

MANUAL PRÀCTICO

Clasificación de zonas en atmósferas explosivas



MANUAL PRÁCTICO
Clasificación de zonas
en atmósferas explosivas

Autores

Elaboración:
Francesc Escuer Ibars
Centro de Seguridad
y Condiciones de Salud
en el Trabajo de Lérida.
Departamento de Trabajo
e Industria

Javier Garcia Torrent
Laboratorio Oficial J.M.
Madariaga. Universidad
Politécnica de Madrid

Revisión:
Angel Vega Remesal
Laboratorio Oficial J.M.
Madariaga. Universidad
Politécnica de Madrid

Edición

Febrero de 2005

Edita

Colegio de Ingenieros
Técnicos Industriales
de Barcelona

Consell de Cent, 365
08009 Barcelona
Tel.: 934 96 14 20
Fax: 932 15 20 81
cetib@cetib.net

Coordinación

Instituto de Estudios
de la Seguridad
Secretaría Técnica
del CETIB

Propuesto por

Comisión de Medio
Ambiente, Energía
y Seguridad

Diseño gráfico

Georgina Miret

**Fotomecánica, impresión
y encuadernació**
Sprint Copy, SL

DL

B-11.484-05

MANUAL PRÁCTICO

Clasificación de zonas en atmósferas explosivas

Índice

Nota de los autores	7
Presentación	9
1. Introducción	11
1.1. Atmósferas explosivas en la industria	11
1.2. Marco reglamentario	14
1.2.1. Equipos para atmósferas explosivas: R.D. 400/1996 (Directiva 94/9/CE)	15
1.2.2. Instalaciones para atmósferas explosivas: R.D. 681/2003 (Directiva 1999/92/CE)	21
1.2.3. Locales con riesgo de explosión: R.D. 842/2002	22
1.2.4. Otras reglamentaciones	23
1.2.5. Normas aplicables	23
1.3. El documento de protección contra explosiones	26
2. Fundamentos de la clasificación de áreas	31
2.1. Objeto y justificación	31
2.2. Definiciones	31
3. Principios de la clasificación de las áreas de riesgo en zonas	37
3.1. Fuentes de escape	37
3.1.1. Ejemplos de fuentes de escape de gases	39
3.1.2. Ejemplos de fuentes de escape de polvos	40
3.2. Tipos de zonas	40
4. Procedimiento para la clasificación de zonas para gases y vapores	43
4.1. Caracterización del escape	43
4.1.1. Estimación de las dimensiones de los orificios de escape debidos a fallos	45
4.1.2. Tasa de escape	48
4.1.3. Tasas de escape en equipos (escapes estructurales)	55
4.1.4. Cantidades mínimas. Punto de destello	57
4.1.5. Límite inferior de explosividad (LIE)	58
4.1.6. Acciones para impedir la entrada de atmósferas explosivas	59
4.1.7. Densidad relativa del gas o vapor	59
4.1.8. Geometría del emplazamiento	59
4.2. Ventilación	61
4.2.1. Principales tipos de ventilación	61
4.2.2. Grado de ventilación	62
4.2.3. Ineficacia de la ventilación. Factor fv	62
4.2.4. Disponibilidad de la ventilación	63
4.2.5. Clasificación de zonas en función de la ventilación	63

Índice

4.3.	Extensión de las zonas	64
4.3.1.	Emplazamientos en el interior de edificios	64
4.3.2.	Emplazamientos con ventilación natural	70
4.3.3.	Estimación del tiempo de permanencia t_p	70
4.3.4.	Estimación del grado de ventilación	71
4.3.5.	Extensiones típicas de zonas debidas a escapes	72
4.4.	Ejemplos prácticos	76
4.4.1.	Carga y descarga de cisternas de productos petrolíferos inflamables	77
4.4.2.	Cabina de pintura para automóviles	82
4.4.3.	Almacén de productos químicos	84
4.4.4.	Sala de calderas	88
4.4.5.	Tanque mezclador	91
5.	Procedimiento para la clasificación de zonas para polvos	97
5.1.	Definición de las zonas	97
5.2.	Clasificación formal	100
5.2.1.	Recomendaciones de seguridad	100
5.2.2.	Principios de la clasificación de las áreas de riesgo en zonas	100
5.3.	Capas de polvo	101
5.4.	Extensión de las zonas	102
5.4.1.	Ejemplos de designación de zonas	104
5.5.	Ejemplos prácticos	105
5.5.1.	Horno de pan	105
5.5.2.	Taller de carpintería	110
5.5.3.	Pulverización de carbón	112
5.5.4.	Instalación agroalimentaria para fabricación de piensos	114
5.5.5.	Secado y envasado de producto químico	117
	Bibliografía	121

Nota de los autores

Este documento ha sido elaborado por expertos en atmósferas explosivas con el objetivo de servir de ayuda a los técnicos para la definición, clasificación y delimitación de los emplazamientos industriales donde pueden aparecer atmósferas explosivas.

Para la preparación de este manual se han empleado documentos normativos y reglamentarios, así como textos y documentos de reconocida validez en el ámbito de las atmósferas explosivas.

Los autores han incluido sugerencias y consejos procedentes de su experiencia particular, así como ejemplos característicos de aplicación que deben considerarse simplemente con carácter ilustrativo.

La aplicación de los cálculos, ecuaciones, tablas y procedimientos aquí presentados será responsabilidad exclusiva del calculista, proyectista o diseñador, declinando los autores de esta guía toda responsabilidad derivada de una inadecuada utilización de los elementos presentados.

Se recomienda firmemente una formación previa en la problemática específica de las atmósferas explosivas y un conocimiento detallado de las sustancias procesadas, así como de los equipos, operaciones e instalaciones antes de aplicar la clasificación de zonas, para lo que no debe dudarse en recopilar previamente toda la información necesaria y recibir asesoramiento por parte de los expertos.

Finalmente, aunque se ha repasado y corregido en sucesivas ocasiones por parte de diferentes personas, *errare humanum est*, y podrían existir erratas en los textos, por lo que deben aplicarse siempre con precaución y en caso de duda utilizar un criterio favorable a la seguridad.

Para corregir futuras ediciones, se ruega notificar cualquier error observado a las siguientes direcciones de correo electrónico: cetib@cetib.net y lom@lom.upm.es

Diciembre, 2004

Presentación

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, sino que se hallan muy próximos a la mayoría de los ciudadanos y a su quehacer cotidiano. Un horno de pan, un taller de carpintería, 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.

En este esfuerzo por una mayor seguridad que la sociedad nos exige, los peritos y los ingenieros técnicos industriales somos profesionales altamente comprometidos. Sensibles a este compromiso, desde la Comisión de Medio Ambiente, Energía y Seguridad del Colegio de Ingenieros Técnicos Industriales de Barcelona nos propusimos poner a disposición de los colegiados un manual práctico para la clasificación de zonas en atmósferas explosivas, manual que hoy presentamos.

Nuestro agradecimiento en primer lugar al Instituto de Estudios de la Seguridad, fundación privada en la que participa nuestro colegio, por el entusiasmo con el que abordaron el encargo de hacer realidad este manual y la eficacia en su elaboración. En segundo lugar, a la Secretaría Técnica del colegio por la colaboración que ha prestado en todo momento. Y finalmente, no sólo agradecer sino también felicitar a los autores, expertos pertenecientes al Laboratorio Oficial J. M. Madariaga de la Universidad Politécnica de Madrid y del Centro de Seguridad i Condiciones de Salud en el Trabajo de Lérida, por el magnífico trabajo que han puesto a nuestra disposición.

Joan Ribó

Presidente de la Comisión de Medio Ambiente,
Energía y Seguridad del Colegio de Ingenieros
Técnicos Industriales de Barcelona

Febrero de 2005

I. Introducción

1.1. Atmósferas explosivas en la industria

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.

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.

El término 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, por lo que excluye a los procesos en condiciones hiperbáricas. Esto quiere decir que para los procesos en condiciones que excedan las atmosféricas, el cumplimiento de los requisitos de las directivas sobre atmósferas explosivas, más conocidas como ATEX no es garantía de encontrarse en condiciones seguras.

Entenderemos condiciones atmosféricas cuando la temperatura está comprendida entre -20° C y 60° C y la presión está en el rango 0,8 bar a 1,1 bar¹.

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.

En un emplazamiento con una atmósfera explosiva hay que tener en cuenta dos aspectos distintos:

- **Los equipos** que van a ser instalados en dicha zona y que deben ser seguros y no susceptibles de iniciar una explosión.
- **La forma en la que se trabaja** en dicha zona peligrosa.

El amparo legal a estos planteamientos por el lado de la seguridad de los equipos y productos para uso en atmósferas explosivas, lo tenemos en la Directiva 94/9/CE. Y por el lado de la seguridad laboral, disponemos de la Directiva 1999/92/CE. El marco normativo específico para las zonas con riesgo de explosión se analiza en el siguiente punto 1.2.

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

¹ Debe hacerse notar que los productos eléctricos suelen diseñarse y ensayarse para su uso en un intervalo de temperaturas ambiente de -20° C a 40° C, de conformidad con la norma EN 50014. Los productos diseñados para su uso fuera de este intervalo necesitarán un marcado adicional y la realización de ensayos complementarios, según convenga.

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 H_2 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 almen-dra 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.
- Zonas de trabajo, manipulación y almacenamiento.
- 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 explosivos, 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.
- Plantas desmotadoras de algodón.
- Plantas de procesado de lino.
- 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.
- 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.

1.2. Marco reglamentario

La reglamentación en materia de seguridad frente a los riesgos de explosión en atmósferas potencialmente explosivas por gases, vapores, nieblas, polvos o fibras, ha cambiando en los últimos años como consecuencia de la adaptación de la legislación a las directivas que provienen de la Unión Europea. Las directivas comunitarias "de nuevo enfoque" vienen a sustituir un listado de normas de obligado cumplimiento por el establecimiento de unos Requisitos Esenciales de Seguridad.

Del artículo 100 del Tratado de la UE (actualmente renumerado como artículo 95), enfocado a la *seguridad de los equipos y productos*, se derivan una serie de directivas, que han sido ya traspuestas a la legislación nacional. Las más destacables son:

- La Directiva Marco de Máquinas (89/392/CEE, que da lugar al Real Decreto 1435/1992, con una última modificación en la directiva 94/103/CEE, que se refleja en el Real Decreto 56/1995).
- La Directiva ATmósferas EXplosivas (ATEX) relativa a legislaciones sobre sistemas de protección para uso en atmósferas potencialmente explosivas 94/9/CE, que se transpone en el Real Decreto 400/1996.

La primera de estas directivas y su transposición (Real Decreto 1435/1992, sobre Máquinas) hace referencia directa en su párrafo 1.5 a las medidas de seguridad que deben tomarse contra los riesgos de incendio, *explosión* y emisiones de gases, polvo, etc.

Del actual artículo 137 del Tratado de la UE dirigido a lograr un ambiente de trabajo más seguro en la prevención de riesgos a los que se pueden ver expuestos los operarios, se deriva:

La Directiva 1999/92/CE relativa a las disposiciones mínimas para la mejora de la protección de la salud y seguridad de los trabajadores expuestos a los riesgos derivados de atmósferas explosivas, traspuesta al ordenamiento jurídico español a través del Real Decreto 681/2003.

La figura 1.1 esquematiza el contenido de las directivas comunitarias específicas sobre atmósferas explosivas.

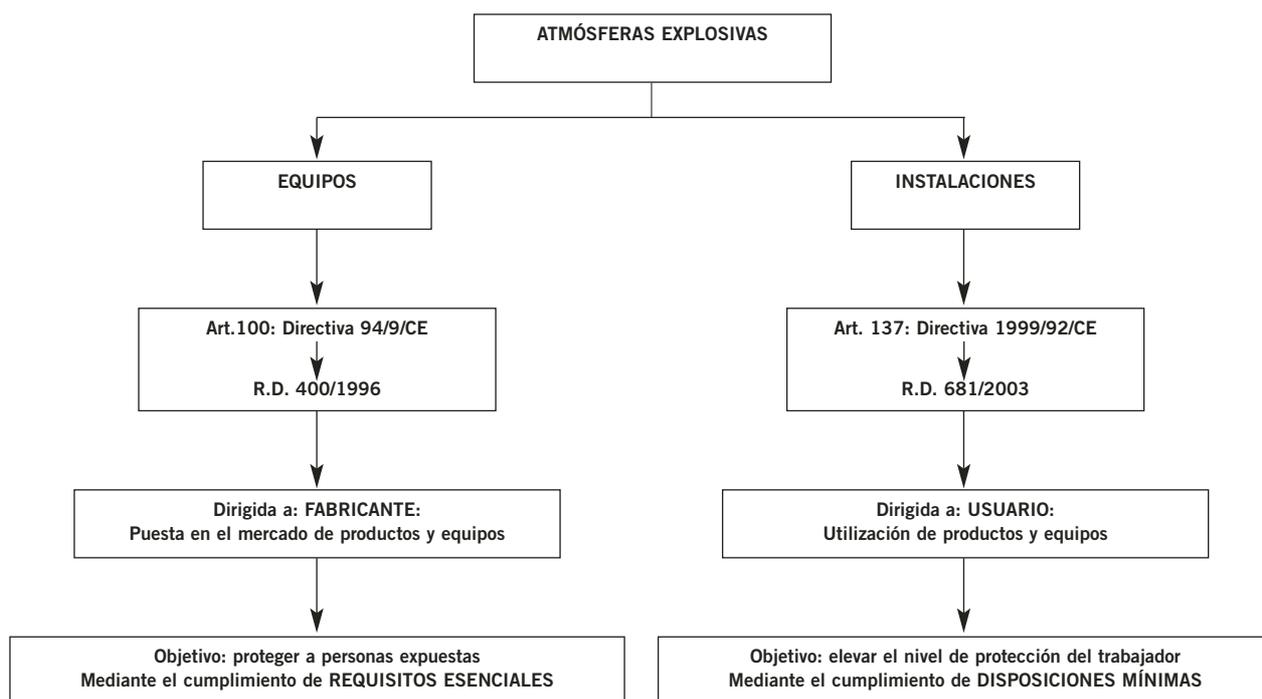


Figura 1.1. Dualidad equipos/instalaciones para atmósferas explosivas

1.2.1. Equipos para atmósferas explosivas: R.D. 400/1996 (Directiva 94/9/CE)

Por el lado de la seguridad de los equipos y productos para uso en atmósferas explosivas, la Directiva 94/9/CE “Equipos y sistemas de protección previstos para su uso en atmósferas potencialmente explosivas”, establece los **Requisitos Esenciales de Seguridad** que deben cumplir dichos productos, así como los procedimientos para la acreditación de la conformidad, todo ello dentro de los criterios generales conocidos como “del Nuevo Enfoque”. Por tanto, esta directiva, denominada **ATEX 100**, establece la responsabilidad de los **fabricantes** de dichos equipos. Esta directiva está transpuesta mediante el R.D. 400/1996 [1].

Una de sus características es que hace un planteamiento global del riesgo considerando no sólo las fuentes de ignición eléctricas, sino también las debidas a cualquier tipo de equipamiento mecánico².

Así pues, los equipos eléctricos y no eléctricos que se instalan en lugares donde se pueden formar atmósferas explosivas deben cumplir unos requisitos, obtener una certificación y ser marcados conforme a las disposiciones dictadas por el Real Decreto 400/1996.

De forma específica, el alcance del Real Decreto, de acuerdo a su texto, 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.

² Son fuentes potenciales de ignición las chispas, arcos y centelleos de origen eléctrico, las descargas electrostáticas, las ondas electromagnéticas, la radiación ionizante, las superficies calientes, las llamas y gases calientes, las chispas de origen mecánico, la radiación óptica, las llamas de origen químico y la compresión.

- 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.

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, 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 que está prevista su instalación, los aparatos se 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 gases y polvos.

Aparatos del Grupo II: equipos destinados al resto de instalaciones con presencia de atmósfera explosiva. Al contrario que con anterioridad, ahora 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 subdivisión se aplica a los aparatos del Grupo II, destinados a ser utilizados en atmósferas explosivas de gas o vapor.

En función del IEMS (Intersticio Experimental Máximo de Seguridad, en mm) como medida de la sensibilidad a la llama, y de la CMI (Corriente Mínima de Ignición relativa a la del metano) como una medida de la sensibilidad al arco eléctrico, el Grupo II se subdivide en Subgrupos (se incluye la referencia a la Energía Mínima de Inflamación, EMI, en μJ):

Subgrupo IIA	$0,8 < \text{CMI}$	$0,9 < \text{IEMS}$	(ref. Metano, EMI = 250)
Subgrupo IIB	$0,45 < \text{CMI} < 0,8$	$0,5 < \text{IEMS} < 0,9$	(ref. Etileno, EMI = 96)
Subgrupo IIC	$\text{CMI} < 0,45$	$\text{IEMS} < 0,5$	(ref. Hidrógeno, EMI = 20)

- 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**.

En la tabla 1.1 se recoge la clasificación aplicable a la Clase I (gases y vapores) y aparatos del Grupo II, considerándose una temperatura ambiente de 40° C.

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 1.1. Clasificación por temperatura superficial

– Por la probabilidad de que los equipos aporten una fuente de energía que desencadene la explosión, se clasifican en **Categorías**.

En función del nivel de seguridad se establecen dos categorías para el Grupo I: M1 y M2 (Figura 1.2) y tres categorías para el Grupo II: 1, 2 y 3 (Figura 1.3).

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

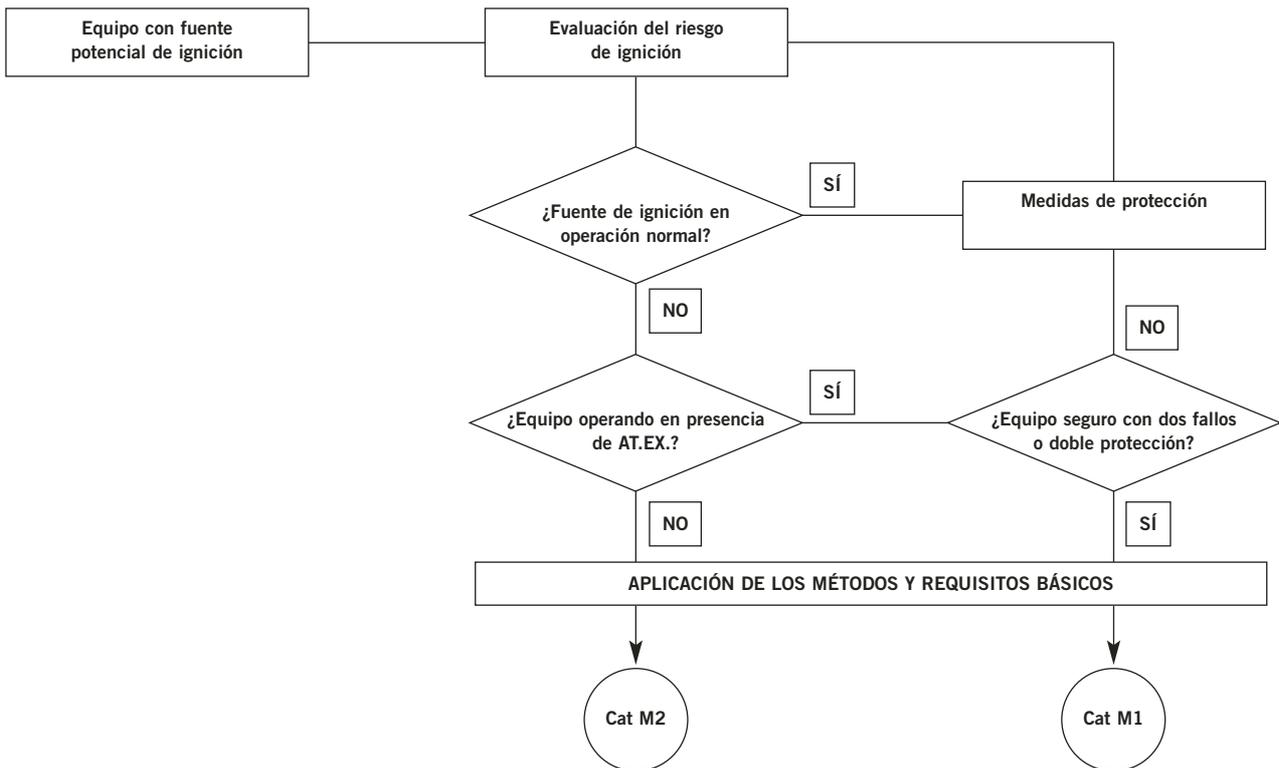


Figura 1.2. Clasificación de equipos del Grupo I por Categorías

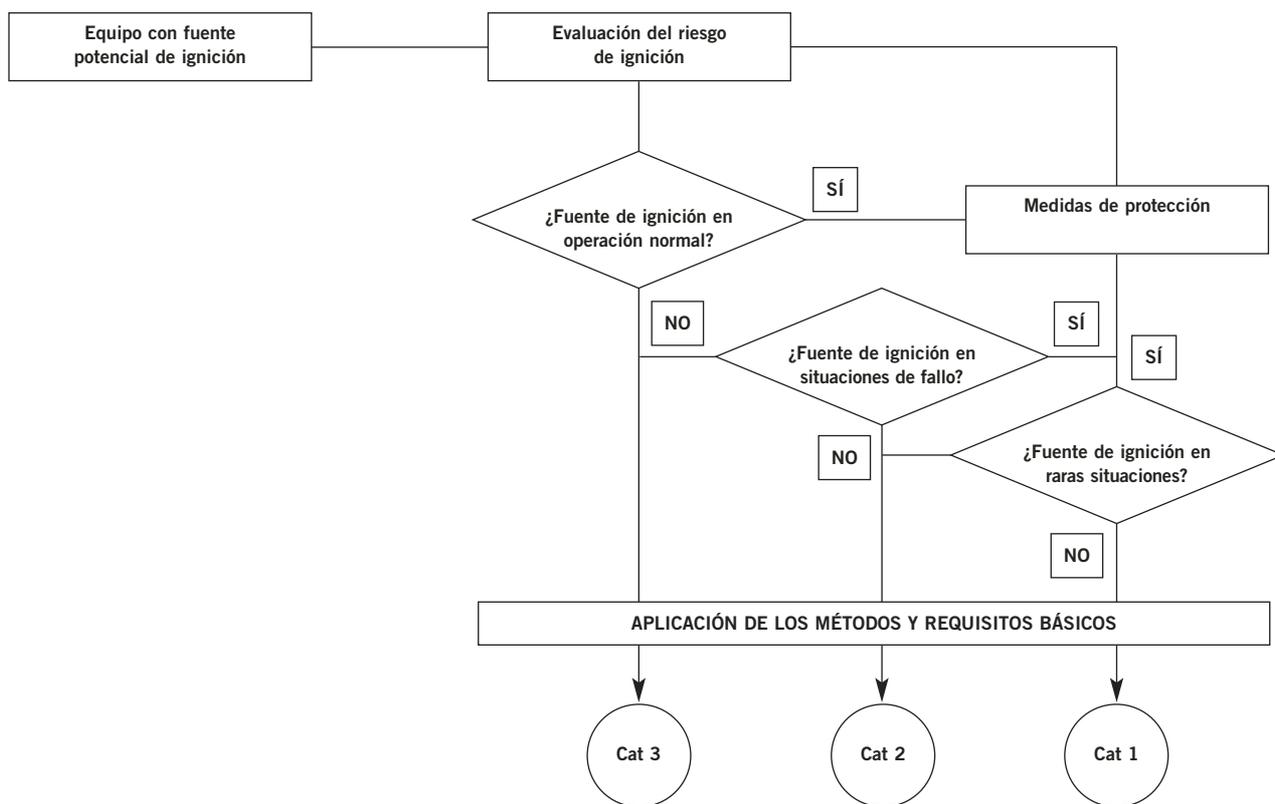


Figura 1.3. Clasificación de equipos del Grupo II por Categorías

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.

