctrico para atmósferas potencialmente explosivas. Requisitos generales.
- EN 50015:1998. Material eléctrico para atmósferas potencialmente explosivas. Inmersión en aceite “o”.
- EN 50016:1995. Material eléctrico para atmósferas potencialmente explosivas. Sobrepresión interna “p”.
- EN 50017:1998. Material eléctrico para atmósferas potencialmente explosivas. Relleno pulverulento “q”.
- EN 50018:1994. Material eléctrico para atmósferas potencialmente explosivas. Envolvente antideflagrante “d”.
- EN 50019:1994. Material eléctrico para atmósferas potencialmente explosivas. Seguridad aumentada “e”.
- EN 50020:1994. Material eléctrico para atmósferas potencialmente explosivas. Seguridad intrínseca “i”.
- EN 50021:1999. Material eléctrico para atmósferas potencialmente explosivas. Tipo de protección “n”.
- EN 50028:1987. Material eléctrico para atmósferas potencialmente explosivas. Encapsulado “m”.
- EN 50281-1-1:1998. Aparatos eléctricos destinados a ser utilizados en presencia de polvos combustibles.
 Parte 1-1: Aparatos eléctricos protegidos con envolventes. Construcción y ensayo.
- EN 50281-1-2:1997. Aparatos eléctricos destinados a ser utilizados en presencia de polvos combustibles.
 Parte 1-2: Aparatos eléctricos protegidos con envolventes. Selección, instalación y mantenimiento.
- EN 50281-2-1:1998. Aparatos eléctricos destinados a ser utilizados en presencia de polvos combustibles.

Parte 2-1: Métodos de ensayo. Métodos para determinar la temperatura mínima de inflamación del polvo.

- UNE-EN 60079-10:2004. Material eléctrico para atmósferas de gas explosivas.

Parte 10: Clasificación de emplazamientos peligrosos.

- UNE-EN 60079-14:2004. Material eléctrico para atmósferas de gas explosivas.

Parte 14: Instalaciones eléctricas en emplazamientos peligrosos (a excepción de las minas).

- UNE-EN 60079-17:2004. Material eléctrico para atmósferas de gas explosivas.

Parte 17: Inspección y mantenimiento de instalaciones eléctricas en emplazamientos peligrosos (con excepción de las minas).

- EN 60529:1991. Grado de protección proporcionado por envoltorios (código IP) (CEI 60529:1989 + A1 1999).
- EN 61779-1:2000. Aparatos eléctricos para la detección y medida de los gases inflamables.

Parte 1: Requisitos generales y métodos de ensayo.

→ Equipos no eléctricos:

- UNE-EN 1127-1:1997. Atmósferas explosivas. Prevención y protección contra la explosión.

Parte 1: Conceptos básicos y metodología.

- UNE-EN 1127-2:2003. Atmósferas explosivas. Prevención y protección contra la explosión.

Parte 2: Conceptos básicos y metodología para minería.

- UNE-EN 1839:2004. Determinación de los límites de explosividad de gases y vapores.
- UNE-EN 12874:2002. Apagallamas. Requisitos de funcionamiento, métodos de ensayo y límites de utilización.
- UNE-EN 13237:2003. Atmósferas potencialmente explosivas - Términos y definiciones para equipos y sistemas de protección destinados a usarse en atmósferas potencialmente explosivas.

- UNE-EN 13463-1:2003. Equipos no eléctricos destinados a atmósferas potencialmente explosivas.

Parte 1: Requisitos y metodología básica.

- prEN 13463-2. Non-electrical equipment for potentially explosive atmospheres – Part 2: Protection by flowrestricting enclosures ‘fr’.
- prEN 13463-3. Non-electrical equipment for potentially explosive atmospheres – Part 3: Protection by flame proof enclosure ‘d’.
- prEN 13463-4. Non-electrical equipment for use in potentially explosive atmospheres - Part 4: inherent safety ‘g’.
- UNE-EN 13463-5:2004. Equipos no eléctricos destinados a atmósferas potencialmente explosivas.

Parte 5: Protección por seguridad constructiva ‘c’.

- prEN 13463-6. Non-electrical equipment for potentially explosive atmospheres – Part 6: Protection by control of ignition source ‘b’.
- prEN 13463-7. Non-electrical equipment for potentially explosive atmospheres – Part 7: Protection by pressurisation ‘p’.
- UNE-EN 13463-8:2004. Equipos no eléctricos destinados a atmósferas potencialmente explosivas.

Parte 8: Protección por inmersión en líquido ‘k’.

- UNE-EN 13673-1:2003. Determinación de la presión máxima de explosión y de la velocidad máxima de aumento de presión en gases y vapores.

Parte 1: Determinación de la presión máxima de explosión.

- prEN 13673-2. Determination of the maximum explosion pressure and the maximum rate of pressure rise of gases and vapors – Part 2: Determination of the maximum rate of pressure rise.
- UNE-EN 13821:2003. Atmósferas potencialmente explosivas. Prevención y protección contra la explosión. Determinación de la energía mínima de inflamación de las mezclas polvo/aire.
- UNE-EN 13980:2003. Atmósferas potencialmente explosivas. Aplicación de sistemas de calidad.
- prEN 14034-1. Determination of the explosion characteristics of dust clouds – Part 1: Determination of the maximum explosion pressure.

- prEN 14034-2. Determination of explosion characteristics of dust clouds - Part 2: Determination of the maximum rate of explosion pressure rise (dp/dt) max of dust clouds.
- prEN 14034-3. Determination of explosion characteristics of dust clouds - Part 3: Determination of the lower explosion limit LEL of dust clouds.
- prEN 14034-4. Determination of the explosion characteristics of dust clouds – Part 4: Determination of the limiting oxygen concentration.
- prEN 14373. Explosion suppression systems.
- prEN 14460. Explosion resistant products.
- prEN 14491. Dust explosion venting protective systems.
- prEN 14522. Determination of the minimum ignition temperature of gases and vapours.
- prEN 14591-1. Explosion prevention and protection in underground mining - Protective systems - Part 1: 2 bar explosion proof ventilation structure.
- prEN 14756. Determination of the limiting oxygen concentration (LOC) for gases and vapours.
- prEN 14797. Explosion venting devices.