En la Tabla 1.2 se resumen las características de los equipos del Grupo I y en la Tabla 1.3 las del Grupo II.

Para que un equipo o sistema pueda ser comercializado ya no basta con cumplir una lista de normas armonizadas, sino que debe haber sido diseñado y construido de acuerdo con los requisitos esenciales de seguridad y salud que aparecen en el Anexo II del Real Decreto 400/1996, y deberá estar provisto de una declaración de conformidad.

Esta conformidad se basa en:

- 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 de Fabricante.
- Emisión de la Declaración de Conformidad CE.
 - Marcado CE de los equipos.

APARATOS GRUPO I

Categoría M1	Categoría M2
Equipos diseñados para asegurar un nivel de protección muy alto.	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 exista peligro debido al grisú y/o a polvos explosivos.	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.

Tabla 1.2. Equipos Grupo I

APARATOS GRUPO II

Categoría 1	Categoría 2	Categoría 3
Equipos diseñados para asegurar un nivel de protección muy alto.	Equipos diseñados para asegurar un nivel alto de protección.	Equipos diseñados para asegurar un nivel normal de protección.
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.	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.	Los aparatos de esta categoría están destinados a utilizarse en un ambiente en el que sea poco probable la formación de atmósferas explosivas debidas a gases, vapores, nieblas o polvo en suspensión y en que, con arreglo a toda probabilidad, su formación sea infrecuente y su presencia 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.

Tabla 1.3. Equipos Grupo II

En resumen, el fabricante, su representante autorizado o la primera persona que comercialice un producto en la UE o ponga un producto en servicio en el mercado de la UE es quien debe decidir si dicho producto entra dentro del ámbito de aplicación de la Directiva 94/9/CE y, en tal caso, aplicar sus disposiciones. Así pues, el fabricante (en el sentido más amplio de la Directiva) debe realizar una evaluación de *riesgos ATEX del producto* tomando como base la Directiva 94/9/CE (traspuesto a la legislación española por el RD 400/1996).

En general se puede afirmar que la observación de los Requisitos Esenciales de Seguridad y Salud de la Directiva 94/9/CE es condición necesaria para garantizar que los aparatos y sistemas de protección se han construido a prueba de explosiones. Dichos requisitos se han concebido para tener en cuenta todos los peligros existentes o potenciales que se derivan de las fases de diseño y fabricación. No obstante, según la filosofía de la Directiva ATEX 94/9/CE, la noción de *uso previsto* también posee una importancia capital. Asimismo, es fundamental que los fabricantes aporten toda la información de que dispongan.

Por consiguiente, para cumplir los requisitos de la Directiva 94/9/CE es absolutamente necesario realizar un proceso de evaluación de riesgos. Según lo dispuesto en el apartado 1.0.1 del anexo II, los fabricantes están obligados a diseñar los aparatos y sistemas de protección con miras a la integración de la seguridad frente a las explosiones. Este principio se ha concebido con el propósito de evitar la formación de atmósferas explosivas, suprimir las fuentes de ignición y, en caso de que, a pesar de todo, se produjese una explosión, detenerla inmediatamente o limitar sus efectos. En este sentido, el fabricante adoptará las medidas oportunas en relación con los riesgos de explosión. Asimismo, de conformidad con el apartado 1.0.2 del Anexo II de la Directiva, los aparatos y sistemas de protección deberán diseñarse y fabricarse considerando posibles anomalías de funcionamiento para evitar al máximo situaciones peligrosas.

Teniendo en cuenta las obligaciones que se derivan de los requisitos descritos en la Directiva 94/9/CE, la metodología sobre evaluación de riesgos no sólo debe considerar los aspectos relativos al diseño y a la construcción, sino que además debe proporcionar un formato o lenguaje común para diseñadores y usuarios.

Hay que indicar que, si un producto entra en el ámbito de aplicación de varias directivas al mismo tiempo, todas ellas deben aplicarse paralelamente para cumplir los requisitos especiales que cada una establezca.

Veamos el caso de la relación entre la Directiva ATEX 94/9/CE y la Directiva de máquinas 98/37/CE. La Directiva 94/9/CE, que es una Directiva específica a efectos del apartado 4 del artículo 1 de la Directiva de máquinas, incluye una serie de requisitos muy específicos y pormenorizados con los que se pretende evitar los peligros debidos a la presencia de atmósferas potencialmente explosivas, mientras que la Directiva de máquinas contiene tan sólo algunos requisitos muy generales en relación con los riesgos de explosión (apartado 1.5.7 del anexo I de la Directiva de máquinas). En lo concerniente a la protección frente a las explosiones en una atmósfera potencialmente explosiva, la Directiva 94/9/CE tiene preferencia y debe ser aplicada. En lo que respecta a otros riesgos pertinentes relacionados con las máquinas, también habrá que aplicar los requisitos que establece la Directiva de máquinas.

Otro caso lo tenemos en que, para evitar un posible solapamiento con la Directiva 94/55/CE del Consejo relativa al transporte de mercancías peligrosas por carretera, la mayoría de medios de transporte están excluidos del ámbito de aplicación de la Directiva 94/9/CE (apartado 4 del artículo 1). En general, los vehículos que regula la Directiva 94/9/CE no abandonan las instalaciones del usuario. Sirvan de ejemplo las carretillas elevadoras y otras máquinas móviles en las que el motor de combustión interna, los sistemas de freno y los circuitos eléctricos pueden ser fuentes potenciales de ignición.

1.2.2. Instalaciones para atmósferas explosivas: R.D. 681/2003 (Directiva 1999/92/CE)

La protección contra explosiones reviste una particular importancia para la seguridad, puesto que las explosiones amenazan las vidas y la salud de los trabajadores por los efectos incontrolados de las llamas y de las presiones, la presencia de productos de reacción nocivos, así como el consumo del oxígeno ambiental respirado por los trabajadores.

Por el lado de la seguridad laboral, la referencia fundamental ha de hacerse a la Directiva 1999/92/CE sobre **Disposiciones Mínimas de Seguridad** para la mejora de la seguridad y salud de los trabajadores expuestos a riesgos derivados de atmósferas explosivas, que desarrolla de forma específica para el riesgo de explosión lo establecido en la Directiva 89/391/CEE relativa a la “aplicación de medidas para promover la mejora de la seguridad y de la salud de los trabajadores en el trabajo” (Directiva MARCO). Establece el modo de operación dentro de la instalación, así como la adecuación de los equipos a las zonas de trabajo definidas bajo esta directiva, afectando a la responsabilidad del **empresario** titular de la instalación. Esta directiva, denominada **ATEX 137**, excluye a las industrias extractivas, por tener su regulación específica que incluye el riesgo de explosión. Esta directiva está transpuesta mediante el R.D. 681/2003 [2].

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

Su entrada en vigor a partir del 1 de Julio de 2003 para todas las instalaciones nuevas con atmósferas explosivas (o antiguas que sufran modificaciones con posterioridad a la citada fecha) marca un hito en el concepto de seguridad. En el citado R.D. 681/2003 se cita expresamente la necesidad de protección contra llamas, presiones y productos de reacción nocivos, siendo imprescindible prever medidas adicionales cuando se produzca la ignición. En línea con la Ley 31/1995 de Prevención de Riesgos Laborales [3], se especifica que deben coordinarse los trabajadores de diferentes empresas en el mismo lugar de trabajo y que son obligaciones del empresario impedir la formación de atmósferas explosivas, evitar la ignición de atmósferas explosivas y atenuar los efectos perjudiciales de una explosión.

Como característica propia se incluye la obligatoriedad de establecer una clasificación en zonas de las áreas en las que pueden formarse atmósferas explosivas y la necesidad de elaborar y mantener un documento de protección contra explosiones.

En resumen, su objetivo es obligar al empresario a realizar las siguientes funciones de protección contra explosiones:

- determinar los peligros y valorar los riesgos del área de trabajo;
- fijar medidas específicas para proteger la seguridad y salud de los trabajadores expuestos al riesgo de *atmósferas explosivas*;
- garantizar un entorno de trabajo seguro y velar por una vigilancia apropiada durante la presencia de *trabajadores* en proporción con la valoración de riesgos;
- determinar las necesarias medidas y modalidades de coordinación cuando trabajen varias empresas en un mismo emplazamiento; y
- elaborar un documento de protección contra explosiones.

Como hemos indicado 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.

Se consideran ATEX los emplazamientos con gases, vapores o nieblas en cantidad suficiente para producir atmósferas explosivas o inflamables así como los emplazamientos con polvo o fibras combustibles. En el apartado 1.1 hemos relacionado algunos ejemplos.

1.2.3. Locales con riesgo de explosión: R.D. 842/2002

La Instrucción Técnica Complementaria ITC-BT-029 aprobada con el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión, a través del RD 842/2002 [4], 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 de 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.

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 explosionar, siendo sostenida la reacción por el aporte de oxígeno procedente del aire ambiente en que se encuentran.

En esta Instrucción sólo se consideran los riesgos asociados a la coexistencia en el espacio y tiempo de equipos e instalaciones eléctricas con atmósferas explosivas.

El procedimiento para alcanzar un nivel de seguridad aceptable se fundamenta en el empleo de equipamiento construido y seleccionado de acuerdo a ciertas reglas así como en la adopción de medidas de seguridad especiales de instalación, inspección, mantenimiento y reparación, en relación con la acotación del riesgo de presencia de *atmósfera explosiva* mediante una *clasificación* de los *emplazamientos* en los que se pueden producir atmósferas explosivas.

Según la clasificación en que se incluye el emplazamiento, es necesario recurrir a un tipo determinado de medidas constructivas de los equipos, de instalación, supervisión o intervención, como se detalla en la Instrucción y normas que en ella se citan. Indica también que es preciso llevar a cabo la explotación, conservación y mantenimiento de la instalación y sus componentes, dentro de unos límites estrictos, para que las condiciones de seguridad no se vean comprometidas durante su vida útil.

Para establecer los requisitos que han de satisfacer los distintos elementos constitutivos de la instalación eléctrica en *emplazamientos* con atmósferas potencialmente explosivas, estos emplazamientos se agrupan en dos clases según la naturaleza de la sustancia inflamable, denominadas como Clase I si el riesgo es debido a gases, vapores o nieblas y como Clase II si el riesgo es debido a polvo. En las anteriores clases se establece una *subdivisión en zonas* según la probabilidad de presencia de la atmósfera potencialmente explosiva.

La Instrucción especifica que la *clasificación de emplazamientos* se llevará a cabo por un técnico competente que justificará los criterios y procedimientos aplicados.

En la Norma UNE-EN 60079-10 se recogen reglas precisas para establecer zonas en emplazamientos de Clase I y en la Norma CEI 61241-3 se recogen reglas para establecer zonas en emplazamientos de Clase II.

Hay que indicar que la palabra "*emplazamiento*" utilizado en la ITC-BT-029, es equivalente a la palabra "áreas³" en las que pueden formarse atmósferas explosivas, utilizada en el RD 681/2003. El ingeniero que proyecta la instalación eléctrica de una industria con riesgo de explosión, clasifica los emplazamientos en zonas, acorde con el REBT y el técnico de seguridad que evalúa los riesgos de explosión, utiliza la terminología de clasificación en zonas de las áreas en que pueden formarse atmósferas explosivas, acorde con el RD 681/2003.

En resumen, en el REBT se emplazan equipos eléctricos en las distintas Zonas y en Seguridad laboral se evalúan los puestos de trabajo situados en las Zonas previamente clasificadas. Ambas normativas son coincidentes en la clasificación de Zonas.

³ El término "emplazamiento" como acción y efecto de emplazar, es poner una cosa en un determinado lugar y la palabra "área" es un espacio en que se produce un determinado fenómeno que se distingue por ciertas características definidas.

1.2.4. Otras reglamentaciones

Equipos de Trabajo: Las Directivas Comunitarias vienen incorporándose en el orden jurídico español mediante diversas reglamentaciones. Así, por ejemplo, la 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 se transpone al derecho español mediante el Real Decreto 1215/1997 de 18 de julio[5].

En otros casos, las directivas dan lugar a reglamentos completos. Algunos de éstos ya existían con anterioridad y las nuevas directivas, así como las adaptaciones al progreso técnico, conducen a la actualización de tales reglamentos.

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 publicado como R.D. 2115/1998 en el B.O.E. de 2 de Octubre de 1998. Este reglamento procede del Acuerdo Europeo sobre Transporte Internacional de Mercancías Peligrosas por Carretera (conocido como ADR), hecho en Ginebra el 30 de Septiembre de 1957, cuyo texto se ha refundido en varias ocasiones, incorporando enmiendas (como las publicadas por el MOPT en 1995 [6]) que pasan a ser de aplicación uniforme en todos los Estados miembros, conforme a lo previsto en la Directiva 94/55/CE del Consejo de la Unión Europea.

Substancias Inflamables: Otro reglamento que hace referencia a sustancias inflamables es el Reglamento sobre notificación de sustancias nuevas y clasificación, envasado y etiquetado de sustancias peligrosas, publicado como R.D. 363/1995 (B.O.E. 5 de junio de 1995) [7], procedente de la Directiva 67/548/CEE, actualizada por la 98/73/CE.

Instalaciones Petrolíferas: En el caso particular de las instalaciones petrolíferas, el R.D. 2085/1994, modificado por el R.D. 1523/1999 establece el Reglamento aplicable a los diferentes tipos de instalaciones petrolíferas, desarrollado en sus Instrucciones Técnicas Complementarias [8].

Almacenamiento de Productos Químicos: También cabe citar el R. D. 379/2001, por el que se aprueba el Reglamento de almacenamiento de productos químicos, así como sus Instrucciones Técnicas Complementarias [9].

Instalaciones de gas: Las instalaciones de gas en locales destinados a usos domésticos, colectivos o comerciales deben cumplir el Reglamento denominado RIGLO (R.D. 1853/1993) [10].

Instalaciones térmicas en edificios: deben cumplir el R.D. 1751/1998 (RITE) y sus Instrucciones Técnicas Complementarias [11].

1.2.5. Normas aplicables

La Unión Europea utiliza como referencia las normas de CEN (Comité Europeo de Normalización) y de CENELEC (Comité Europeo de Normalización Eléctrica). En ausencia de estas normas, es común la referencia a las normas ISO (Organización Internacional para la Normalización) o IEC (Comisión Electrotécnica Internacional), aunque dado el grado de acercamiento entre las instituciones de normalización europeas e internacionales, está próxima la utilización de un solo campo normativo en lo referente a las atmósferas explosivas (Figura 1.4).

Se pueden distinguir dos ramas en la generación de normativa europea: la de los **equipos eléctricos** y la de los **no eléctricos**. El trabajo de normalización en el ámbito de los equipos eléctricos para ser utilizados en atmósferas explosivas se inició hace 25 años con CENELEC. Desde entonces, se ha desarrollado un número

importante de normas en este campo. Con el paso del tiempo, este conjunto de normas se sometió a una revisión con vistas al amplio alcance de la Directiva 94/9/CE (ATEX 100), mediante un mandato de la Comisión.

Equipos eléctricos: Las principales normas que se refieren a los aparatos eléctricos para atmósferas potencialmente explosivas son:



Figura 1.4. Ámbito normativo europeo

- 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. Envoltente 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 envoltentes. 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 envoltentes. 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 envoltentes (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.

El Comité Técnico de AENOR AEN/CTN 202 Instalaciones Eléctricas, cuya Secretaría desempeña la Asociación de Fabricantes de Material Eléctrico, AFME, se ocupa de la redacción de los documentos normativos en España.

Aspectos no eléctricos: Por otra parte, CEN se ocupa de las actividades principales para la normalización de aspectos no eléctricos. El trabajo se viene desarrollando en el Comité Técnico CEN TC 305: Atmósferas Potencialmente Explosivas. Prevención y Protección de Explosiones, que está teniendo una intensísima actividad en la edición de normas europeas relacionadas con las atmósferas explosivas. En la siguiente lista se relacionan los principales documentos normativos del CEN 305:

- 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 flow restricting 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.

Cabe destacar que en Octubre de 2000 se constituyó en España el Comité Técnico de Normalización AEN/CTN 163 “Atmósferas potencialmente explosivas. Prevención y protección contra las explosiones” como grupo espejo del CEN/TC 305. La Secretaría de este grupo corresponde al Laboratorio Oficial J.M. Madariaga, LOM.

AENOR publica las diferentes normas que van saliendo desde los grupos de trabajo y periódicamente aparecen recopilaciones de las normas publicadas [12] [13].

1.3. El documento de protección contra explosiones

Como ya se ha indicado, la Directiva 1999/92/CE establece como obligación del empresario en cuyos lugares de trabajo exista un peligro derivado de la presencia de atmósfera explosiva, la elaboración del documento de protección contra explosiones. Dicho documento se debe mantener actualizado y debe reflejar:

- Que se han determinado y evaluado los riesgos de explosión.
- Que se tomarán medidas adecuadas para la protección.
- Que las áreas de riesgo han sido clasificadas en zonas.
- Las áreas en las que se aplicarán los requisitos mínimos de seguridad citados posteriormente.
- Que el lugar y los equipos de trabajo, incluidos los sistemas de alerta, están diseñados y se utilizan y mantienen teniendo en cuenta la seguridad.

Este documento se debe elaborar 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 o en la organización del trabajo.

El documento de protección contra explosiones debe adaptarse a las condiciones operativas existentes en cada caso. Debe estar estructurado lo mejor posible, resultar de fácil lectura y permitir una comprensión global. Por esta razón, el volumen de la documentación no debe ser excesivo. Puede ser aconsejable configurarlo de manera flexible, por ejemplo en forma de fichas, para poder ampliarlo a medida que se modifiquen o incorporen nuevas unidades de proceso.

A continuación se ofrece un ejemplo de la estructura que podría adoptar el documento de protección contra explosiones [14]. Esta estructura tipo contiene puntos que pueden resultar útiles para presentar los requisitos antes enumerados. Sin embargo, no debe entenderse que todos estos puntos tienen que aparecer forzosamente en el documento de protección contra explosiones.

a) Descripción del lugar de trabajo y de los sectores de actividad

El lugar de trabajo se subdivide en sectores de actividad. En el documento de protección contra explosiones se describen los sectores de actividad en los que existe peligro de *atmósfera explosiva*.

La descripción puede incluir, por ejemplo: nombre de la empresa, tipo de instalación, denominación del edificio o del local, responsables de la empresa y número de trabajadores.

Las particularidades constructivas y geográficas pueden documentarse visualmente, por ejemplo, mediante planos de situación y planos de instalaciones. Deben incluirse las salidas de emergencia y las vías de evacuación.

b) Descripción de los procesos y/o actividades

Los procesos correspondientes deben describirse con un texto breve acompañado, en su caso, de un dia-

grama del proceso. Esta descripción debe incluir todos los datos importantes para la protección contra explosiones: descripción de los pasos de trabajo, incluidos el arranque y la parada, resumen de los datos de diseño y funcionamiento (por ejemplo temperatura, presión, volumen, rendimiento, frecuencia de giro, carburante), en su caso, tipo y envergadura de los trabajos de limpieza y, si procede, datos sobre la ventilación del local.

c) Descripción de las sustancias utilizadas y sus parámetros de seguridad

Se trata de describir qué sustancias provocan la formación de una atmósfera explosiva y en qué condiciones del procedimiento se produce ésta. En este punto deben incluirse los parámetros de inflamabilidad y explosividad característicos:

Para gases y vapores producidos por líquidos inflamables:

- Temperatura Mínima de Inflamación (TMI)
- Límite Inferior (LIE) y Límite Superior (LSE) de Explosividad
- Grupo y Subgrupo de gas, IIA, IIB o IIC, lo que depende de características específicas del gas, como son su Energía Mínima de Inflamación (EMI), su Corriente Mínima de Inflamación (CMI), o su Intersticio Experimental Máximo de Seguridad (IEMS)
- Punto de Destello (PD)
- Densidad del gas respecto del aire

Para polvos y fibras:

- Temperatura mínima de ignición en capa (TMlc)
- Temperatura mínima de inflamación en nube (TMln)
- Concentración mínima explosiva (CME)
- Presión máxima de explosión (PME o Pmax)
- Constante característica (Kst o Kmax)
- Susceptibilidad térmica (reacciones exotérmicas o autoignición)
- Resistividad eléctrica en capa

Según detalla la norma UNE-EN 1127-1 [15] sobre conceptos básicos para atmósferas explosivas, “*Es preciso tener en cuenta que dichos datos de seguridad no son constantes físicas, sino que dependen por ejemplo de las técnicas utilizadas para la medición. Así, para los polvos, las tablas de datos de seguridad sólo se utilizan a título de orientación, porque los valores dependen de la repartición granulométrica y de la forma de las partículas, del contenido de humedad y de la presencia de aditivos, incluso en pequeñas concentraciones. Para una aplicación específica, se deberían ensayar muestras del polvo presente en el aparato, y utilizar los datos obtenidos para la identificación del peligro*”.

d) Presentación de los resultados de la evaluación de riesgos

Debe describirse dónde puede aparecer una *atmósfera explosiva*. Puede establecerse una distinción entre el interior de partes de instalaciones y el entorno. Debe tenerse en cuenta no sólo el funcionamiento normal, sino también la puesta en marcha/parada y la limpieza, así como las disfunciones. En este apartado se debe incluir la evaluación del riesgo de explosión, que incluirá:

- La *identificación de las situaciones de peligro*, que comprende el análisis de todas las fuentes de ignición y su probabilidad de activación y las condiciones de proceso en las que se genera atmósfera potencialmente explosiva.
- La *estimación del riesgo* en función del impacto y consecuencias de la posible explosión.
- La *valoración del riesgo*, componiendo la probabilidad de explosión con la severidad o impacto.
- La *reducción del riesgo*, mediante las medidas de seguridad planteadas, tanto para la reducción de la probabilidad como para mitigar los efectos de la explosión.

Puede seguirse la metodología descrita en la norma UNE-EN 1127-1 [15]. En las referencias [16] y [17] se presentan diversos métodos de evaluación de riesgos. La tabla 1.4 presenta una forma de valorar el riesgo a partir de la frecuencia de ocurrencia y la gravedad del daño.

GRAVEDAD DEL DAÑO				
Frecuencia	Catastrófico	Importante	Secundario	Despreciable
Frecuente	A	A	A	C
Probable	A	A	B	C
Ocasional	A	B	B	D
Remoto	A	B	C	D
Improbable	B	C	C	D

A Riesgo intolerable, parar la actividad hasta reducir el riesgo

B Riesgo alto, deben tomarse medidas para reducir el riesgo

C Riesgo medio, puede reducirse con medidas organizativas

D Riesgo aceptable, no se requieren acciones adicionales

Tabla 1.4. Valoración del riesgo

e) Descripción de las áreas de riesgo clasificadas en zonas

Las *zonas de riesgo (zonas)* pueden presentarse tanto mediante texto como gráficamente mediante un plano de zonas. En este apartado se deben incluir los detalles de las fuentes de escape y el alcance de las zonas, así como los detalles o justificaciones técnicas empleadas para valorar la probabilidad de aparición o la duración de la atmósfera explosiva. En este sentido, el establecer un procedimiento operativo que limite las emisiones, reduzca las concentraciones o impida las acumulaciones de polvo puede incluirse como criterio técnico.

Debe recordarse que la clasificación de zonas es un documento vivo, que puede cambiar en función de las modificaciones producidas sobre las fuentes de escape, así como los cambios introducidos que distorsionen el alcance esperable de las zonas.

Resulta útil presentar conjuntamente las zonas y los equipos incluidos en cada zona en forma de un cuadro o tabla, como se indica en la tabla 1.5.

Fuentes de escape	Extensión zona	Zona	Equipos instalados	Certificación
Grado continuo		0		
		20		
Grado primario		1		
		21		
Grado secundario		2		
		22		

Tabla 1.5. Resumen de datos sobre las zonas clasificadas

En la columna fuentes de escape se describirán todas ellas (interior de equipos, juntas, puertas de inspección, etc.) agrupadas según su grado. La extensión de la zona debe especificar la 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.

En la columna de equipos instalados se detallarán todos los equipos, mecánicos o eléctricos, que estén instalados en la extensión de la zona, recordando siempre que el primer principio de seguridad en el diseño de las instalaciones es que si no es absolutamente imprescindible, no se debe introducir ningún aparato en un emplazamiento peligroso.

Por último, en la columna certificación se detallará el tipo de documento que avala la seguridad del equipo

instalado, conforme a lo establecido en el R.D. 400/1996 [1] sobre equipos instalados en atmósferas explosivas: declaración de conformidad del fabricante, certificado CE de tipo, evaluación del riesgo de la máquina (por ejemplo, según UNE-EN 13463 [18]), etc.

f) Medidas de protección adoptadas para la protección contra explosiones

A partir de la evaluación de riesgos, en este apartado se presentarán las medidas que se imponen para la protección contra explosiones. Debe mencionarse explícitamente el principio de protección perse-guido, por ejemplo “prevención de fuentes de ignición efectivas”, etc. Puede resultar de interés una división en medidas técnicas y organizativas.

Medidas técnicas

Prevención. Dado que el enfoque de la protección de la instalación se basa, total o parcialmente, en medidas preventivas para evitar una *atmósfera explosiva* o la presencia de *fuentes de ignición*, es necesaria una descripción detallada de la aplicación de estas medidas.

Construcción. Se incluirán en este apartado las medidas concebidas para limitar los efectos peligrosos de explosiones originadas en el interior de las instalaciones, como es la construcción resistente a la explosión, el venteo de la explosión, la supresión de la explosión o la prevención de la propagación de las llamas y de la explosión. En la referencia [17] se detallan las soluciones técnicas proporcionadas por la industria.

Control de procesos. Si los sistemas de control de procesos forman parte del enfoque de protección contra explosiones, debe describirse la naturaleza, el modo de funcionamiento y la ubicación de esta medida. Por ejemplo, si se elimina la posibilidad de fuentes de ignición en el interior de los equipos porque no hay elementos en movimiento ni fuentes de ignición propias (sólo se ha considerado la entrada de elementos ajenos o la descarga electrostática), este aspecto debe consignarse pues se trata de un principio de seguridad.

Medidas organizativas

Las medidas de protección organizativas también se describen en el documento de protección contra explosiones, ya que en la práctica, la seguridad del entorno de trabajo también puede alcanzarse mediante la combinación de medidas técnicas y organizativas para la protección contra explosiones. El documento debe reflejar las instrucciones, autorizaciones o restricciones relacionadas con la seguridad frente a las atmósferas explosivas:

- Qué instrucciones de servicio existen para un puesto de trabajo o una actividad
- Cómo se asegura la cualificación de los trabajadores
- Contenido y frecuencia de la formación (y quién ha participado)
- En su caso, cómo se regula la utilización de equipos de trabajo móviles en las *áreas de riesgo*
- Cómo se asegura que los *trabajadores* sólo vistan ropa protectora adecuada
- Si existe un sistema de permiso para trabajar y cómo está organizado
- Cómo están organizados los trabajos de mantenimiento, control y comprobación
- Cómo están señalizadas las *áreas de riesgo*.

Si existen formularios correspondientes a estos puntos, se pueden incluir como modelo en el documento de protección contra explosiones. También debe adjuntarse al documento una lista de los equipos de trabajo móviles autorizados para funcionar en atmósferas explosivas. El nivel de detalle dependerá del tipo y de la envergadura de la operación, así como del grado de riesgo que ésta entraña.

g) Realización de las medidas de protección contra explosiones

El documento de protección contra explosiones debe reflejar quién es la persona responsable o encargada de la aplicación de determinadas medidas (también para la elaboración o actualización del documento), por ejemplo, la empresa suministradora de los paneles de venteo. También debe indicar en qué momento es preciso aplicar las medidas y cómo se controla su eficacia (presión de actuación, código de diseño, presión reducida tras la actuación).

h) Coordinación de las medidas de protección contra explosiones

Cuando en un mismo lugar de trabajo ejerzan su actividad empresarios de varias empresas, cada *empresario* será responsable de los ámbitos sometidos a su control. El empresario responsable del lugar de trabajo será quien coordine la realización de las medidas de protección contra explosiones, e incluirá en su documento de protección contra explosiones información más detallada sobre las medidas y las modalidades de realización de esta coordinación.

i) Anexo del documento de protección contra explosiones

El Anexo puede contener, por ejemplo, certificaciones de examen CE de tipo, declaraciones de conformidad “CE” de fabricantes, fichas de datos de seguridad, instrucciones de funcionamiento de aparatos, combustibles o equipos técnicos o información análoga. También pueden incluirse aquí, por ejemplo, los planes de mantenimiento pertinentes a efectos de la protección contra explosiones.

2. Fundamentos de la clasificación de áreas

2.1. Objeto y justificación

El propósito de la clasificación en zonas de los distintos emplazamientos donde pueden aparecer atmósferas explosivas es facilitar la correcta selección e instalación de aparatos eléctricos y no eléctricos que se utilizan en dichas zonas con modos de protección adecuados, tomando en consideración las características particulares de los productos gaseosos (grupos de gases, clases de temperatura) o pulverulentos (granulometría, parámetros de explosividad). Un primer principio de seguridad en el diseño de instalaciones debe ser la no-introducción de ningún aparato en un emplazamiento peligroso, si no es absolutamente imprescindible.

El principio o fundamento de la clasificación de 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.

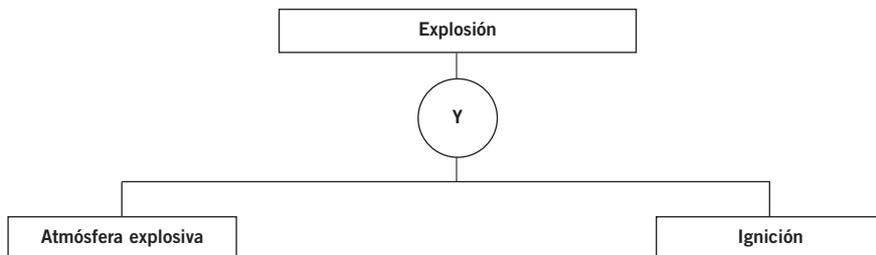


Figura 2.1. Probabilidad de explosión como producto de dos probabilidades

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.

2.2. Definiciones

En la norma UNE-EN 13237 [19] puede encontrarse un compendio de términos y definiciones para equipos y sistemas de protección destinados a usarse en atmósferas potencialmente explosivas. Para la clasificación de zonas se utilizan las siguientes 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.

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 esca-

pe 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.

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 pernicioso 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.

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 $10^3 \Omega\text{m}$.

Presión máxima de explosión ($P_{\text{máx}}$): 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 (TMlc): 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.

3. Principios de la clasificación de las áreas de riesgo en zonas

Se consideran áreas de riesgo aquéllas 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.

Para realizar la clasificación de zonas de una planta es necesario realizar un estudio detallado que implica el análisis de la posibilidad de aparición de atmósfera de gas explosiva de acuerdo a las definiciones de zona 0, zona 1 y zona 2, o de atmósfera explosiva de polvo, según las definiciones de zona 20, zona 21 y zona 22. Este planteamiento requiere por tanto, el examen detallado de cada equipo de proceso que contenga sustancias inflamables, y que represente una fuente potencial de escape.

Los procesos industriales se deben diseñar para que los emplazamientos sean no peligrosos o, en última instancia, zona 2 o zona 22. Cuando sea inevitable un escape, se debe intentar acotarlo a grado secundario, y si esto no es posible, la cuantía del escape debe ser mínima.

El primer paso al afrontar la clasificación zonal es conocer y analizar las características del material (para gases: densidad, punto de destello, límites de explosividad; para polvos: tamaño de partícula, humedad del polvo, temperatura mínima de ignición en nube y capa y su resistividad). La clasificación de zonas se basa en determinar la presencia de fuentes de escape (y de acumulaciones de polvo, en su caso) y en la probabilidad de que se puedan formar mezclas explosivas gas/aire o polvo/aire.

Sólo cuando se evalúe la probable frecuencia y duración del escape (grado de escape), la tasa de escape, la concentración, la ventilación y otros factores que se detallan en los siguientes apartados, que afectan al tipo y extensión de zona, se tiene una base apropiada para determinar la posible presencia de una atmósfera de gas o de polvo explosiva en las zonas circundantes.

Cualquier cambio en los equipos o en el proceso que son objeto de la clasificación de zonas implican una revisión de la clasificación. Las operaciones de mantenimiento en equipos que afecten a la clasificación de zonas deben asegurar la no modificación de las condiciones de seguridad del equipo antes de la puesta en servicio.

El criterio fundamental, si no se conoce un dato o valor específico, debe ser el de adoptar condiciones más cautelares con el fin de obtener una mayor seguridad.

3.1. Fuentes de escape

En el interior de una planta, cualquier equipo que contenga una sustancia inflamable deberá considerarse como una fuente potencial de escape.

Si está constatado que el equipo puede liberar sustancia inflamable a la atmósfera, es necesario en primer lugar determinar el grado de escape, de acuerdo con las definiciones dadas en 2.2, estableciendo la probabilidad de frecuencia y duración del escape. Con este procedimiento cada escape será calificado como “continuo”, “primario” o “secundario”.

Los escapes de grado continuo y de primer grado son emisiones previstas durante el funcionamiento normal, por tanto pueden ser generalmente definidas tanto por su duración como por su frecuencia de emisión.

Una emisión que se da aunque sea poco frecuentemente y durante breves periodos, pero durante el funcionamiento normal no puede considerarse generalmente de segundo grado, sino que debe ser considerada, en general, de primer grado.

Los escapes de grado secundario no están previstos durante el funcionamiento normal, sino que son generalmente atribuibles a sucesos no deseados. Por tanto, para definir su duración y frecuencia, es necesario hacer referencia al tipo o frecuencia de las revisiones y al mantenimiento de los sistemas de contención de las sustancias inflamables.

Es conveniente resaltar que las partes de los sistemas cerrados de proceso que se abren (por ejemplo, durante un cambio de filtros o una carga de producto) deben considerarse como fuentes de escape.

Si un equipo no contiene sustancias inflamables no origina a su alrededor zona alguna. Lo mismo se aplica si en un recipiente la sustancia inflamable no se puede fugar a la atmósfera: la pared de un depósito no se considera fuente de escape. Es decir, la clasificación de zonas no se realiza considerando situaciones “catastróficas” como pueden ser la rotura de una tubería soldada o de un recipiente.

Los siguientes elementos no deben considerarse como fuentes de escape durante su funcionamiento normal:

- a) Las tuberías soldadas y los contenedores soldados cuidadosamente.
- b) Las tuberías, conductos y circuitos de conexión sin juntas.
- c) En tanques a presión, la estructura principal del revestimiento, incluyendo las toberas de cierre y los registros de inspección.
- d) Las uniones de tuberías y contenedores mediante dispositivos de unión estancos (con emisiones irrelevantes en las condiciones de funcionamiento incluso anormales de la instalación) construidos según normas específicas y cualificadas, por ejemplo las normas EN, dimensionados e instalados teniendo en cuenta las condiciones de funcionamiento anormal, además de utilizados y mantenidos de forma tal que asegure en el tiempo el mantenimiento de los requisitos de seguridad.
Para comprobar la no emisión de tales uniones, éstos deben ser sometidos a pruebas en todas las condiciones de utilización razonablemente previstas (tanto en funcionamiento normal, como en funcionamiento anormal). Además, dependiendo de las influencias externas y de las condiciones de utilización, los componentes fungibles deben ser sustituidos respetando las indicaciones del fabricante y en cualquier caso, con periodicidad tal que asegure en el tiempo el mantenimiento de la estanquidad.
- e) Contenedores de sustancias inflamables con tapaderas cerradas cuidadosamente o con emisiones irrelevantes, cuando se cumplen todas las condiciones siguientes:
 - son de material idóneo y construidos esmeradamente respetando las normas de construcción y prueba.
 - son depositados y agitados de forma tal que se considera razonable no prever caídas que puedan provocar la abertura de la tapa o el derrame significativo de la sustancia inflamable contenida.
 - se actúa en todo lugar con precaución frente a la presencia de charcos y existe una presencia constante de medios para su neutralización en tiempos rápidos.
- f) Prensaestopas de válvulas y juntas embridadas, siempre que durante el diseño y la construcción se haya dado una consideración adecuada a la prevención de escapes de polvo.
- g) La doble estanqueidad aplicada sobre ejes rotatorios o translacionales, provista de dispositivos tales que excluyan pérdidas significativas incluso en funcionamiento anormal.

Por el contrario, las aberturas que ponen en comunicación distintos emplazamientos deben considerarse como fuentes de escape. El grado de escape dependerá de:

- el tipo de zona del emplazamiento adyacente
- la frecuencia y duración de los períodos que están abiertas
- la eficacia de los sellados y juntas
- la diferencia de presión entre los emplazamientos de ambos lados

Las aberturas se clasifican en los siguientes tipos:

Tipo A: aberturas que no cumplen las características de los tipos B, C y D. Por ejemplo, tuberías y conductos abiertos a través de paredes, techos y suelos, orificios fijos de ventilación.

Tipo B: aberturas que están normalmente cerradas (por ejemplo, con cierre automático) y raramente abiertas y son con cierre forzado.

Tipo C: aberturas del tipo B que además tengan un sistema de cierre, tipo junta, o bien dos aberturas del **Tipo B:** en serie con sistemas de cierre independientes.

Tipo D: aberturas del tipo C que sólo se abren con medios especiales o en caso de emergencia. Son herméticas o pueden ser una combinación de una abertura de tipo C en el lado del emplazamiento peligroso con una abertura de tipo B en serie

El efecto de las aberturas en el grado de escape se detalla en la tabla 3.1.

Zona al otro lado de la abertura	Tipo de abertura	Grado de escape de la abertura considerada como fuente de escape
Zona 0	A	Continuo
	B	(Continuo) / Primario
	C	Secundario
	D	Sin escape
Zona 1	A	Primario
	B	(Primario) / Secundario
	C	(Secundario) / Sin escape
	D	Sin escape
Zona 2	A	Secundario
	B	(Secundario) / Sin escape
	C	Sin escape
	D	Sin escape

NOTA: Para los grupos de escape indicados entre paréntesis debe tenerse en cuenta la frecuencia de funcionamiento de la abertura.

Tabla 3.1. Efecto de las aberturas en el grado de escape

Se citan a continuación ejemplos de fuentes de escape, según UNE-EN 60079-10 [20], para gases y según EN 50281-3 [21] para polvos. Deben entenderse como ejemplos y no deben aplicarse rígidamente, ya que puede ser necesario variarlos en función de los equipos de proceso y situaciones particulares.

3.1.1. Ejemplos de fuentes de escape de gases

Fuentes que dan un escape de grado continuo

- La superficie de un líquido inflamable en un tanque de techo fijo con un venteo permanente en la atmósfera.
- La superficie de un líquido inflamable que está abierto a la atmósfera continuamente o por largos períodos (por ejemplo un separador de aceite/agua).

Fuentes que dan un escape de grado primario

- Sellos de bombas, compresores y válvulas si se espera que en funcionamiento normal fuguen sustancias inflamables.
- Puntos de drenaje de agua de recipientes que contengan líquidos inflamables, que puedan desprender sustancias inflamables a la atmósfera cuando drenen en funcionamiento normal.
- Válvulas de seguridad, venteos y otras aberturas de donde se espere que puedan escapar sustancias inflamables durante el funcionamiento normal.

Fuentes que dan escapes de grado secundario

- a) Sellos de bombas, compresores y válvulas en las que no se espera que se desprendan sustancias inflamables en funcionamiento normal.
- b) Bridas, uniones y accesorios de tuberías donde no se esperan escapes de sustancias inflamables en funcionamiento normal.
- c) Tomas de muestra en las que no se espera que se produzcan escapes de sustancias inflamables en funcionamiento normal.
- d) Válvulas de seguridad, venteos y otras aberturas donde no se espera que se fuguen sustancias inflamable durante el funcionamiento normal.

Sobre el proceso ha de reconocerse y clasificarse cada fuente de escape. Por ejemplo:

- Una tubería soldada no se considera como fuente de escape. La probabilidad de escape entra dentro de la probabilidad de riesgo catastrófico.
- Una tubería embridada daría lugar a una fuente de escape secundario por rotura de la junta de estanqueidad de la brida.
- Una empaquetadura de una válvula daría lugar a una fuente de escape primario, si existe una fuga en funcionamiento, y secundario según la calidad y tasa de fallo de esta empaquetadura.

3.1.2. Ejemplos de fuentes de escape de polvos

Fuentes que dan un escape de grado continuo

- a) el interior de equipos de proceso como molinos y mezcladoras
- b) el interior de equipos en los cuales se introduce o forma polvo, como silos o tolvas

Fuentes que dan un escape de grado primario

- a) el interior de algunos equipos de proceso
- b) los alrededores de una boca de llenado
- c) el área situada en las proximidades de un punto de ensacado abierto

Fuentes que dan escapes de grado secundario

- a) puertas de inspección que deben ser abiertas de forma ocasional y durante un corto período de tiempo
- b) salas de manipulación de polvo donde hay depósitos de polvo presentes
- c) venteos que permanecen normalmente cerrados
- d) dentro del funcionamiento normal se pueden incluir los escapes menores de polvo (por ejemplo, escapes en filtros)

3.2. Tipos de zonas

La clasificación de zonas se basa en la probabilidad de presencia de atmósfera explosiva como consecuencia de un escape.

En el capítulo 2 pueden encontrarse las definiciones completas para los tres tipos de zonas que se establecen. De forma resumida se esquematiza en la tabla 3.2 el concepto de probabilidad de formación y presencia de atmósfera explosiva asociado a las definiciones.

El elemento básico para establecer los tipos de zonas peligrosas es la identificación de las fuentes de escape y la determinación de su grado. Después de esto, se debe determinar la cuantía del mismo y otros factores importantes, como la ventilación, que puedan influir en el tipo y extensión de la zona.

Frecuencia y duración de la atmósfera explosiva	Zona	
	GAS	POLVO
Permanente o presente frecuentemente	0	20
Probable, de forma ocasional	1	21
Improbable y por poco tiempo	2	22
No cabe esperar su formación	Zona sin riesgo	Zona sin riesgo

Tabla 3.2. Designación de zonas según la probabilidad de formación y duración

Además de las zonas sin clasificar, que han de entenderse como áreas donde en condiciones de funcionamiento normal no cabe esperar la presencia de atmósferas explosivas, se definen los tres tipos de zonas relacionándolos directamente con el tipo de fuente de escape. En general, un escape de grado continuo origina a su alrededor una zona 0 o zona 20, uno de grado primario origina una zona 1 o zona 21 y uno de grado secundario una zona 2 o zona 22. (tabla 3.3). No obstante, como se verá más adelante, una ventilación eficaz puede rebajar el tipo de zona que origine un escape.

Cuando en un mismo emplazamiento se presenta una fuente de escape de grado primario y una fuente de escape secundario, se entiende que existe una fuente de escape múltiple y se ha de proceder a la clasificación del entorno como zona 1 (o zona 21), y como zona 2 (o zona 22), cada una de ellas con una extensión diferente por ponerse en juego en cada caso cantidades de escape diferentes.

¿Cómo podemos entender en términos relativos la probabilidad o la duración de las atmósferas explosivas? Por ejemplo, si consideramos un punto de toma de muestras para gases o una compuerta de inspección en un equipo de proceso de sólido, en función de la frecuencia con que se abra, se generará más tiempo la atmósfera explosiva; la fuente de escape se deberá considerar como primaria o secundaria según la frecuencia de la operación. ¿Es posible cuantificar la duración o la proporción del tiempo de funcionamiento en el que se está produciendo el escape?

Para establecer un criterio deben analizarse los escapes esperables en un tiempo relativamente largo, como por ejemplo un año, y sumar las duraciones de los eventos individuales. Podemos entonces aplicar una regla práctica, como la presentada en la tabla 3.3 [22].

Grado de escape	Zona		Probabilidad de atmósfera explosiva en 365 días	Duración global (horas / año)
	GAS	POLVO		
Continuo	0	20	$P > 10^{-1}$	> 1000
Primario	1	21	$10^{-1} \geq P > 10^{-3}$	10 - 1000
Secundario	2	22	$10^{-3} \geq P > 10^{-5}$	0,1* - 10

* Cuando la duración de la atmósfera explosiva no llega a 0,1 h al año, el lugar no se considera generalmente peligroso, especialmente si se debe a operaciones diferentes espaciadas. De todas formas, debe comprobarse que no presenta peligro de explosión mediante un análisis de riesgo.

Tabla 3.3. Relación del grado de escape con la zona y la frecuencia de formación de la atmósfera explosiva

Finalmente, una vez establecida la clasificación de las áreas con riesgo en zonas, debe aplicarse la limitación en los equipos eléctricos y no eléctricos que podrán instalarse en las diferentes zonas, siendo necesario en general, reducir la probabilidad de presencia o activación de fuentes de ignición, lo que se consigue mediante la implantación de equipos dotados de modos de protección.

Así, mientras en áreas no clasificadas podrán emplearse equipos convencionales, cuando la probabilidad de atmósfera explosiva sea alta, sólo podrán entrar equipos con muy baja probabilidad de fuente de ignición, según

se indica en la figura 3.1. El objetivo es conseguir que el producto de la probabilidad de formación de atmósfera explosiva por la probabilidad de activación de una fuente de ignición se mantenga por debajo de 10^{-12} .

La forma que tiene el instalador o proyectista de conseguir ese objetivo viene establecido por la definición de las categorías de equipos que establece el R.D. 400/1996 y que permite “casar” los requisitos de los equipos con la probabilidad de explosión establecida en la clasificación zonal, tal y como se indica en la tabla 3.4, que proporciona la forma inequívoca de establecer el nivel de exigencia aplicable a todos los equipos, eléctricos y no eléctricos, que se instalen en zonas clasificadas.

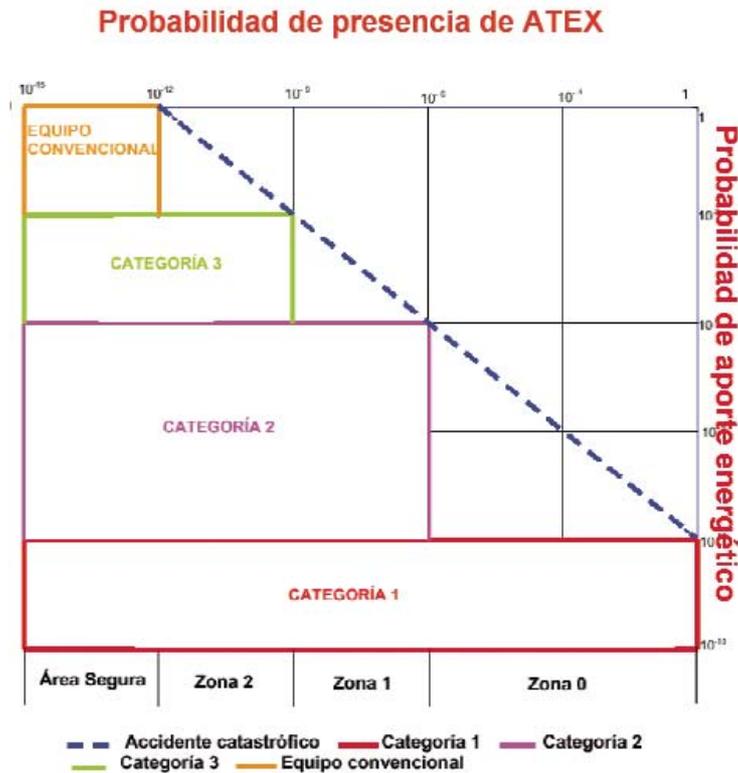


Figura 3.1. Probabilidad de atmósfera explosiva frente a probabilidad de aporte energético

ATEX 100 (Fabricante vende) R.D. 400/1996		ATEX 137 (Usuario define) R.D. 681/2003	
Nivel de protección	Categoría	Existencia de atmósfera explosiva	Zona
MUY ALTO	1	Áreas de trabajo con atmósfera explosiva persistente	0 20
ALTO	2	Probable de forma ocasional	1 21
NORMAL	3	No es probable o poco duradera	2 22

Tabla 3.4. Relación entre categoría de equipos y zonas de riesgo

4. Procedimiento para la clasificación de zonas para gases y vapores

La norma de referencia para la clasificación de zonas es la UNE-EN 60079-10 [20]. 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.

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 de 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 precedentes.

4.1. Caracterización del escape

Las sustancias inflamables pueden escapar de los sistemas de contención de modo diverso en relación con el estado y la velocidad de emisión.

a) Estado:

- gas o vapor (en fase única)
- líquido, que apenas se evapora durante el escape (en fase única)
- líquido o gas licuado, que se evapora durante el escape

b) Velocidad de escape:

- baja
- 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.

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.

Una esquematización de las modalidades de escape se muestra en la tabla 4.1 [22].

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 4.1. Modalidades de escape

4.1.1. 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 [22], 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 mm² 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 mm² normalmente y hasta 0,05 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 mm² y hasta 0,5 mm² 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 centrifugas con juntas mecánicas de estanquidad

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:

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

Informe

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 ser debida 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 tomamuestras de dosis predeterminadas cuando la cantidad sacada es de pocos cm^3 .

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).

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.

4.1.2. Tasa de escape

Como se ha citado ya, 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 partiremos de la expresión general para determinar la masa que es emitida a través de un orificio o tobera:

$$\dot{G} = C_d a P \left[(\delta M / RT) (2 / \delta + 1)^{\delta + 1 / \delta - 1} \right]^{0,5}$$

(4.1)

donde:

\dot{G} = caudal másico de sustancia emitida por el escape (kg s^{-1})

C_d = Coeficiente de descarga (valor máximo 0,8)

a = área transversal (m^2)

P = presión aguas arriba (N m^{-2})

δ = relación entre los calores específicos c_p/c_v (1,4 para la mayoría de los gases)

M = masa molecular de la sustancia emitida (g mol^{-1})

R = constante de los gases ($8314 \text{ J kmol}^{-1} \text{ K}^{-1}$)

T = temperatura absoluta (K)

A partir de esta expresión se obtienen fórmulas aplicables a los distintos casos. Consideraremos 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 [23]:

Fugas de gas o vapor

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

$$\dot{G} = 0,006 a P (M/T)^{0,5} \quad \text{si } P > 2 \times 10^5 \text{ N/m}^2$$

(4.2)

o mediante:

$$\dot{G} = 3,95 a \left[M(P - 10^5) / T \right]^{0,5} \quad \text{si } P \leq 2 \times 10^5 \text{ N/m}^2$$

(4.3)

– Se puede convertir el caudal másico en caudal de escape en volumen, en m^3/s , mediante:

$$Q = 0,082 \dot{G} T / M$$

(4.4)

– Se puede calcular la extensión X , en m, mediante:

$$X = 2,1 \cdot 10^3 \left[\dot{G} / LEL^2 M^{1,5} T^{0,5} \right]^{0,5} \quad \text{si } P > 2 \times 10^5 \text{ N/m}^2$$

(4.5)

o mediante:

$$X = 10,8 \left[GT / LEL M \right]^{0,5} \quad \text{si } P \leq 2 \times 10^5 \text{ N/m}^2$$

(4.6)

– Si el escape está a menos de 1,5 m del suelo, los valores calculados deben multiplicarse por 1,5

Fugas de líquido a temperatura inferior a su punto de ebullición

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

$$G = 1,13 a \left[\sigma_l (P - 10^5) \right]^{0,5}$$

(4.7)

donde σ_l es la densidad del líquido, en kg/m³, en condiciones atmosféricas.

– La velocidad de escape del líquido se calcula mediante:

$$v = 1,13 \left[(P - 10^5) / \sigma_l \right]^{0,5}$$

(4.8)

– 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:

$$d = (2v^2 h / g)^{0,5}$$

(4.9)

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/s².

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

$$d = v \cos \varphi \left[(v \sin \varphi - 2gh)^{0,5} - v \sin \varphi \right] / g$$

(4.10)

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

$$G_{vap} = 2 \times 10^{-3} A p_v M / R^{0,2}$$

(4.11)

siendo A el área del charco, en m², 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 m³/s, se calcula mediante:

$$Q = 8,2 A K_g p_v T / 10^2$$

(4.12)

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 x 10⁻⁵ m² s⁻¹:

$$K_g = 2 \times 10^{-3} / R^{0,2}$$

(4.13)

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 4.2 [23]

Temp. 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	0,058	0,10	0,20	0,42
140	0,018	0,027	0,072	0,14	0,30
150	0,010	0,018	0,058	0,10	0,20

Tabla 4.2. Estimación de la presión de vapor

– Se calcula el área del charco formado A (m²) mediante:

$$A = 5,65 \cdot 10^2 a [\sigma_l (P - 10^5)]^{0,5} R^{0,2} \Delta p M$$

(4.14)

siendo a el área del orificio de la fuga, en m^2 , y R el número de Reynolds, que puede determinarse a partir del tamaño del charco mediante la figura 4.1 [23].

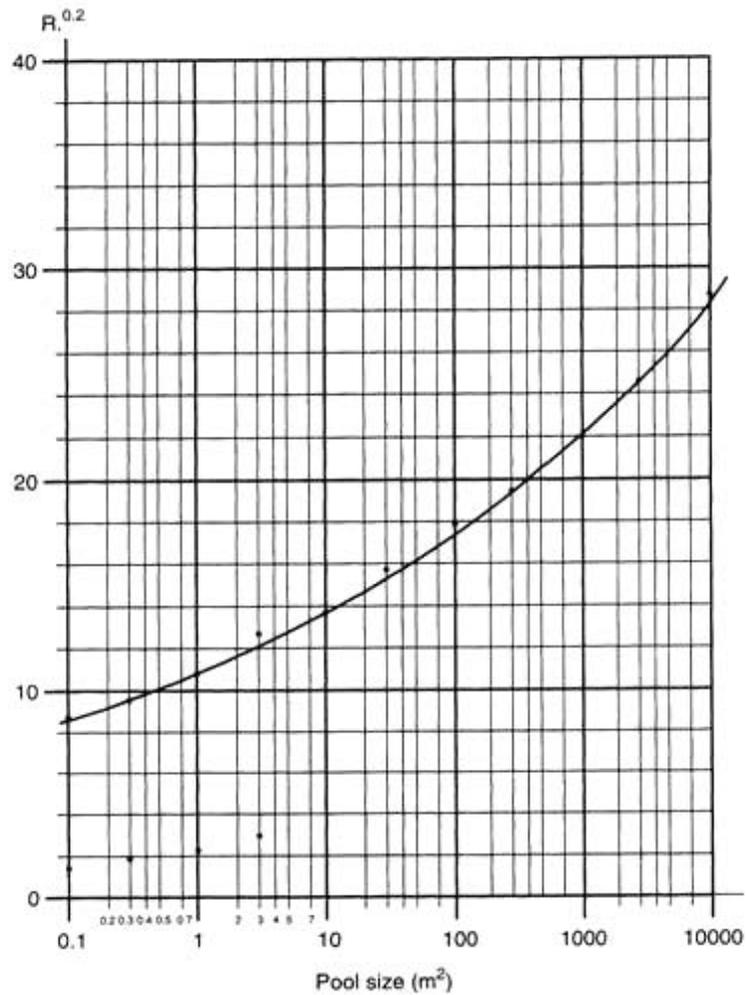


Figura 4.1. Gráfica para determinar $R^{0.2}$

Normalmente se calcula el área para un valor medio de $R^{0.2}$ de 16. Con el valor del área obtenido se determina $R^{0.2}$ a partir de la figura 4.1 y el nuevo valor se utiliza para volver a calcular y ajustar el área.

– Se calcula la extensión, en m, mediante:

$$X = \left[5,8 A^{0,5} \Delta p T / 10^2 LEL g R^{0,2} \right]^{1,14}$$

(4.15)

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 4.2.

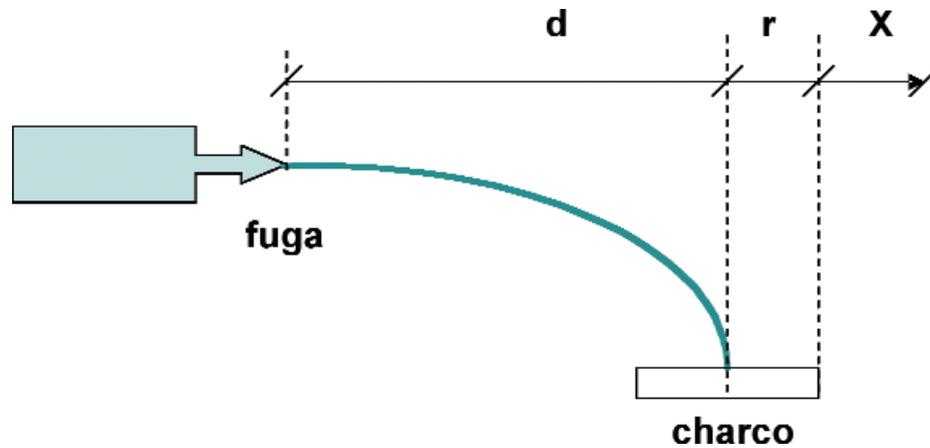


Figura 4.2. Delimitación del área peligrosa

Fugas de líquido a temperatura superior a su punto de ebullición

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

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

(4.16)

donde

T_l = Temperatura del líquido que escapa, en K

T_c = Temperatura que proporciona una presión P_c

$P_c = 0,55 \times$ presión de vapor, en kg m^{-2}

C_l = Capacidad calorífica del líquido, en $\text{kJ kg}^{-1} \text{K}^{-1}$

L = Calor latente de vaporización, en kJ kg^{-1}

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

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

(4.17)

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:

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

(4.18)

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

$$G = 0,8 A [2 \sigma_m (P_i - P_c)]^{0,5}$$

(4.19)

siendo P_i la presión a la que se encontraba el líquido confinado, en kg/m².

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

$$G_{vap} = [(T_i - T_b) / \delta] C_1$$

(4.20)

– La extensión debida al vapor es:

$$X = 2,10 \cdot 10^3 [G / LEL^2 M^{1,5} T^{0,5}]^{0,5}$$

(4.21)

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 de líquido sale formando un ángulo por encima de la horizontal:

$$d = (2v^2 h / g)^{0,5}$$

(4.22)

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

$$d = v \cos \varphi [(v \operatorname{sen} \varphi - 2gh)^{0,5} - v \operatorname{sen} \varphi] / g$$

(4.23)

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

$$X = 10,8 [GT / LEL M]^{0,5}$$

(4.24)

que se multiplica por 1,5 si el escape está a menos de 1,5 m del suelo.

4.1.3. Tasas de escape en equipos (escapes estructurales)

Los caudales de escape que se indican en la tabla 4.3 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 4.3.

COMPONENTES	TIPOS DE SUSTANCIAS	ESCAPES ESTRUCTURALES kg/s
Conexiones (con juntas o fileteadas), accesorios de tuberías	Gas	$1,9 \cdot 10^{-8}$
	Productos petrolíferos ligeros (1)	$2,1 \cdot 10^{-8}$
	Productos petrolíferos pesados (2)	$5,2 \cdot 10^{-10}$
	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 a la atmósfera)	Gas	$5,6 \cdot 10^{-7}$
	Productos petrolíferos ligeros (1)	$1,0 \cdot 10^{-7}$
	Productos petrolíferos pesados (2)	$1,0 \cdot 10^{-9}$
	Gas y/o productos petrolíferos en plataforma marina (offshore)	$1,1 \cdot 10^{-7}$
Venteos, drenajes, purgas y tomamuestras interceptados por válvulas (excluidas las válvulas de seguridad y de salida a la atmósfera)	Gas	$5,6 \cdot 10^{-8}$
	Productos petrolíferos ligeros (1)	$1,8 \cdot 10^{-7}$
	Productos petrolíferos pesados (2)	$5,0 \cdot 10^{-9}$
	Gas y/o productos petrolíferos en plataforma marina (offshore)	$5,1 \cdot 10^{-8}$
Venteos de válvulas de seguridad cerradas (3), válvulas de salida a la atmósfera cerradas, juntas de combas y compresores, escotillas, bocas de hombre, brazos de carga y todos los demás componentes	Gas	$1,5 \cdot 10^{-6}$
	Productos petrolíferos ligeros (1)	$5,2 \cdot 10^{-7}$
	Productos petrolíferos pesados (2)	$3,0 \cdot 10^{-9}$
	Gas y/o productos petrolíferos en plataforma marina (offshore)	$5,4 \cdot 10^{-7}$

- (1) Productos con densidad inferior a 934 kg/m^3 a $15 \text{ }^\circ\text{C}$;
(2) Productos con densidad superior a 934 kg/m^3 a $15 \text{ }^\circ\text{C}$;
(3) Para los valores de seguridad ver también la tabla 4.4.

Tabla 4.3. Escapes característicos de algunos componentes

La tabla 4.4 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 máximas admisibles kg/s
Válvulas con orificio de descarga de diámetro $\leq 7,8$ mm	0,103 – 6,896	$1,4 \cdot 10^{-7}$
	10,3	$2,2 \cdot 10^{-7}$
	13,0	$2,8 \cdot 10^{-7}$
	17,2 – 41,4	$3,6 \cdot 10^{-7}$
Válvulas con orificio de descarga de diámetro $> 7,8$ mm	0,103 – 6,896	$7,1 \cdot 10^{-8}$
	10,3	$1,1 \cdot 10^{-7}$
	13,0	$1,4 \cdot 10^{-7}$
	17,2 – 41,4	$1,8 \cdot 10^{-7}$
	20,7	$2,2 \cdot 10^{-7}$
	27,6	$2,8 \cdot 10^{-7}$
	38,5	$3,6 \cdot 10^{-7}$
41,4	$3,6 \cdot 10^{-7}$	

Tabla 4.4. Pérdidas máximas admisibles en válvulas de seguridad

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 4.5 y 4.6 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.

PÉRDIDAS DE APARATOS ALIMENTADOS POR GAS Datos indicativos	Condiciones ambientales $P_a = 101325$ Pa $T_a = 20$ °C	JUNTA EXTERNA Pérdida máxima inicial		
		- cm ³ /h	Metano kg/s	GLP kg/s
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	60	$1,1 \cdot 10^{-8}$	$3,06 \cdot 10^{-8}$
	DN de 10 mm hasta 80 mm	120	$2,2 \cdot 10^{-8}$	$6,11 \cdot 10^{-8}$
Aparatos de utilización de combustibles gaseosos. Dispositivos automáticos de interceptación y/o regulación. Válvulas automáticas	DN hasta 10 mm	20	$3,7 \cdot 10^{-9}$	$1,02 \cdot 10^{-8}$
	DN de 10 mm hasta 25 mm	40	$7,4 \cdot 10^{-9}$	$2,04 \cdot 10^{-8}$
	DN de 25 mm hasta 80 mm	60	$1,1 \cdot 10^{-8}$	$3,06 \cdot 10^{-8}$
	DN de 80 mm hasta 150 mm	100	$1,9 \cdot 10^{-8}$	$5,09 \cdot 10^{-8}$
	DN más de 150 mm	150	$2,8 \cdot 10^{-8}$	$7,64 \cdot 10^{-8}$
Aparatos de utilización de combustibles gaseosos	DN hasta 10 mm	20	$3,7 \cdot 10^{-9}$	$1,02 \cdot 10^{-8}$
	DN de 10 mm hasta 25 mm	40	$7,4 \cdot 10^{-9}$	$2,04 \cdot 10^{-8}$
	DN de 25 mm hasta 80 mm	60	$1,1 \cdot 10^{-8}$	$3,06 \cdot 10^{-8}$
Quemadores de gas con aire soplado (1)	Potencia térmica ≤ 100 kW	70	$1,3 \cdot 10^{-8}$	$3,57 \cdot 10^{-8}$
	Potencia térmica ≤ 350 kW	140	$2,6 \cdot 10^{-8}$	$7,13 \cdot 10^{-8}$
	Potencia térmica ≤ 1000 kW	210	$3,9 \cdot 10^{-8}$	$1,07 \cdot 10^{-7}$
	Potencia térmica > 2000 kW	280	$5,2 \cdot 10^{-8}$	$1,43 \cdot 10^{-7}$
Generadores de aire caliente a gas con quemador de aire soplado	Potencia térmica ≤ 100 kW	70	$1,3 \cdot 10^{-8}$	$3,57 \cdot 10^{-8}$
	Potencia térmica ≤ 350 kW	140	$2,6 \cdot 10^{-8}$	$7,13 \cdot 10^{-8}$
	Potencia térmica ≤ 2000 kW	210	$3,9 \cdot 10^{-8}$	$1,07 \cdot 10^{-7}$
Reguladores de presión para aparatos alimentados con gas canalizado	Reguladores individuales	30	$5,6 \cdot 10^{-9}$	$1,53 \cdot 10^{-8}$
	Reguladores múltiples	60	$1,1 \cdot 10^{-8}$	$3,06 \cdot 10^{-8}$
	Pérdida por el venteo en caso de dañado de la membrana	50000	$9,3 \cdot 10^{-6}$	$2,55 \cdot 10^{-5}$
Calderas de agua, de recalentamiento centralizado, a gas con quemador atmosférico y caudal térmico nominal ≤ 70 kW	Fuga total máxima del circuito gas	140	$2,6 \cdot 10^{-8}$	$7,13 \cdot 10^{-8}$

(1) Pérdida sobre la línea del gas del quemador y de los aparatos de seguridad y regulación allí colocados.

PÉRDIDAS DE APARATOS ALIMENTADOS POR GAS Datos indicativos	Condiciones ambientales $P_a = 101325 \text{ Pa}$ $T_a = 40 \text{ °C}$	JUNTA EXTERNA Pérdida máxima inicial		
		- cm ³ /h	Metano kg/s	GLP kg/s
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	60	$1,04 \cdot 10^{-8}$	$2,86 \cdot 10^{-8}$
	DN de 10 mm hasta 80 mm	120	$2,08 \cdot 10^{-8}$	$5,72 \cdot 10^{-8}$
Aparatos de utilización de combustibles gaseosos. Dispositivos automáticos de interceptación y/o regulación. Válvulas automáticas	DN hasta 10 mm	20	$3,47 \cdot 10^{-9}$	$9,54 \cdot 10^{-9}$
	DN de 10 mm hasta 25 mm	40	$6,94 \cdot 10^{-9}$	$1,91 \cdot 10^{-8}$
	DN de 25 mm hasta 80 mm	60	$1,04 \cdot 10^{-8}$	$2,86 \cdot 10^{-8}$
	DN de 80 mm hasta 150 mm	100	$1,73 \cdot 10^{-8}$	$4,77 \cdot 10^{-8}$
	DN más de 150 mm	150	$2,60 \cdot 10^{-8}$	$7,15 \cdot 10^{-8}$
Aparatos de utilización de combustibles gaseosos	DN hasta 10 mm	20	$3,47 \cdot 10^{-9}$	$9,54 \cdot 10^{-9}$
	DN de 10 mm hasta 25 mm	40	$6,94 \cdot 10^{-9}$	$1,91 \cdot 10^{-8}$
	DN de 25 mm hasta 80 mm	60	$1,04 \cdot 10^{-8}$	$2,86 \cdot 10^{-8}$
Quemadores de gas con aire soplado (1)	Potencia térmica $\leq 100 \text{ kW}$	70	$1,21 \cdot 10^{-8}$	$3,34 \cdot 10^{-8}$
	Potencia térmica $\leq 350 \text{ kW}$	140	$2,43 \cdot 10^{-8}$	$6,68 \cdot 10^{-8}$
	Potencia térmica $\leq 1000 \text{ kW}$	210	$3,64 \cdot 10^{-8}$	$1,00 \cdot 10^{-7}$
	Potencia térmica $> 2000 \text{ kW}$	280	$4,86 \cdot 10^{-8}$	$1,34 \cdot 10^{-7}$
Generadores de aire caliente a gas con quemador de aire soplado	Potencia térmica $\leq 100 \text{ kW}$	70	$1,21 \cdot 10^{-8}$	$3,34 \cdot 10^{-8}$
	Potencia térmica $\leq 350 \text{ kW}$	140	$2,43 \cdot 10^{-8}$	$6,68 \cdot 10^{-8}$
	Potencia térmica $\leq 2000 \text{ kW}$	210	$3,64 \cdot 10^{-8}$	$1,00 \cdot 10^{-7}$
Reguladores de presión para aparatos alimentados con gas canalizado	Reguladores individuales	30	$5,20 \cdot 10^{-9}$	$1,43 \cdot 10^{-8}$
	Reguladores múltiples	60	$1,04 \cdot 10^{-8}$	$2,86 \cdot 10^{-8}$
	Pérdida por el venteo en caso de dañado de la membrana	50000	$8,67 \cdot 10^{-6}$	$2,38 \cdot 10^{-5}$
Calderas de agua, de recalentamiento centralizado, a gas con quemador atmosférico y caudal térmico nominal $\leq 70 \text{ kW}$	Fuga total máxima del circuito gas	140	$2,43 \cdot 10^{-8}$	$6,68 \cdot 10^{-8}$

(1) Pérdida sobre la línea del gas del quemador y de los aparatos de seguridad y regulación allí colocados.

Tabla 4.6. Pérdidas máximas iniciales en aparatos de gas (40°C)

4.1.4. Cantidades mínimas. Punto de destello

Uno de los factores que condiciona el riesgo de atmósfera explosiva es la cantidad de sustancia que puede dispersarse. Cuanto mayor sea dicha cantidad, tanto mayor será la zona sometida al riesgo de atmósfera explosiva. Por el contrario, cuando la cantidad de sustancia inflamable es muy reducida, cabe esperar que el riesgo disminuya o incluso desaparezca. Existen unas cantidades mínimas de almacenamiento y de proceso, por debajo de las cuales no deberá ser necesaria la clasificación de zonas.

Es habitual encontrar en textos sobre clasificación de zonas [24] [25] referencias a dichas cantidades o volúmenes mínimos. A modo de ejemplo, la recomendación CEI 79 - 10 (hoy en día anulada), establece una clasificación de los fluidos combustibles por su "punto de destello", a efectos de determinar volúmenes mínimos por debajo de los cuales la presencia de fluidos combustibles no da lugar a una clasificación en áreas de riesgo. En la tabla 4.7 se muestra esta clasificación.

GRUPO	Punto de destello (°C)	Volumen mínimo V ₀	
		Proceso	Almacenamiento
A	TD ≤ 0°C (Te>0°C)	0,1 m ³	1 m ³
B	0°C < TD ≤ 21°C	0,5 m ³	2 m ³
C	21°C < TD ≤ 40°C	1 m ³	10 m ³
D	40°C < TD ≤ 65°C	2 m ³	20 m ³
E	65°C < TD	4 m ³	40 m ³
F		Según el tipo de sustancia	

Tabla 4.7. Clasificación según punto de destello

Se podría interpretar por tanto, que una caldera que queme gasóleo (Punto de destello mayor de 65°C), con 4 m³ en el depósito de almacenamiento y tan sólo unos litros implicados en el proceso (quemadores, tubos de acceso y precalentador) no da lugar a una clasificación de zonas por no superarse los volúmenes mínimos para las sustancias Grupo E.

De la propia definición de punto de destello, se desprende que si se puede asegurar que la temperatura ambiente va a ser siempre inferior a la de destello de la sustancia inflamable manipulada, no existirá atmósfera explosiva.

Debe quedar claro que la tabla 4.7 se da a modo de ejemplo, y que en este epígrafe no se pretende establecer unos valores exactos de las cantidades mínimas que implican una clasificación de zonas, sino transmitir la idea de que pequeños volúmenes de sustancias inflamables pueden ser aceptables. Las cuantías admisibles deben ser analizadas en cada caso concreto. A este respecto es importante indicar que la UNE-EN 60079-10 no incluye ninguna indicación sobre cantidades mínimas.

4.1.5. 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:

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

(4.25)

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

Por ejemplo, para una mezcla de la siguiente composición:

CH ₄	3 %	LIE = 4,4 %
C ₂ H ₆	2,3 %	LIE = 3,0 %
C ₆ H ₆	0,6 %	LIE = 1,2 %
aire	94,1 %	

se tiene una mezcla exclusivamente de sustancias inflamables compuesta por:

CH ₄	x ₁ = 0,508	obtenido mediante	[3,0 / (3,0 + 2,3 + 0,6)]
C ₂ H ₆	x ₂ = 0,390	obtenido mediante	[2,3 / (3,0 + 2,3 + 0,6)]
C ₆ H ₆	x ₃ = 0,102	obtenido mediante	[0,6 / (3,0 + 2,3 + 0,6)]

La mezcla resulta inflamable incluso teniendo cada uno de los componentes una concentración más baja que el respectivo LIE, de hecho:

$$LIE_{mezcla} = 1/[(0,508/4,4) + (0,39/3,0) + (0,102/1,2)] = 3,026 \%$$

4.1.6. Acciones para impedir la entrada de atmósferas explosivas

Cuando la fuente de escape está situada fuera del emplazamiento o en una región contigua, se puede evitar la penetración de una cantidad significativa de gas o vapor al interior del emplazamiento con las siguientes medidas:

- Barreras físicas.
- Manteniendo una sobrepresión estática en las zonas adyacentes a las regiones peligrosas que impida el paso de la atmósfera peligrosa.
- Purgando el emplazamiento con una cantidad de aire suficiente para garantizar que el aire escape por todas las aberturas por las que la atmósfera explosiva podría entrar.

4.1.7. Densidad relativa del gas o vapor

La densidad relativa del gas afecta a la extensión de la zona, dado que si el gas es más ligero que el aire tiende a elevarse, y si es más pesado tenderá a acumularse en el suelo.

Por tanto la extensión de la zona a nivel de suelo aumenta a medida que aumenta la densidad relativa, aparte de afectar a emplazamientos por debajo del nivel del suelo como pozos, arquetas, etc. Por el contrario, a medida que disminuye la densidad relativa aumenta la extensión en sentido vertical ascendente de la zona a partir de la fuente de escape.

A estos efectos, se consideran gases más pesados que el aire aquellos con densidades relativas superiores a 1,2, y más ligeros que el aire los que tengan densidades relativas inferiores a 0,8. Entre ambos valores, en lo relativo a la extensión de la zona, se deben considerar ambas posibilidades.

4.1.8. Geometría del emplazamiento

La geometría del emplazamiento condiciona la forma y extensión de las zonas alrededor de las fuentes de escape.

La existencia de muros y cerramientos puede imponer límites físicos al paso de la atmósfera explosiva, delimitando la extensión de la zona.

En un proceso con gases más densos que el aire, el alcance de las zonas se hace extensivo a los pozos, zanjas y depresiones por debajo del nivel del suelo que existan cerca de la fuente de escape.

También la existencia de barreras, y la geometría de los recintos y aperturas, pueden influir de manera decisiva en la eficacia de la ventilación, y por tanto en la dilución del gas o vapor en el aire, lo que finalmente determina el tipo y extensión de la zona.

A continuación se muestran unos ejemplos de cómo puede afectar la proximidad de un muro a la clasificación de zonas.

En el primer caso el muro tiene una altura inferior a la altura afectada por el escape, generando una clasificación de zona como la que se indica en la figura 4.3.

En la figura 4.4 se puede observar como el muro tiene una altura superior a la altura afectada por el escape, siendo la proyección de la zona clasificada una circunferencia cortada.

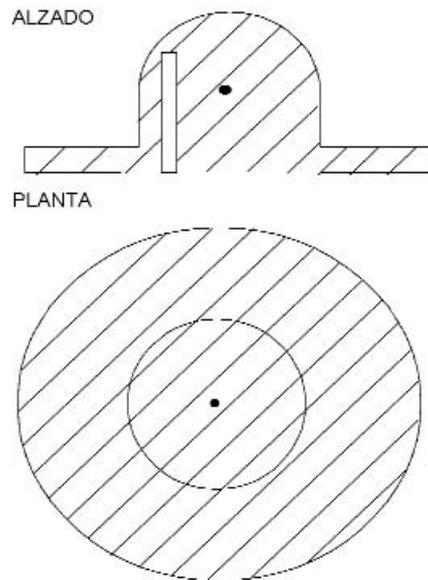


Figura 4.3. Muro de altura inferior al escape

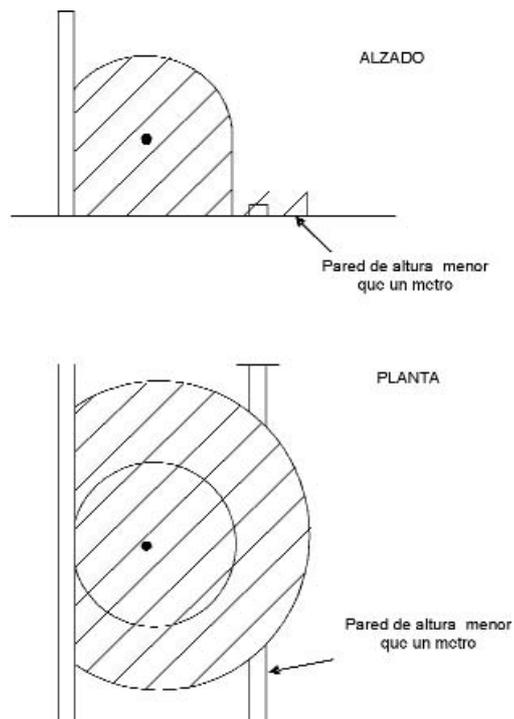


Figura 4.4. Muro de altura superior a la del escape

4.2. 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.

4.2.1. 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).

Ejemplos [20]:

- Instalaciones al aire libre típicas de las industrias química y del petróleo, por ejemplo estructuras abiertas, haces de tuberías, zonas de bombas y similares.
- Un edificio abierto en el que, considerando la densidad relativa de los gases o vapores involucrados o de ambos, tiene aberturas en las paredes o en la cubierta dimensionada y situada de tal manera que la ventilación en el interior del edificio a efectos de la clasificación de emplazamientos, puede considerarse como equivalente al aire libre.
- Un edificio que, sin ser abierto, tenga ventilación natural (generalmente algo menor que la del edificio abierto) asegurada por medio de aberturas permanentes previstas a efectos de ventilación.

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 [20]:

- 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.

Se citan a continuación, según UNE-EN 60079-10, ejemplos de ventilación general y local respectivamente.

Ventilación artificial general:

- Un edificio equipado con ventiladores en las paredes o en la cubierta o en ambos para mejorar la ventilación general del edificio.
- Instalaciones al aire libre equipadas con ventiladores situados adecuadamente para mejorar la ventilación general del área.

Ventilación artificial local:

- Un sistema de extracción de aire/vapor aplicado a un equipo de proceso del cual se desprende vapor inflamable de forma continua o periódica.
- Un sistema de ventilación forzada o de extracción aplicado a un pequeño emplazamiento ventilado, donde se espera que de otro modo aparezca una atmósfera explosiva.

4.2.2. 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 [20]:

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.

La estimación del grado de ventilación, basándose en cálculos, se describirá en los apartados 4.3.4 y 4.4.

4.2.3. 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 el apartado 4.3.1. se presentan tablas describiendo los valores de este factor.

4.2.4. 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.

4.2.5. Clasificación de zonas en función de la ventilación

En la tabla 4.8. 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 DISPONIBILIDAD	VA			VM			VB
		Alta (Zona 0 ED)	Normal (Zona 0 ED)	Pobre (Zona 0 ED)	Alta (Zona 0 ED)	Normal (Zona 0 ED)	Pobre (Zona 0 ED)	
GRADO DE ESCAPE	CONTINUO	(Zona 0 ED)	(Zona 0 ED)	(Zona 0 ED)				
		Sin riesgo	Zona 2	Zona 1	Zona 0	Zona 0 +	Zona 0 +	
	PRIMARIO	((Zona 1 ED)	(Zona 1 ED)	(Zona 1 ED)				
		Sin riesgo	Zona 2	Zona 2	Zona 1	Zona 1 +	Zona 1 +	Zona 1 *o Zona 0
	SECUNDARIO	(Zona 2 ED)	(Zona 2 ED)				Zona 1	
		Sin riesgo	Sin riesgo	Zona 2	Zona 2	Zona 2	Zona 2	*o Zona 0

Tabla 4.8. Clasificación según ventilación

(Zona X ED) Zona X de extensión despreciable

* Cuando hay zonas que puedan definirse como “Sin ventilación”.

+ Significa “rodeada por”.

La tabla 4.8 muestra de forma explícita la influencia de la ventilación en la clasificación de zonas:

- Se observa como una intensidad de ventilación alta (VA) y una disponibilidad alta, pueden conducir a disminuir el tamaño de la zona, de tal forma que ésta sea prácticamente inexistente (desclasificación de la zona) o disminuir la calificación de la zona al reducir el riesgo de presencia de atmósfera explosiva.
- De igual modo, una baja intensidad de ventilación, independientemente de la disponibilidad, puede originar zonas de clasificación superior al grado del escape que las origina.

4.3. Extensión de las zonas

Como se ha podido ver en la tabla 4.8, 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.

4.3.1. Emplazamientos en el interior de edificios

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_{vmin} 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:

$$Q_{vmin} = \frac{G_{Emax}}{k \times LIE} \times f_I$$

(4.26)

Donde:

Q_{vmin} es el caudal mínimo en volumen de aire fresco por segundo, (m^3/s);

G_{Emax} es la tasa máxima de escape de la fuente. (Masa por unidad de volumen, kg/s);

k es 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)

$k = 0,50$ (grado de escape secundario)

f_T es un 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:

$$f_T = \frac{T}{293}$$

(4.27)

Con T en Kelvin (K).

LIE es el límite inferior de explosividad. (Masa por unidad de volumen, kg/m³).

Conocido el LIE en %, puede calcularse en kg/m³ en condiciones normales de la siguiente manera:

$$LIE(kg/m^3) = \frac{LIE(\%)}{100} \times M(g/mol) \times \frac{1}{22,4 \frac{l_N}{mol}}$$

(4.28)

siendo M la masa molecular.

Es importante considerar la influencia que tienen 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 temperatura supone un aumento de volumen por la relación:

$$\frac{V}{V_0} = \frac{T}{T_0}$$

(4.29)

En condiciones normales, un mol ocupa 22,4 l, pero, según la relación anterior, a una temperatura T, ese mismo mol ocupa 22,4 l x T/293

Esto hace que el LIE en kg/m³ a la temperatura T sea:

$$LIE(kg/m^3) = \frac{LIE(\%)}{100} \times M(g/mol) \times \frac{1}{22,4 \times \frac{T}{293} \frac{l_N}{mol}} kg/m^3$$

(4.30)

o lo que es lo mismo:

$$LIE(kg/m^3) = LIE(kg/m^3)_{CN} / f_T$$

(4.31)

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 4.5 [17]. No se tendrá en cuenta esta ligera variación en los cálculos.

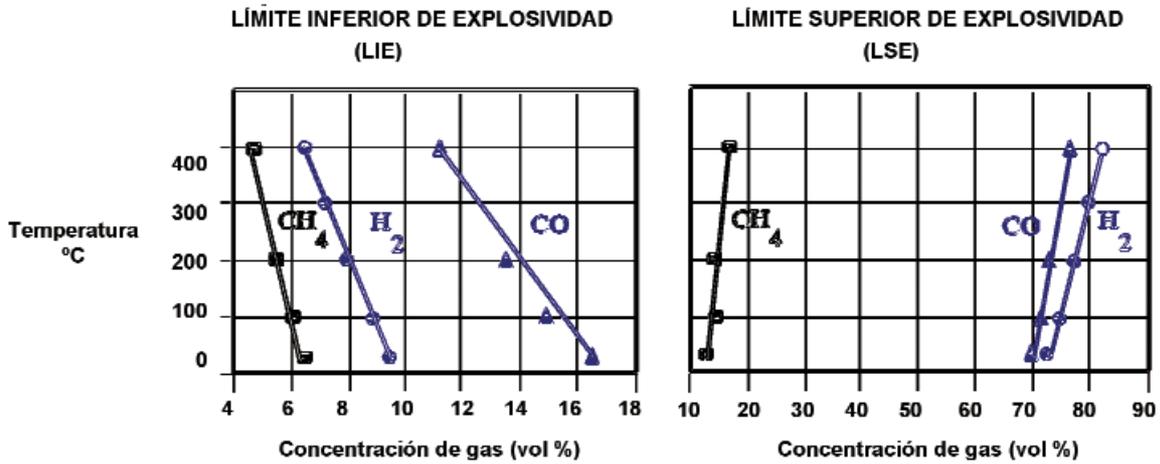


Figura 4.5. Variación del intervalo explosivo con la temperatura

La fórmula para calcular el caudal mínimo teórico se podría entender de acuerdo a la figura 4.6.

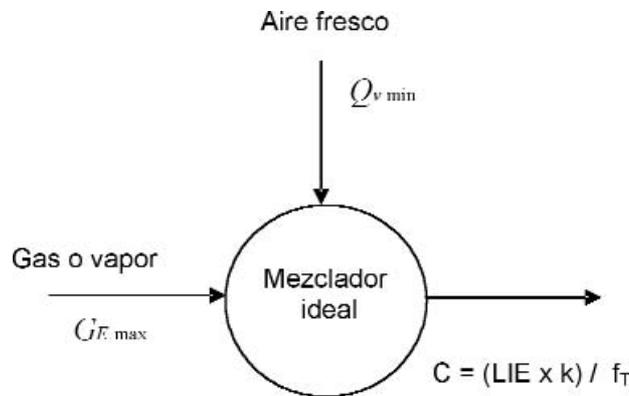


Figura 4.6. Representación del caudal mínimo teórico de ventilación

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_{vo} (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

$$V_z = \frac{Q_{v \min}}{Q_{vo}} \times V_o$$

(4.32)

donde se puede ver que:

Si $Q_{vo} < Q_{v \min}$, 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_{vo} 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 4.9, donde el número de fuentes de escape primarias que se debe utilizar se obtiene aplicando la tabla 4.10.

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 tabla 4.10 de los valores mayores 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 4.9. Procedimiento para la suma de escapes múltiples

Número de fuentes de escape primarias	Número 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) [*]

[*] n es el número total de emisiones de primer grado

Tabla 4.10. Procedimiento para la suma de fuentes de escapes múltiples primarias

El volumen teórico V_z se podría haber expresado también como:

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

(4.33)

Donde C se define como:

$$C = \frac{Q_{vo}}{V_0}$$

(4.34)

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:

$$V_z = \frac{f_v \times Q_{v \min}}{C}$$

(4.35)

$$V_z = \frac{GE_{\max}}{k \times LIE} \times f_I \times V_0 \times f_v$$

(4.36)

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 4.11 y 4.12 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 4.11. Factor f_v para ambientes abiertos con ventilación natural

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 4.12. Factor f_v para ambientes cerrados con ventilación natural o con ventilación artificial general

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.

4.3.2. Emplazamientos con ventilación natural

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 $C = 100 \text{ h}^{-1} = 0,03 \text{ s}^{-1}$. 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:

$$V_z = \frac{Q_{v \text{ min}}}{0,03} \times f_v$$

(4.37)

Donde:

$Q_{v \text{ min}}$ es 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^{-1} multiplicado por la relación $(v/0,5)$.

4.3.3. Estimación del tiempo de permanencia t_p

El tiempo requerido para que la concentración media descienda desde un valor inicial X_0 hasta el LIE dividido entre k , después de que el escape ha terminado puede calcularse por:

$$t_p = \frac{-fv}{C} \ln \frac{\text{LIE} \times k}{X_0}$$

(4.38)

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

$$LIE \times k = X_0 \times e^{-\left(t_p \times \frac{C}{f_v}\right)}$$

(4.39)

donde:

X_0 es la concentración inicial de sustancia inflamable expresada en las mismas unidades que el LIE, es decir en % volumen o en kg/m³. 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_0 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_0 valores mayores que el LIE

C es el 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 es 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 es 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 $\times k$, 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.

4.3.4. 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.

4.3.5. Extensiones típicas de zonas debidas a escapes

Ya se han detallado, a lo largo del capítulo, los parámetros que influyen en la extensión de la zona.

El parámetro calculado V_z , puede dar un orden de magnitud del volumen de la zona clasificada, pero la UNE-EN 60079-10 aconseja que no se utilice exactamente cómo volumen de la zona.

La forma depende de la geometría de los equipos e instalaciones, de las barreras, de la densidad, existencia de sumideros, etc.

A continuación se presentan valores de extensión típica de zona producida por un escape de gas o vapor en una unión de tuberías. Los valores presentados en la tabla 4.13 [23] corresponden a datos que se han venido utilizando en la práctica como situaciones más desfavorables esperables. Se trata básicamente de distancias radiales contadas a partir de la parte externa de la tubería (ver figura 4.7) y sólo son aplicables a gases o vapores con densidad similar a la del aire (0,8 a 1,2 veces la densidad del aire). Cuando la densidad relativa del gas o vapor está fuera de estos límites hay un efecto gravitatorio, lo que modificará la geometría de la zona, como se muestra en las figuras 4.8 y 4.9.

Se consideran 4 tipos de bridas, según que incorporen junta de fibra comprimida (tipo 1), junta espiral (tipo 2), junta tórica o junta de compresión metal con metal (tipo 3) o junta atornillada (tipo 4). Se acepta que las uniones soldadas no dan lugar a fugas.

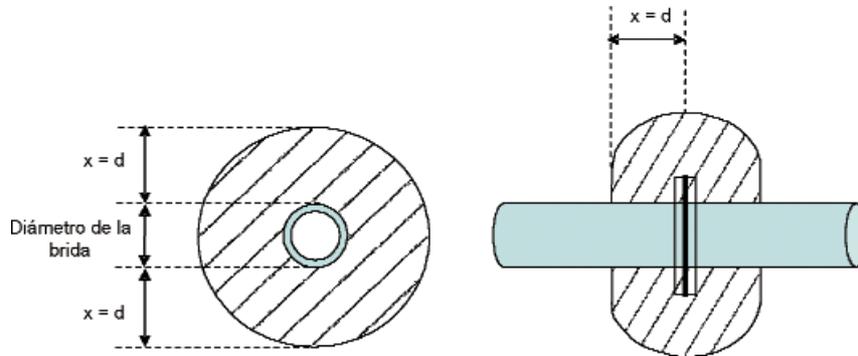


Figura 4.7. Extensión típica de zona 2

Presión 10^5 N/m ²	Extensión de la zona (m)			
	Junta tipo 1	Junta tipo 2	Junta tipo 3	Junta tipo 4
1,35	3,0	1,0	0,5	0,5
1,7	3,5	1,0	0,5	0,5
2,0	4,5	1,0	1,0	0,5
3,0	5,5	1,5	1,0	1,0
5,0	7,0	2,0	1,0	1,0
10,0	9,5	2,5	1,5	1,0
20,0	13,5	3,5	2,5	1,5
30,0	16,5	4,5	3,0	2,0
50,0	21,5	5,5	3,5	2,5
100,0	31,5	8,5	5,0	3,5

- Tipo 1: junta de fibra comprimida
- Tipo 2: junta espiral
- Tipo 3: junta tórica o junta de compresión
- Tipo 4: junta atornillada

Tabla 4.13. Extensión de la zona debida a escape de gas

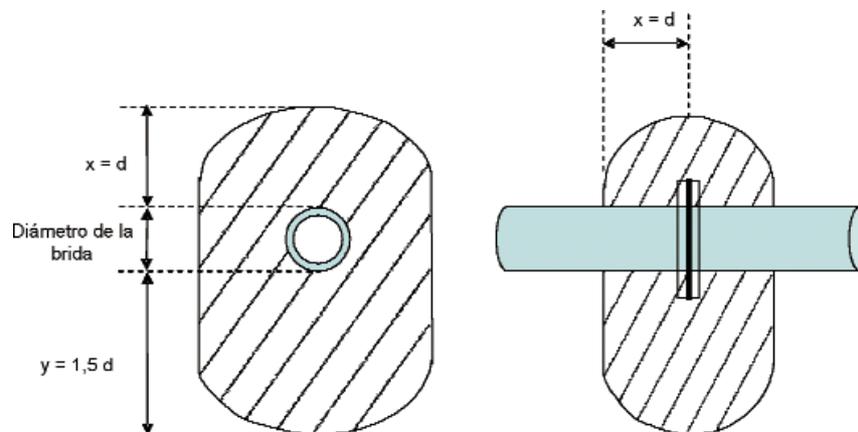


Figura 4.8. Extensión típica de zona 2 para un gas más denso que el aire (densidad relativa > 1,2)

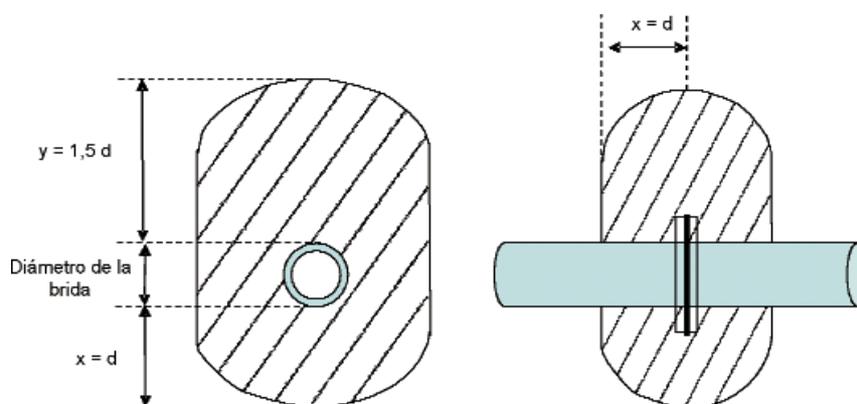


Figura 4.9. Extensión típica de zona 2 para un gas menos denso que el aire (densidad relativa < 0,8)

Si se trata de fugas de líquidos, estos formarán un charco que puede crecer o evaporarse en función de la tasa de escape, de la temperatura ambiente y de la capacidad de evaporación del líquido. Las tablas 4.14, 4.15, 4.16 y 4.17 describen el tamaño del charco generado por una fuga en cada uno de los cuatro tipos de juntas consideradas, en función de las presiones en la tubería [23].

El charco crece simétricamente alrededor de la junta sobre una superficie plana y genera una zona peligrosa a su alrededor. La presencia de elementos de contención o pendientes diferentes de la horizontal modificarán la geometría del charco y de su zona peligrosa. La tabla 4.18 presenta a título indicativo la extensión de la zona, suponiendo una velocidad del aire de 2m/s [23].

Presión de escape del líquido N/m ²	Área del charco, en m ² , cuando la presión de vapor del líquido es el siguiente porcentaje de la presión atmosférica				
	< 10 %	25 %	50 %	75 %	> 90 %
1 x 10 ⁴	207	83	42	28	23
3 x 10 ⁴	399	160	80	53	44
1 x 10 ⁵	765	306	173	102	85
3 x 10 ⁵	1515	606	303	202	168
1 x 10 ⁶	2767	1107	553	369	307
3 x 10 ⁶	5192	2077	1040	692	577
1 x 10 ⁷	9702	3881	1920	1293	1078

Tabla 4.14. Áreas de charcos producidos por fugas de líquidos en uniones con juntas de fibra prensada

Presión de escape del líquido N/m ²	Área del charco, en m ² , cuando la presión de vapor del líquido es el siguiente porcentaje de la presión atmosférica				
	< 10 %	25 %	50 %	75 %	> 90 %
1 x 10 ⁴	12,0	4,0	2,0	1,5	1,0
3 x 10 ⁴	21,0	8,0	3,5	2,5	2,0
1 x 10 ⁵	41,0	16,5	7,5	5,0	3,5
3 x 10 ⁵	70,0	28,0	13,0	9,0	6,5
1 x 10 ⁶	144,0	62,0	29,0	19,0	15,0
3 x 10 ⁶	249,0	113,0	53,0	33,0	28,0
1 x 10 ⁷	506,0	243,0	115,0	72,0	60,0

Tabla 4.15. Áreas de charcos producidos por fugas de líquidos en uniones con juntas espirales

Presión de escape del líquido N/m ²	Área del charco, en m ² , cuando la presión de vapor del líquido es el siguiente porcentaje de la presión atmosférica				
	< 10 %	25 %	50 %	75 %	> 90 %
1 x 10 ⁴	4,5	1,5	0,5	0,5	0,3
3 x 10 ⁴	16,0	5,5	2,5	1,5	1,5
1 x 10 ⁵	20,0	7,0	3,5	2,0	2,0
3 x 10 ⁵	40,0	15,0	7,0	4,5	4,0
1 x 10 ⁶	74,0	30,0	14,0	9,0	7,0
3 x 10 ⁶	147,0	63,0	30,0	20,0	16,0
1 x 10 ⁷	307,0	139,0	65,0	44,0	34,0

Tabla 4.16. Áreas de charcos producidos por fugas de líquidos en uniones con juntas tóricas o juntas de compresión

Presión de escape del líquido N/m ²	Área del charco, en m ² , cuando la presión de vapor del líquido es el siguiente porcentaje de la presión atmosférica				
	< 10 %	25 %	50 %	75 %	> 90 %
1 x 10 ⁴	2,0	0,6	0,3	0,2	0,2
3 x 10 ⁴	4,5	1,5	1,0	0,5	0,5
1 x 10 ⁵	9,0	3,0	1,5	1,0	0,5
3 x 10 ⁵	19,0	7,0	3,5	2,0	1,0
1 x 10 ⁶	35,0	14,0	6,0	4,0	3,0
3 x 10 ⁶	70,0	28,0	13,0	8,0	6,5
1 x 10 ⁷	137,0	55,0	23,0	15,0	12,0

Tabla 4.17. Áreas de charcos producidos por fugas de líquidos en uniones con juntas atornilladas

Área del charco m ²	Extensión del área, en m, por encima y alrededor del charco cuando la presión de vapor del líquido es el siguiente porcentaje de la presión atmosférica				
	< 10 %	25 %	50 %	75 %	> 90 %
0,1	0,04	0,1	0,2	0,3	0,4
0,3	0,07	0,2	0,4	0,5	0,7
1,0	0,1	0,3	0,6	1,0	1,0
3,0	0,2	0,5	1,0	1,5	2,0
10,0	0,4	0,8	2,0	2,5	3,0
30,0	0,6	1,5	3,0	4,5	5,5
100,0	1,0	2,5	5,0	7,5	9,0
300,0	2,0	5,0	10,0	15,0	18,0
1000,0	3,0	7,5	15,0	23,0	27,0
3000,0	4,5	12,0	23,0	34,0	41,0
10000,0	7,5	19,0	38,0	56,0	68,0

Tabla 4.18. Extensión del área peligrosa por encima y alrededor de los límites del charco

Cuando el líquido puede formar nieblas al escapar, la extensión de las áreas puede obtenerse a partir de los datos de la tabla 4.19, de nuevo en función del tipo de junta y para una velocidad del viento de 2 m/s [23].

Presión del escape N/m ²	Extensión de la zona (m)			
	Junta tipo 1	Junta tipo 2	Junta tipo 3	Junta tipo 4
1 x 10 ⁴	2,0	1,0	1,0	1,0
3 x 10 ⁴	2,0	1,5	1,5	1,0
1 x 10 ⁵	3,0	2,0	2,0	1,0
3 x 10 ⁵	5,5	3,0	3,0	2,0
1 x 10 ⁶	8,0	4,5	3,5	2,5
3 x 10 ⁶	15,5	6,0	5,0	3,5
1 x 10 ⁷	21,5	8,0	7,0	5,0

Tipo 1:junta de fibra comprimida

Tipo 2: junta espiral

Tipo 3: junta tórica o junta de compresión

Tipo 4: junta atornillada

Tabla 4.19. Extensión de la zona debida a escape de gas

4.4. Ejemplos prácticos

En esta sección se muestran varios ejemplos con indicaciones de dimensiones y geometrías de zonas clasificadas en procesos industriales. Dichos ejemplos no pretenden dar unos valores o reglas para la clasificación y extensión de zonas, sino ilustrar como se realizaría una clasificación.

En cada caso concreto, se deben analizar la situación y los parámetros propios del escape, ventilación y emplazamiento y se recomienda acudir a expertos.

Como ejemplos de aplicación del procedimiento de clasificación de zonas se han seleccionado cinco casos de instalaciones características, que se analizan a continuación.

En principio, cualquier instalación en la que existan sustancias inflamables debe analizarse para determinar si existe la posibilidad de atmósfera explosiva. En algunos casos, dicha posibilidad es obvia debida a la manipulación, procesado o trasvase de grandes cantidades de sustancias inflamables, pero en otros casos debe comenzarse analizando la probabilidad real. Por ejemplo, en el caso de un garaje o aparcamiento de vehículos con motor de gasolina o gasóleo, la experiencia demuestra que en condiciones de funcionamiento normal no se forman atmósferas explosivas; en efecto, bajo tales condiciones no se producen explosiones en los aparcamientos aunque existen fuentes potenciales de ignición (la batería del automóvil y sus contactos, los circuitos eléctricos, las superficies calientes en frenos y escapes, etc.) e incluso está permitido fumar, pues se considera despreciable la probabilidad de que se forme una atmósfera explosiva alrededor del automóvil. Si aplicamos la tabla 4.7 a un automóvil que puede llegar a contener unos 50 litros de gasolina (punto de inflamación < 0°C), vemos que no se precisaría clasificación de las áreas de riesgo. De forma más detallada, un reciente estudio [26] demuestra que la ventilación requerida (norma UNE 100.166:1992 sobre ventilación de aparcamientos) para la dilución del CO a niveles aceptables para la salud de las personas es más que suficiente para impedir la generación de atmósfera explosiva por el propio CO o por la evaporación de la gasolina en los vehículos.

4.4.1. Carga y descarga de cisternas de productos petrolíferos inflamables

Se analiza, en primer lugar, una estación de carga de camiones cisterna para el llenado de productos petrolíferos inflamables, típicamente gasolinas, situada en el exterior. Posteriormente se detalla el proceso de descarga de la cisterna a un depósito subterráneo.

a) Identificación de los emplazamientos

En este caso se diferencian dos emplazamientos peligrosos:

1. Carga de la cisterna
2. Descarga de la cisterna

Análisis del emplazamiento 1: Carga de la cisterna

Para el funcionamiento de la cisterna hacen falta una serie de orificios, aberturas y dispositivos, tanto en la parte superior, como en la inferior. En la superior se encuentran las bocas de carga, que llevan un cuello fijado al cuerpo de la cisterna y un elemento de cierre, las guías de sonda y las bocas de hombre. El número de bocas de carga y el de bocas de hombre corresponde con el de compartimentos de la cisterna.

En la modalidad de carga inferior, las bocas de carga coinciden con las de descarga y suelen ir en un lateral de la cisterna, a un nivel inferior.

Las bocas de hombre son aberturas circulares de 400 mm a 600 mm de diámetro, cuya tapa de cierre actúa como válvula de emergencia para sobrepresiones en el interior. El cierre es hermético y lleva un mecanismo de cierre y apertura rápidos.

Las bocas de descarga están provistas de válvulas de vaciado y tapas roscadas. Las válvulas, junto con las tapas, impiden la salida de producto existente en la tubería de salida, a partir de las válvulas de fondo de la cisterna. Éstas evitan que pueda salir el contenido de la cisterna en caso de fallo o rotura de las válvulas de descarga.

Las características de la planta y proceso son:

- Localización: al aire libre
- Temperatura de operación: mayor que el punto de inflamación
- No se realiza recuperación de vapores

b) Identificación de las sustancias inflamables

- Líquido inflamable: Gasolina
- Punto de inflamación: por debajo de 0°C
- Densidad: tres veces superior a la del aire
- LIE: 1,3 %
- Peso molecular: 86 g mol⁻¹
- Presión de vapor relativa: $p_v = 0,7$

c) Identificación de las fuentes de escape

La superficie del líquido en el interior de la cisterna, las bocas de carga y descarga y dispositivos de sobrepresión y los derrames que puedan producirse en el suelo.

d) Grado de escape

Grado continuo:

- La superficie del líquido en el interior de la cisterna.

Grado primario:

- Bocas de carga en la parte superior de la cisterna.
- Bocas de descarga en la parte inferior de la cisterna.

Grado secundario:

- Dispositivos de sobrepresión o sobrellenado.
- Derrames en el suelo.

e) Análisis de las influencias de todos los escapes

Los escapes se consideran independientes. No se precisa aplicar el procedimiento para la suma de escapes múltiples.

f) Cálculo de la tasa de escape

Grado primario:

- Bocas de carga: un valor típico [20] es 0,005 kg/s

Grado secundario:

- Dispositivos sobrepresión: Tabla 4.3, válvulas de seguridad para productos petrolíferos ligeros: $5,2 \cdot 10^{-7}$ kg/s
- Derrames: se estima que sólo se producirá algún pequeño derrame, con las conexiones sin presión, en la zona de la cisterna y con un diámetro máximo de 1 m ($A = 0,8 \text{ m}^2$, $R^{0,2} = 11$). Aplicando la expresión (4.11) se obtiene $8,7 \cdot 10^{-3}$ kg/s

Si se pudiera producir fuga con los brazos de carga en presión, siendo 7 bar la presión máxima, al aplicar la expresión (4.9) para una altura del escape de 3 m se obtendría una distancia de hasta 5,5 metros. Por ello debe existir un procedimiento que impida conectar el brazo de carga en presión.

g) Definición del grado y de la disponibilidad

- Tipo de ventilación: natural
- Grado: medio
- Disponibilidad: normal
- Velocidad ≥ 2 m/s
- Ineficacia de la ventilación f_v : 1

h) Determinación del tipo de zona peligrosa

La tabla 4.8 indica que para un escape de grado primario, con un grado medio y disponibilidad normal, se obtiene zona 1 rodeada de zona 2. Para un escape secundario proporciona zona 2.

i) Cálculo de la extensión de la zona

Mediante la expresión (4.26) se calculan los caudales de ventilación mínimos, $Q_{v \text{ min}}$, y mediante (4.37) el volumen de atmósfera explosiva, que se puede asimilar a una esfera, cuyo radio se calcula fácilmente (ver tabla 4.20). Los valores se redondean a 1,5 m.

Como se trata de vapores más densos que el aire, a partir de la fuente de escape se bajará hasta el nivel del suelo. Para el posible derrame, se aplica la distancia calculada alrededor y por encima del posible charco, así como del canal de drenaje existente.

Escape	Tasa escape	Grado escape	Coef. seguridad	LIE	LIE	Temp.	Factor temp.	Caudal ventilación	Volumen ATEX	Radio esfera
	GE max (kg/s)		k	% vol	kg/m ³	kelvin	ft	Qv min (m ³ /s)	Vz	m
Boca llenado	5,00E-03	primario	0,25	1,3	0,05	293	1	0,4008	13,36	1,472
Valvula seguridad	5,20E-07	secundario	0,5	1,3	0,05	293	1	0	0	0
Derrame	8,70E-03	secundario	0,5	1,3	0,05	293	1	0,3487	11,623	1,405

Tabla 4.20. Cálculos para la clasificación de zonas (cisterna)

j) Clasificación del lugar peligroso

ZONA 0: El interior de la cisterna.

ZONA 1: 1,5 m alrededor y por encima de las bocas de carga, hasta el nivel del suelo. La misma distancia se tomará para el acoplamiento flexible del brazo de carga. El interior del canal de drenaje (si este canal o arqueta quedara en zona ya clasificada como zona 1, debería considerarse un nivel superior por falta de ventilación, es decir, zona 0).

ZONA 2: 1,5 m alrededor de la zona 1. 1,5 m alrededor y por encima del posible derrame, que se localizará debajo de la cisterna y alrededor del canal de drenaje.

NOTA 1: Cuando se utilizan sistemas de recuperación de vapores, las extensiones de las zonas pueden reducirse.

NOTA 2: El reglamento para transporte por carretera ADR 2003 considera en operaciones de carga y descarga como zona 1 todas las partes externas de la cisterna, sin precisar distancias, y zona 2 el interior de la cabina. El interior de la cisterna será siempre zona 0.

NOTA 3: El interior de los depósitos se considera zona 0 por la interfase líquido-aire. En caso de existir un procedimiento, enclavamiento o sistema de control que garantice un nivel mínimo de líquido, por debajo de ese nivel se puede considerar zona no clasificada, ya que siempre habrá sólo líquido, nunca aire, y en consecuencia no se puede formar la atmósfera explosiva.

Análisis del emplazamiento 2: Descarga de la cisterna

La cisterna descarga la gasolina a través de sus bocas de descarga, situadas en la parte inferior, para el llenado de un depósito subterráneo.

Las características de la planta y proceso son:

- Localización: al aire libre
- Temperatura de operación: mayor que el punto de inflamación
- No se realiza recuperación de vapores

b) Identificación de las sustancias inflamables

Igual que en el emplazamiento 1 (carga de la cisterna).

c) Identificación de las fuentes de escape

La superficie del líquido en cisterna y depósito, las bocas de carga y descarga y dispositivos de sobrepresión y los derrames que puedan producirse en el suelo.

d) Grado de escape

Grado continuo:

- La superficie del líquido en el interior de la cisterna.
- La superficie del líquido en el interior del depósito subterráneo.

Grado primario:

- Bocas de carga en la parte superior de la cisterna.
- Bocas de descarga en la parte inferior de la cisterna.

Grado secundario:

- Dispositivos de sobrepresión o sobrellenado.
- Derrames en el suelo.

e) Análisis de las influencias de todos los escapes

Igual que en el emplazamiento 1 (carga de la cisterna).

f) Cálculo de la tasa de escape

Igual que en el emplazamiento 1 (carga de la cisterna).

g) Definición del grado y de la disponibilidad

Igual que en el emplazamiento 1 (carga de la cisterna).

h) Determinación del tipo de zona peligrosa

Igual que en el emplazamiento 1 (carga de la cisterna).

i) Cálculo de la extensión de la zona

Igual que en el emplazamiento 1 (carga de la cisterna).

j) Clasificación del lugar peligroso

ZONA 0: El interior de la cisterna. El interior del depósito subterráneo.

ZONA 1: 1,5 m alrededor y por encima de las bocas de descarga, hasta el nivel del suelo. La misma distancia se tomará para el acoplamiento de la manguera a la boca de entrada al depósito.

Aunque en la descarga no se abren las bocas de carga superiores, debe clasificarse su entorno como zona 1.

Si existiera un canal de drenaje, se consideraría zona 1, excepto si queda por debajo de zona ya clasificada como zona 1, en cuyo caso el canal o arqueta sería zona 0.

ZONA 2: 1,5 m alrededor de la zona 1. 1,5 m alrededor y por encima del posible derrame, que se localizará debajo de la cisterna y alrededor de la boca de llenado al depósito.

NOTA 1: Cuando se utilizan sistemas de recuperación de vapores, las extensiones de las zonas pueden reducirse.

NOTA 2: El reglamento para transporte por carretera ADR 2003 considera en operaciones de carga y descarga como zona 1 todas las partes externas de la cisterna, sin precisar distancias, y zona 2 el interior de la cabina. El interior de la cisterna será siempre zona 0.

NOTA 3: El interior de los depósitos se considera zona 0 por la interfase líquido-aire. En caso de existir un procedimiento, enclavamiento o sistema de control que garantice un nivel mínimo de líquido, por debajo de ese nivel se puede considerar zona no clasificada, ya que siempre habrá sólo líquido, nunca aire, y en consecuencia no se puede formar la atmósfera explosiva.

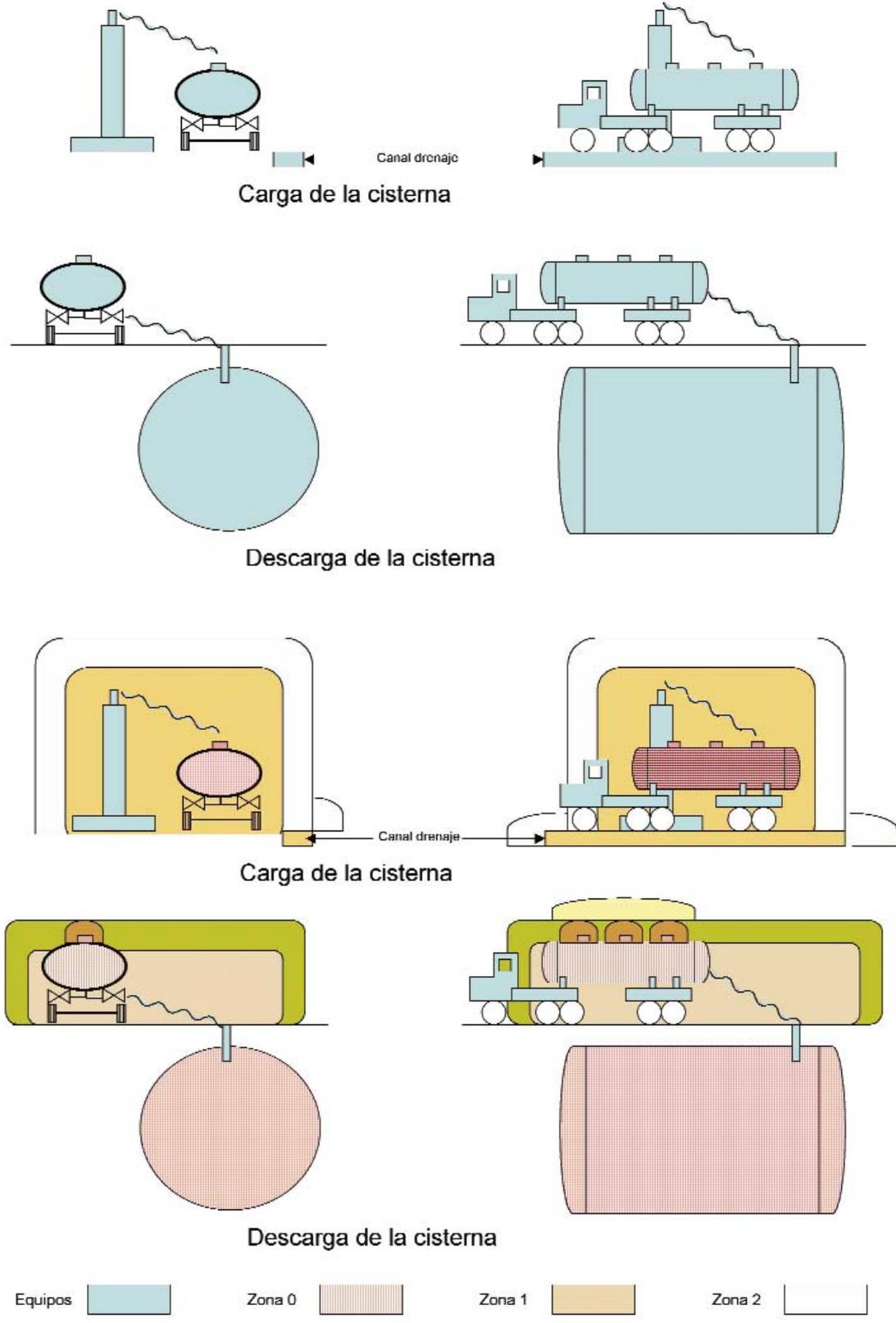


Figura 4.10. Esquema de clasificación de zonas (cisterna)

4.4.2. Cabina de pintura para automóviles

Se trata de una cabina de pintura cerrada para pintado de automóviles en un taller de chapa y pintura, con ventilación forzada de flujo vertical, es decir, cuya corriente de aire baja desde el techo filtrante hacia el suelo en sentido vertical, arrastrando los restos de la pulverización de pinturas.

a) Identificación de los emplazamientos

El aire captado del exterior por el grupo motopropulsor se hace pasar por un filtro o “plenum” para eliminar las partículas de polvo. La salida del aire se realiza a través del suelo enrejillado, filtrando el aire mediante otros filtros denominados “paint-stop”, pasando por una conducción en la parte posterior de la cabina, donde se puede pulverizar agua para completar la limpieza del aire, con salida al exterior por la parte superior. El caudal de aire en la aplicación de pintura es de 20.000 m³/h, con una velocidad media del aire de 0,4 m/s, aproximadamente.

La cabina tiene dos fases de trabajo diferenciadas: fase de pintado y fase de secado. En la fase de pintado el aire puede ser atemperado a 20 °C mediante el calentador situado antes del filtro. El proceso de pintado con pistola se desarrolla de manera discontinua con proyección intermitente de pintura, con una duración máxima de 45 minutos por automóvil. En la fase de secado se reduce el caudal de aire hasta un 25 % y se eleva la temperatura hasta un máximo de 80 °C.

Las características de la planta y proceso son:

- Localización: interior (cabina cerrada de 6,6 m de largo, 4 m de ancho y 2,80 m de alto) con salida de aire de barrido al exterior.
- Temperatura de operación: 20 °C durante pintado, 80 °C durante secado.
- Caudal de aire 20.000 m³/h, conducido al exterior después de pasar por un sistema de filtros integrados.

b) Identificación de las sustancias inflamables

- Mezcla de disolventes con base tolueno, C₆H₅CH₃
- Punto de inflamación: 4°C
- Densidad: 3,2 veces superior a la del aire
- LIE: 1,2 % - LSE: 7,8 %
- Masa molecular: 92 kg kmol⁻¹
- Temperatura de ignición: 535 °C (clase de temperatura T1)
- Punto de ebullición: 110,6 °C

c) Identificación de las fuentes de escape

La pistola de pulverización y sus posibles derrames.

d) Grado de escape

Grado continuo:

- No hay.

Grado primario:

- Boca de la pistola de pulverización.

Grado secundario:

- Derrame del depósito de pintura de la pistola.

e) Análisis de las influencias de todos los escapes

Los escapes se consideran independientes. No se precisa aplicar el procedimiento para la suma de escapes múltiples.

f) Cálculo de la tasa de escape

Grado primario:

El fabricante de la cabina aporta como dato el caudal máximo de disolvente durante el pintado, según proyecto, que es 0,18 kg/min. Este valor equivale a 0,003 kg/s.

Grado secundario:

Derrames: al poderse desplazar el operario por toda la cabina, el derrame puede aparecer en cualquier punto del suelo; la superficie máxima será la de la cabina, 26,4 m². A este valor le corresponde, aplicando la figura 4.1, un R^{0.2} de 15. La presión de vapor correspondiente a la temperatura máxima de 20 °C (se admite que al comenzar la fase de secado a 80 °C no hay ningún derrame) no es conocida, pero se dispone del dato aportado por la tabla 4.2 correspondiente a 32 °C y una temperatura de ebullición de 110 °C, que es 0,062. Para este valor, la tasa de escape sería 0,02 kg/s.

g) Definición del grado y de la disponibilidad

- Tipo de ventilación: artificial local
- Grado: medio
- Disponibilidad: alta
- Velocidad = 0,4 m/s
- Ineficacia de la ventilación f_v: 1

h) Determinación del tipo de zona peligrosa

La tabla 4.8 indica que para un escape de grado primario, con un grado medio y disponibilidad alta, se obtiene zona 1. Para un escape secundario proporciona zona 2.

i) Cálculo de la extensión de la zona

Mediante la expresión (4.26) se calculan los caudales de aire fresco, Q_{v min}. Se puede calcular el número de cambios de aire o renovaciones, mediante (4.34). Usando (4.32) se calcula el volumen de atmósfera explosiva, V_z (V₀ se obtiene a partir de las dimensiones de la cabina y Q_{v0} es 20000/3600), que se puede asimilar a una esfera, cuyo radio se calcula fácilmente (ver tabla 4.21). Los valores se redondean a 1,0 m y 1,4 m para los escapes primario y secundario, respectivamente.

Como se trata de vapores más densos que el aire, a partir de la fuente de escape se bajará hasta el nivel del suelo y por debajo de la rejilla en el interior de la cabina. También se incluirá la conducción de la corriente de ventilación al exterior y alrededor de la boca de salida del aire, también hasta el suelo y teniendo en cuenta la densidad del vapor. Además, las puertas de la cabina se pueden asimilar a aberturas de tipo B y, aplicando la tabla 3.1, darán lugar en el exterior a un escape de grado secundario (se elige secundario en vez de primario porque siempre que hay emisión en el interior permanecen cerradas).

Escape	Tasa escape	Grado escape	Coef. seguridad	LIE	LIE	Temp.	Factor temp.	Caudal ventilación	Renovaciones	Volumen ATEX	Radio esfera
	GE max (kg/s)		k	% vol	kg/m ³	kelvin	ft	Qv min (m ³ /s)		Vz	m
Pistola	3,00E-03	primario	0,25	1,2	0,049	293	1	0,2434	0,075	3,239	0,918
Derrame	2,00E-02	secundario	0,5	1,2	0,049	293	1	0,8114	0,075	10,796	1,371

Tabla 4.21. Cálculos para la clasificación de zonas (cabina)

j) Clasificación del lugar peligroso

ZONA 0: No hay.

ZONA 1: Todo el interior de la cabina de pintado y el espacio situado por debajo del suelo enrejillado (plenum inferior).

ZONA 2: El exterior de las puertas de la cabina, con una distancia de 1,4 m en todas las direcciones desde la superficie de la puerta, más un espacio adicional de 2,8 m de radio en horizontal y 1,4 m de altura.

El espacio interior de salida del circuito de ventilación al exterior.

El espacio exterior alrededor de la boca de expulsión del aire al exterior con una distancia de 1,4 en todas las direcciones y llegando hasta el suelo, donde se extenderá un espacio adicional de 2,8 metros en horizontal alrededor de la boca de salida y 1,4 m de altura.

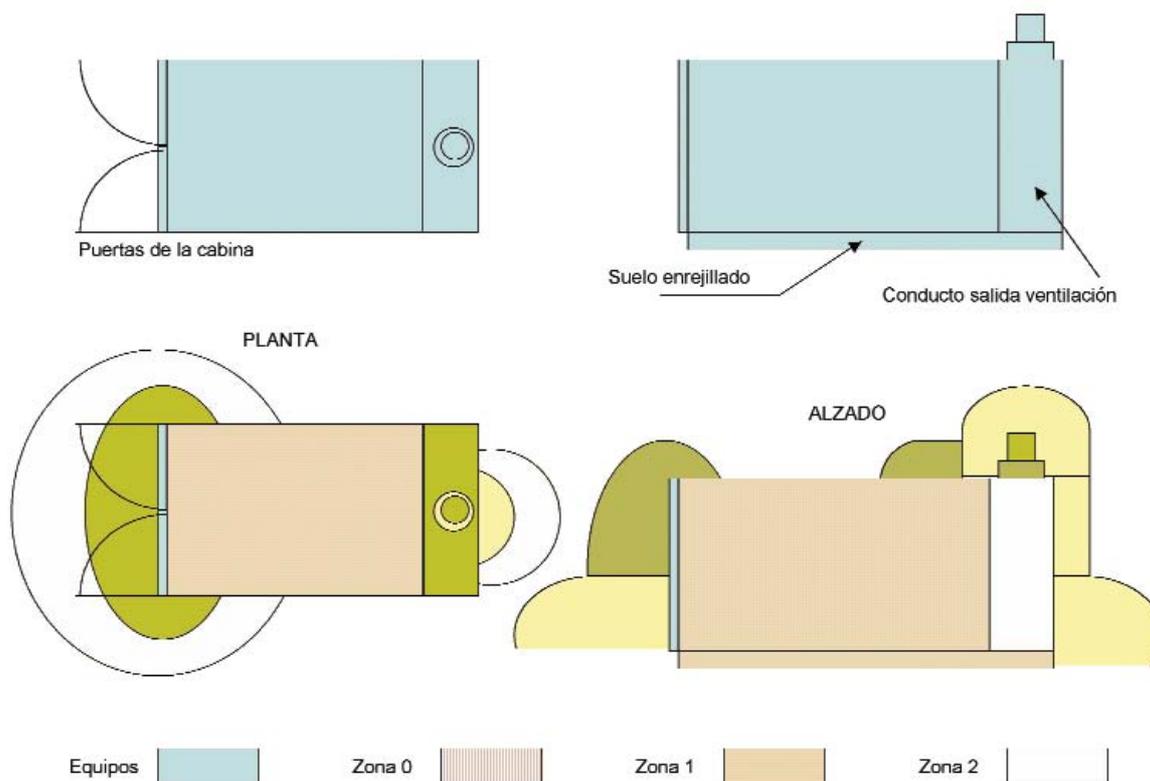


Figura 4.11. Esquema de clasificación de zonas (cabina)

4.4.3. Almacén de productos químicos

Diversas sustancias químicas se almacenan en un área cerrada, dejando en el exterior botellas de gases. Como materias inflamables características se consideran el acetileno como gas más peligroso entre los almacenados y el etanol como líquido inflamable en el interior del almacén.

a) Identificación de los emplazamientos

Las botellas de gases son de acero, con una capacidad máxima aproximada por botella de 50 litros. El área para las botellas es de tipo abierto, cubierta con un techado simple para protección de la intemperie y está adosada a una de las paredes del almacén.

Los líquidos se mantienen en recipientes metálicos y de plástico, que se almacenan en estanterías, así como en bidones de chapa de acero, según requisitos del Reglamento de Almacenamiento de Productos Químicos.

El almacén tiene ventilación natural, con aberturas en las partes bajas y altas de la sala con objeto de favorecer la circulación del aire. En el exterior la ventilación es al aire, levemente dificultada por la propia pared del almacén cerrado.

Análisis del emplazamiento 1: Almacén cerrado de líquidos inflamables

Las características de planta y proceso son:

- Localización: interior.
- Temperatura de operación máxima: 50 °C.

b) Identificación de las sustancias inflamables

- Etanol, CH₃CH₂OH
- Punto de inflamación: 12°C
- Densidad del vapor: 1,59 veces superior a la del aire
- LIE: 3,1 % - LSE: 19,0 %
- Masa molecular: 46 kg kmol⁻¹
- Temperatura de ignición: 363 °C (clase de temperatura T2)
- Punto de ebullición: 78,5 °C

c) Identificación de las fuentes de escape

Se pueden producir fugas por los cierres de los recipientes.

d) Grado de escape

Grado continuo:

- No hay.

Grado primario:

- No hay.

Grado secundario:

- Fugas por los cierres de los recipientes.

e) Análisis de las influencias de todos los escapes

Se trata de escapes secundarios múltiples. Al aplicar el procedimiento de la tabla 4.9 se debe usar el mayor valor de $Q_{v\ min}$ y aplicarlo en las fórmulas de cálculo. La ubicación de la fuente de escape será cualquiera de las ocupadas por los recipientes dentro del almacén.

f) Cálculo de la tasa de escape

Grado secundario:

En el apartado 3.1 e) se establece que los contenedores de sustancias inflamables con tapaderas cerradas cuidadosamente no se consideran fuentes de escape si cumplen ciertas condiciones de seguridad en su manipulación. Suponiendo que no se pueden garantizar esas condiciones, podrán existir escapes en las juntas de las tapaderas de los recipientes. Suponiendo un orificio de escape similar a una brida, de 2,5 mm² (punto 4.1.1) en un bidón de 600 mm de diámetro ($A = 0,283\ m^2$, a la que según la figura 4.1 corresponde un valor $R^{0,2} = 9,5$), al aplicar la expresión (4.11) para $p_v = 0,43$ (obtenido interpolando linealmente entre 40 °C y 60 °C en la tabla 4.2 los valores correspondientes a una temperatura de ebullición de 80 °C) se obtiene $G_{vap} = 1,18 \cdot 10^{-3}\ kg/s$.

g) Definición del grado y de la disponibilidad

- Tipo de ventilación: natural.
- Grado: medio.
- Disponibilidad: alta.
- Ineficacia de la ventilación f_v : 5 (tabla 4.12)

h) Determinación del tipo de zona peligrosa

La tabla 4.8 indica que para un escape de grado secundario, con un grado de ventilación medio y disponibilidad alta, se obtiene zona 2.

i) Cálculo de la extensión de la zona

Mediante la expresión (4.26) se calculan los caudales de aire fresco, $Q_{v\ min}$, y mediante (4.37), con un fac-

tor de ventilación 5 (para ventilación natural el factor 1 corresponde a una instalación al aire libre), se calcula el volumen de atmósfera explosiva, que correspondería a una esfera, cuyo radio se calcula fácilmente (ver tabla 4.22). Los valores se redondean a 1,2 m.

Escape	Tasa escape	Grado escape	Coef. seguridad	LIE	LIE	Temp.	Factor temp.	Caudal ventilación	Volumen ATEX	Radio esfera
	GE max (kg/s)		k	% vol	kg/m ³	kelvin	ft	Qv min (m ³ /s)	Vz	m
Recipientes	1,18E-03	secundario	0,5	3,1	0,0637	323	1,102	0,04084	6,807	1,176

Tabla 4.22. Cálculos para la clasificación de zonas (almacén de líquidos)

Como se trata de vapores más densos que el aire, a partir de la fuente de escape se bajará hasta el nivel del suelo y a través de las rejillas de ventilación (aberturas de tipo A) se extenderá la zona también en el exterior alrededor de las rejillas de ventilación del nivel inferior. También se clasificará alrededor de la puerta de acceso al almacén (abertura tipo B).

j) Clasificación del lugar peligroso

ZONA 0: No hay.

ZONA 1: No hay.

ZONA 2: Todo el interior del almacén.

El espacio exterior alrededor de la puerta, con una distancia de 1,2 m en todas las direcciones, extendiéndose en horizontal un espacio adicional de 2,4 m por 1,2 m de altura.

El espacio exterior alrededor de las rejillas inferiores de ventilación, con una distancia de 1,2 m en todas las direcciones y llegando hasta el suelo, donde se extenderá un espacio adicional de 2,4 metros en horizontal por 1,2 m de altura.

Analisis del emplazamiento 2: Almacén abierto de gases inflamables

Las características de planta y proceso son:

- Localización: exterior.
- Temperatura de operación máxima: 50 °C.

b) Identificación de las sustancias inflamables

- Acetileno, C₂H₂
- Punto de inflamación: gas a temperatura ambiente
- Densidad: 0,90 la del aire
- LIE: 2,3 % - LSE: 100,0 %
- Masa molecular: 26 kg kmol⁻¹
- Temperatura de ignición: 305 °C (clase de temperatura T2)

c) Identificación de las fuentes de escape

Se pueden producir fugas en las válvulas de las botellas de gases.

d) Grado de escape

Grado continuo:

- No hay.

Grado primario:

- No hay.

Grado secundario:

- Fugas por la válvula de cierre de las botellas.

e) Análisis de las influencias de todos los escapes

Se trata de escapes secundarios múltiples. Al aplicar el procedimiento de la tabla 4.9 se debe usar el mayor valor de $Q_{v \text{ min}}$ y aplicarlo en las fórmulas de cálculo. La ubicación de la fuente de escape será cualquiera de las ocupadas por las botellas de gases en la parte exterior del almacén destinada a las botellas.

f) Cálculo de la tasa de escape

Grado secundario:

Para determinar las dimensiones del orificio de escape en una válvula aplicamos el valor descrito en 4.1.1. b), que es $0,25 \text{ mm}^2 = 0,25 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$ y aplicamos la expresión (4.2) en la que P es la presión en el interior de la botella, que puede llegar a los 200 bar ($200 \cdot 10^5 \text{ Nm}^{-2}$). Se obtiene así, para 323 K, un valor $G_{E \text{ max}} = 8,5 \cdot 10^{-3} \text{ kg/s}$.

g) Definición del grado y de la disponibilidad

- Tipo de ventilación: natural
- Grado: medio
- Disponibilidad: alta
- Ineficacia de la ventilación f_v : 2 (tabla 4.12)

h) Determinación del tipo de zona peligrosa

La tabla 4.8 indica que para un escape de grado secundario, con un grado de ventilación medio y disponibilidad alta, se obtiene zona 2.

i) Cálculo de la extensión de la zona

Mediante la expresión (4.26) se calculan los caudales de aire fresco, $Q_{v \text{ min}}$, y mediante (4.37), con un factor de ventilación 2 debido a la pared posterior del almacén cerrado, se calcula el volumen de atmósfera explosiva, que correspondería a una esfera, cuyo radio se calcula fácilmente (ver tabla 4.23). Los valores se redondean a 2,3 m.

Escape	Tasa escape	Grado escape	Coef seguridad	LIE	LIE	Temp.	Factor temp.	Caudal ventilación	Volumen ATEX	Radio esfera
	$G_{E \text{ max}}$ (kg/s)		k	% vol	kg/m ³	kelvin	ft	$Q_{v \text{ min}}$ (m ³ /s)	V_z	m
Válvula	8,50E-03	secundario	0,5	2,3	0,0267	323	1,102	0,7019	46,793	2,235

Tabla 4.23. Cálculos para la clasificación de zonas (almacén)

Como se trata de un gas con densidad similar a la del aire, se tomará esa distancia en todas las direcciones, abarcando toda la línea de botellas.

j) Clasificación del lugar peligroso

ZONA 0: No hay.

ZONA 1: No hay.

ZONA 2: El espacio exterior del almacén destinado a las botellas de gases, con una distancia de 2,3 m en todas las direcciones, abarcando todas las botellas y extendiéndose a ambos lados a partir de las botellas situadas en ambos extremos de la fila de botellas.

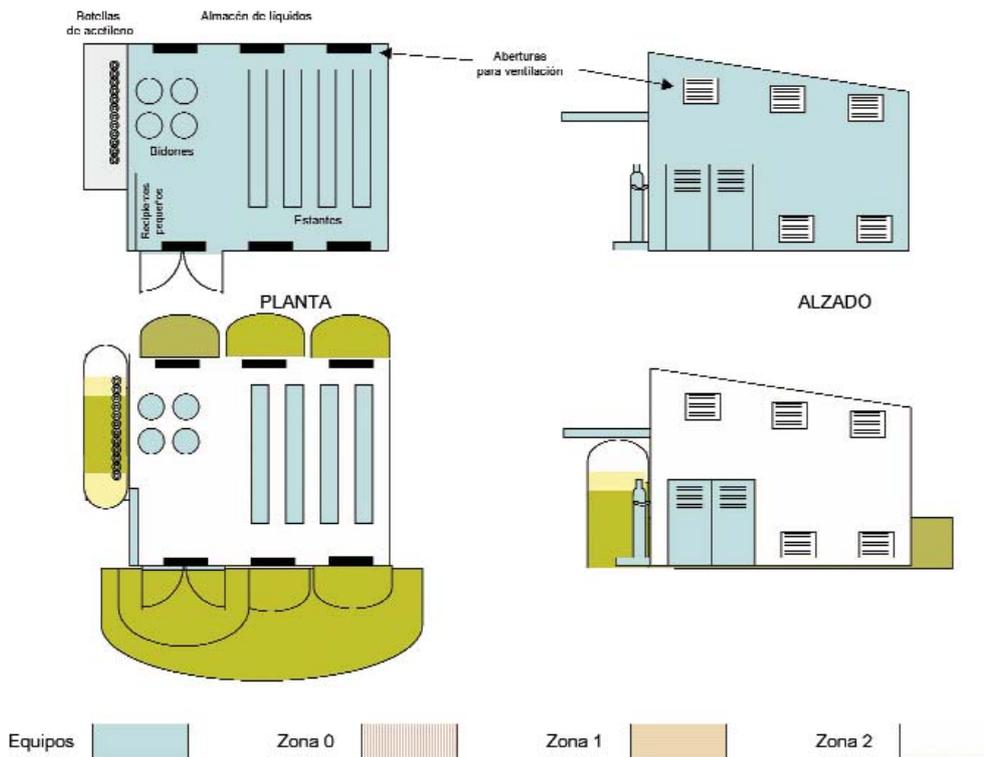


Figura 4.12. Esquema de clasificación de zonas (almacén)

4.4.4. Sala de calderas

a) Identificación de los emplazamientos

Se considera una sala de 20 m² y 2,8 m de altura en la que se instala una caldera de gas natural con quemador por aire forzado, con una potencia térmica de 350 kW. La temperatura máxima de trabajo es 40 °C. La ventilación es natural directa a través de aberturas con una superficie total de ventilación $S = 250 \text{ cm}^2$, que incorporan rejillas para evitar la entrada de cuerpos extraños y están instaladas en lugares adecuados y se mantienen limpias, de manera que no puedan ser obstruidas (se valora el factor de eficacia de la ventilación como $f_v = 4$). Considerando en el exterior una velocidad del aire $v = 0,5 \text{ m/s}$, el caudal de ventilación de la instalación se obtendrá mediante $Q_{v0} \text{ (m}^3\text{/s)} = v \text{ (m/s)} \cdot S \text{ (m}^2) = 0,5 \cdot 250 \cdot 10^{-4} = 0,0125 \text{ m}^3\text{/s}$.

La línea del quemador está compuesta por los siguientes elementos, con DN 25 mm: válvula manual de corte, regulador de presión de gas, dispositivo automático de control de presión de gas, válvula automática de corte y filtro. Los escapes en los componentes se consideran posibles de forma periódica u ocasional durante el funcionamiento normal.

Las características de planta y proceso son:

- Localización: interior.
- Temperatura de operación máxima: 40 °C.

b) Identificación de las sustancias inflamables

- Gas natural, CH₄
- Punto de inflamación: gas a temperatura ambiente
- Densidad del gas: 0,55 veces la del aire
- LIE: 4,4 % - LSE: 17,0 %
- Masa molecular: 16 kg kmol⁻¹
- Temperatura de ignición: 537 °C (clase de temperatura T1)

c) Identificación de las fuentes de escape

Se pueden producir escapes en los distintos elementos que componen la línea del quemador.

d) Grado de escape

Grado continuo:

– No hay.

Grado primario:

- Válvula manual de corte.
- Regulador de presión de gas.
- Dispositivo automático de control de presión de gas.
- Válvula automática de corte.
- Filtro.

Grado secundario:

– No hay.

e) Análisis de las influencias de todos los escapes

Se consideran 5 elementos en los que pueden aparecer escapes primarios. Aplicando el procedimiento de las tablas 4.9 y 4.10, se calculará el caudal de aire fresco Q_{vmin} para todos los escapes mediante la expresión (4.26) y se sumará el de los 3 mayores (tabla 4.10: válvula manual, dispositivo de control de presión y filtro) para los cálculos posteriores.

f) Cálculo de la tasa de escape

Grado primario:

Aplicando la tabla 4.6 correspondiente a 40 °C, se pueden obtener las tasas máximas de escape:

- | | |
|---|----------------------------|
| – Válvula manual de corte: | 2,08.10 ⁻⁸ kg/s |
| – Regulador de presión de gas: | 5,20.10 ⁻⁹ kg/s |
| – Dispositivo aut. control de presión de gas: | 2,08.10 ⁻⁸ kg/s |
| – Válvula automática de corte: | 1,04.10 ⁻⁸ kg/s |
| – Filtro: | 2,08.10 ⁻⁸ kg/s |

Otra alternativa será considerar el valor global que da la misma tabla 4.6 para el conjunto de la línea del quemador de gas:

- | | |
|-------------|----------------------------|
| – Quemador: | 2,43.10 ⁻⁸ kg/s |
|-------------|----------------------------|

g) Definición del grado y de la disponibilidad

- Tipo de ventilación: natural
- Grado: medio
- Disponibilidad: alta
- Ineficacia de la ventilación f_v : 4 (tabla 4.12)

h) Determinación del tipo de zona peligrosa

La tabla 4.8 indica que los escapes primarios, con un grado de ventilación medio y disponibilidad alta, darán lugar a zona 1. La zona 1 no limitada por paredes debe rodearse de una zona 2.

i) Cálculo de la extensión de la zona

A partir del valor de Q_{vmin} obtenido al sumar el de los tres valores mayores, según se ha descrito en el apartado e) de este ejemplo, se aplica (4.35), con un factor de ventilación 4 (las rejillas se mantienen limpias), y se calcula el volumen de atmósfera explosiva, V_z , que correspondería a una esfera, cuyo radio se calcula fácilmente (ver tabla 4.24). El valor obtenido 0,34 se redondea a 0,4 m.

Escape	Tasa escape	Grado escape	Coef. seguridad	LIE	LIE	Temp.	Factor temp.	Caudal ventilación	Renovaciones	Volumen ATEX	Radio esfera
	GE max (kg/s)		k	% vol	kg/m ³	kelvin	ft	Qv min (m ³ /s)		Vz	m
Válvula manual	2,08E-08	primario	0,25	4,4	0,0314	293	1	3E-06	0,00022	0,068	0,253
Regulador	5,20E-09	primario	0,25	4,4	0,0314	293	1	1E-06	0,00022	0,018	0,163
Dispositivo control presión	2,08E-08	primario	0,25	4,4	0,0314	293	1	3E-06	0,00022	0,055	0,236
Válvula automática	1,04E-08	primario	0,25	4,4	0,0314	293	1	1E-06	0,00022	0,018	0,163
Filtro	2,08E-08	primario	0,25	4,4	0,0314	293	1	3E-06	0,00022	0,055	0,236
SUMA (3)		primario	0,25					9E-06	0,00022	0,164	0,34

Tabla 4.24. Cálculos para la clasificación de zonas (caldera)

Como alternativa, en lugar de los cinco elementos independientes de la línea del quemador, se podría calcular el escape para toda la línea según el dato antes citado de la tabla 4.6. En este caso los cálculos serían los indicados en la tabla 4.25.

Escape	Tasa escape	Grado escape	Coef seguridad	LIE	LIE	Temp.	Factor temp.	Caudal ventilación	Renovaciones	Volumen ATEX	Radio esfera
	GE max (kg/s)		k	% vol	kg/m ³	kelvin	ft	Qv min (m ³ /s)		Vz	m
Quemador	2,43E-08	primario	0,25	4,4	0,0314	293	1	0,3E-06	0,00022	0,055	0,236

Tabla 4.25. Cálculos para la clasificación de zonas (basados en la línea del quemador)

Como puede verse, el valor así obtenido, 0,236 se redondearía a 0,3 m, valor ligeramente menor que en el caso anterior. De forma conservadora, sería preferible el valor de 0,4 m.

Como se trata de un gas más ligero que el aire, las distancias en vertical se tomarán con valor doble que en el resto de las direcciones.

j) Clasificación del lugar peligroso

ZONA 0: No hay.

ZONA 1: 0,4 m alrededor de todos los dispositivos de corte y regulación. Se tomarán 0,8 m en las distancias verticales por encima de los dispositivos.

ZONA 2: 0,4 m alrededor de la zona 1, tomando 0,8 m en vertical. Como medida de precaución puede ser aconsejable definir como zona 2 todo el volumen rodeando la caldera.

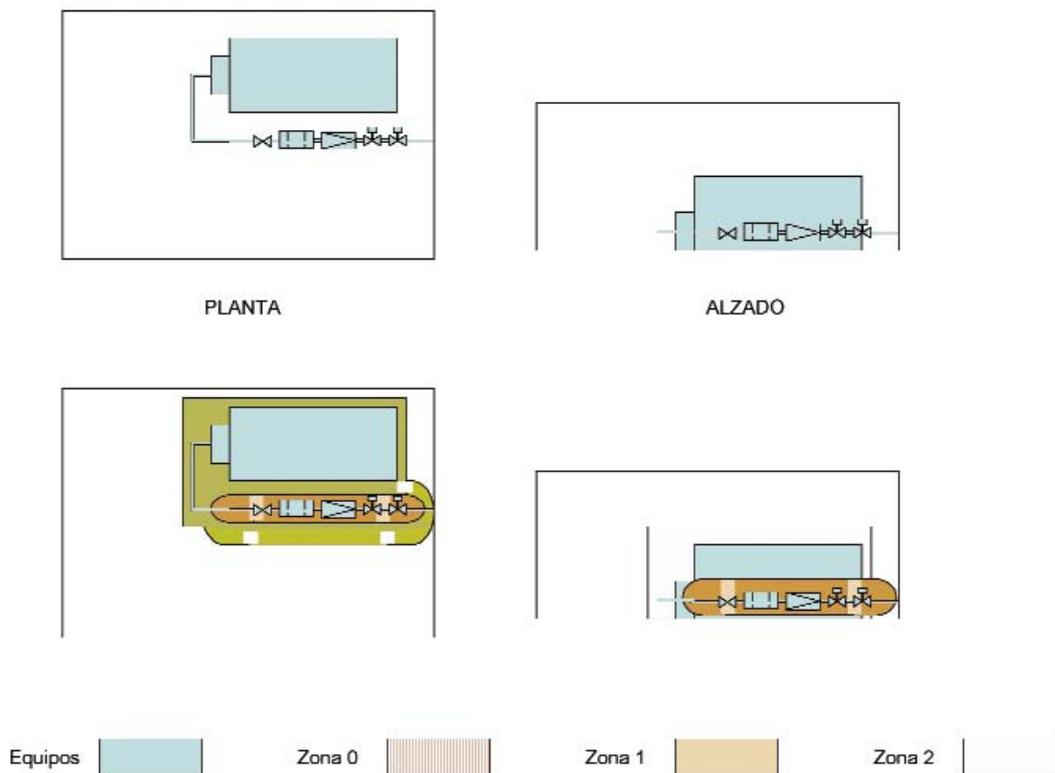


Figura 4.13. Esquema de clasificación de zonas (caldera)

4.4.5. Tanque mezclador

En una sala de proceso de 70 m³ hay un tanque reactor usado para mezclar sustancias líquidas inflamables, con base de acetona. El tanque tiene 3 m de altura y 2 m de diámetro y los líquidos, procedentes de bidones, se añaden por la parte superior del tanque.

a) Identificación de los emplazamientos

Se consideran tres situaciones diferentes: 1) el tanque está permanentemente abierto y el local tiene ventilación natural; los bidones de productos líquidos se abren en el propio local y se vierten directamente al tanque. 2) el tanque está abierto, pero se emplea aspiración localizada y ventilación artificial general; los bidones se mantienen separados en una zona tabicada de la sala, ventilada independientemente de forma natural. 3) el recipiente está cerrado y hay ventilación artificial general; no hay bidones, ya que los productos llegan por tuberías.

La temperatura máxima de trabajo es 20 °C. En el caso 1, la ventilación es natural directa a través de aberturas en las paredes y techo instaladas en lugares adecuados y se mantienen limpias, de manera que no puedan ser obstruidas (se valora el factor de eficacia de la ventilación como $f_v = 4$).

En los casos 2 y 3 el caudal de ventilación general de la sala es de 3000 m³/h, es decir, 0,83 m³/s. En el caso 2 existe además una aspiración localizada con un caudal de 1,4 m³/s.

Las características de planta y proceso son:

- Localización: interior.
- Temperatura de operación máxima: 20 °C.

b) Identificación de las sustancias inflamables

- Líquidos inflamables, con base acetona (CH₃)₂CO

- Punto de inflamación: -20 °C
- Densidad del gas: 2 veces la del aire
- LIE: 2,5 % - LSE: 13,0 %
- Masa molecular: 58 kg kmol⁻¹
- Temperatura de ignición: 535 °C (clase de temperatura T1)
- Punto de ebullición: 56 °C
- Presión de vapor (20 °C): 24 kPa

c) Identificación de las fuentes de escape

La superficie del líquido, la válvula de descarga del tanque y las posibles fugas y derrames en los casos 1 y 2, y las válvulas de las tuberías de entrada y salida en el caso 3.

d) Grado de escape

Grado continuo:

- La superficie del líquido en el tanque.

Grado primario:

- Válvula de descarga del tanque (casos 1 y 2).

Grado secundario:

- Derrames y fugas del líquido contenido en el tanque (casos 1 y 2).
- Válvulas en las tuberías de entrada y salida de líquido (caso 3).

e) Análisis de las influencias de todos los escapes

Los escapes se consideran independientes. No se precisa aplicar el procedimiento para la suma de escapes múltiples.

f) Cálculo de la tasa de escape

Grado continuo:

El área de evaporación es la del tanque (diámetro 2 m), es decir, 3,14 m². Aplicando la figura 4.1, se obtiene un valor de $R^{0.2} = 12,2$. La presión de vapor de la acetona a 20 °C es 24 kPa (0,24 relativa a la presión atmosférica), por lo que, aplicando (4.11) se obtiene $G_{vap} = 7,17 \cdot 10^{-3}$ kg/s

Grado primario:

Al emplear la válvula inferior del tanque para la descarga y llenado de otros recipientes, la tasa de escape se puede calcular a partir de la evaporación sobre la superficie del recipiente de llenado. Si se considera un bidón de 600 mm de diámetro ($A = 0,283$ m²) al aplicar la figura 4.1 se obtiene un valor de $R^{0.2} = 9,5$. Mediante (4.11) se obtiene $G_{vap} = 8,3 \cdot 10^{-4}$ kg/s

Grado secundario:

Para los derrames y fugas se estima que como máximo se producirán escapes similares al escape primario debido a la válvula: $8,3 \cdot 10^{-4}$ kg/s. Para las válvulas automáticas del caso 3, la tabla 4.3 proporciona un valor de escape de $1,0 \cdot 10^{-7}$ kg/s.

g) Definición del grado y de la disponibilidad

CASO1:

- Tipo de ventilación: natural
- Grado: medio
- Disponibilidad: media
- Ineficacia de la ventilación f_v : 4 (tabla 4.12)

CASO 2:

- Tipo de ventilación: artificial local junto al tanque y artificial general en sala
- Grado: medio
- Disponibilidad: alta
- Ineficacia de la ventilación f_v : 1 (tabla 4.12)

CASO 3:

- Tipo de ventilación: artificial general en sala
- Grado: medio
- Disponibilidad: alta
- Ineficacia de la ventilación f_v : 1 (tabla 4.12)

h) Determinación del tipo de zona peligrosa

La tabla 4.8 indica que los escapes continuos, con un grado de ventilación medio y disponibilidad media o alta, darán lugar a zona 0. Alrededor de la superficie del líquido será zona 0, que irá rodeada de zona 1 y, en su caso, por zona 2.

i) Cálculo de la extensión de la zona

Estudiemos cada uno de los tres casos:

CASO 1:

Mediante la expresión (4.26) se calculan los caudales de aire fresco, $Q_{v \text{ min.}}$ y mediante (4.37), con un factor de ventilación 4, se calcula el volumen de atmósfera explosiva para cada una de las fuentes de escape, obteniendo los valores de la tabla 4.26.

Escape	Tasa escape	Grado escape	Coef. seguridad	LIE	LIE	Temp.	Factor temp.	Caudal ventilación	Volumen ATEX	Radio esfera
	GE max (kg/s)		k	% vol	kg/m ³	kelvin	ft	Qv min (m ³ /s)	Vz	m
Superficie	7,17E-03	continuo	0,25	2,5	0,0647	293	1	0,443277	59,104	2,416
Válvula descarga	8,30E-04	primario	0,25	2,5	0,0647	293	1	0,051314	6,84183	1,178
Derrames y fugas	8,30E-04	secundario	0,5	2,5	0,0647	293	1	0,025657	3,42092	0,935

Tabla 4.26. Cálculos para la clasificación de zonas (tanque con ventilación natural)

CASO 2:

Mediante la expresión (4.26) se calculan los caudales de aire fresco, $Q_{v \text{ min.}}$. Para la superficie del líquido, el caudal de ventilación local es de 1,4 m³/s proporcionados por el extractor localizado sobre el tanque, que afecta a un volumen aproximado de 6 m³ (alrededor de hasta 2 m por encima de la superficie del líquido, que tiene un área de 3,14 m²). Mediante (4.35) se calcula el volumen V_z , que corresponde a un radio de 0,768 m, redondeado a 0,8 m.

Para los otros escapes, se emplea el volumen total de la sala y el caudal de ventilación general, obteniendo los valores de la tabla 4.27.

Escape	Tasa escape	Grado escape	Coef. seguridad	LIE	LIE	Temp.	Factor temp.	Caudal ventilación	Renovaciones	Volumen ATEX	Radio esfera
	GE max (kg/s)		k	% vol	kg/m ³	kelvin	ft	Qv min (m ³ /s)		Vz	m
Superficie	7,17E-03	continuo	0,25	2,5	0,0647	293	1	0,4433	0,233	1,9	0,768
Válvula descarga	5,20E-07	primario	0,25	2,5	0,0647	293	1	3,2E-05	0,012	0,002701	0,086
Derrames y fugas	5,20E-07	secundario	0,5	2,5	0,0647	293	1	1,6E-05	0,012	0,00135	0,069

Tabla 4.27. Cálculos para la clasificación de zonas (tanque con extracción)

CASO 3:

Ahora la atmósfera explosiva está confinada en el interior del tanque cerrado y sólo hay un escape secundario en las válvulas, proporcionando un volumen despreciable. No obstante, como precaución, se clasifica toda la sala como zona 2 y se deja una zona separada físicamente mediante tabiques para poder instalar la instrumentación de control en una zona no clasificada. Si esta zona tiene aberturas de comunicación con la sala de operación, deberá garantizarse que la atmósfera de la sala no puede entrar a la zona de instrumentación, lo que puede lograrse, por ejemplo, mediante ventilación adecuada.

NOTA: el interior del recipiente puede ser incluso zona no clasificada si no hay aire o no hay oxígeno suficiente para formar atmósfera explosiva.

j) Clasificación del lugar peligroso

CASO 1

ZONA 0: 2,5 m alrededor de la superficie del líquido en el tanque. A 1m de altura sobre el suelo, se extenderá otros 2,5 m más en horizontal, debido a la mayor densidad de los vapores respecto del aire.

ZONA 1: El resto de la sala.

ZONA 2: No hay.

NOTA: Esta situación no se debe aceptar en una buena práctica industrial, debido a la extensión de la zona 0 por fuera del tanque, en lugares donde puede haber equipos de potencia y tránsito de personal.

CASO 2

ZONA 0: 0,8 m alrededor de la superficie del líquido en el tanque.

ZONA 1: 0,8 m alrededor de la zona 0.

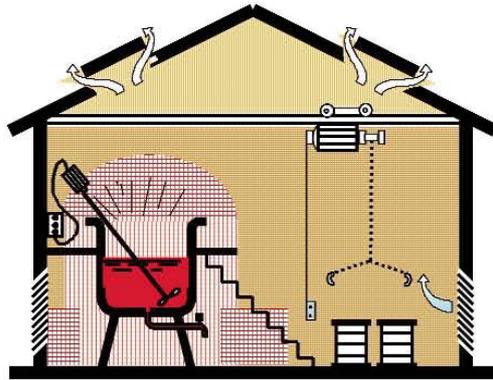
ZONA 2: El resto de la sala.

CASO 3

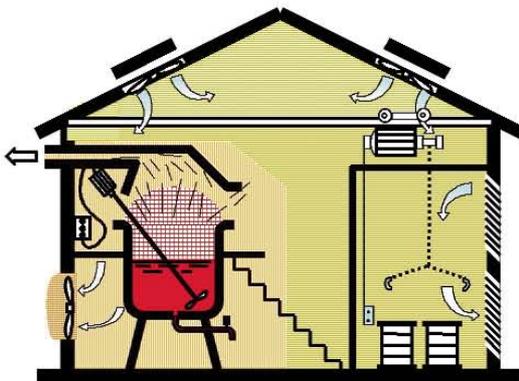
ZONA 0: El interior del tanque.

ZONA 1: No hay

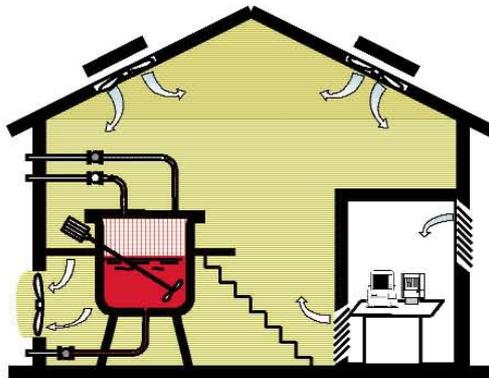
ZONA 2: El resto de la sala hasta los tabiques.



CASO 1



CASO 2



CASO 3



Figura 4.14. Esquema de clasificación de zonas (tanque)

5. Procedimiento para la clasificación de zonas 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 [21]. 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.

5.1. Definición de las zonas

Debido a que aún pueden encontrarse algunas instalaciones clasificadas conforme a códigos antiguos ya derogados, debe comenzarse con una 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 [9]) 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 el capítulo 2 de este manual.

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 [2], en el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión [9] y en las normas de origen CEN [15], [19], [21] 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.

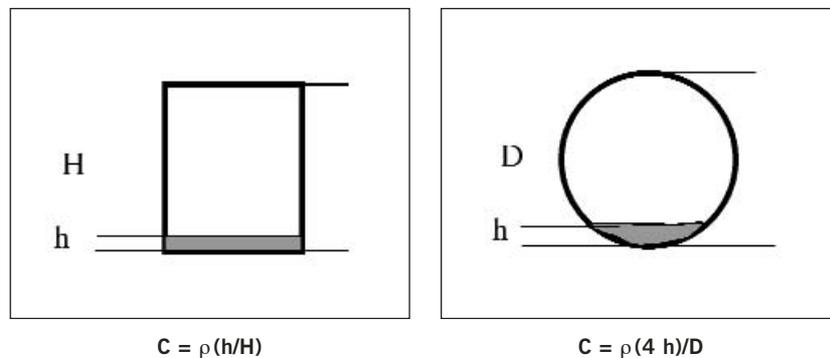
La regla general será, por consiguiente, considerar las capas de polvo como fuentes de escape. Y si existieran cantidades de polvo permanentemente en cantidad suficiente para generar atmósfera explosiva, podrían llegar a considerarse como fuentes de escape de grado continuo. En el apartado 5.3 se analiza la influencia de las capas de polvo.

Debe tenerse presente 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 5.1, 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 [29].

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/m^3 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.



C = concentración de polvo (g/m^3)
 ρ = densidad en masa del polvo (kg/m^3)
 h = altura de la capa de polvo (mm)
 D = diámetro de la conducción (m)
 H = altura de un recinto cúbico (m)

Figura 5.1. Dimensiones de la capa de polvo depositado

Finamente, 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 períodos, resultando en una cantidad no despreciable de producto.

5.2. Clasificación formal

5.2.1. 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:

1. Eliminar la posibilidad de una mezcla explosiva de polvo/aire y capas de polvo combustible
2. 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.

5.2.2. Principios de la clasificación de las áreas de riesgo en zonas

Se consideran áreas de riesgo aquéllas 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.

5.3. 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 5.1. 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 5.1. Dispersión de capas de polvo no despreciables pero de corta duración

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 5.2.

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

Tabla 5.2. Dispersión de capas de polvo no despreciables y persistentes

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 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.

5.4. 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 extiende 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.

5.4.1. 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 periodos 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 antiexplosión 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.

5.5. Ejemplos prácticos

Como ejemplos de aplicación del procedimiento de clasificación de zonas se han seleccionado cinco casos de instalaciones características, que se analizan a continuación.

5.5.1. Horno de pan

a) Identificación de los emplazamientos

La instalación destinada a la fabricación de pan a partir de las harinas consiste básicamente en dos emplazamientos: una zona de almacenamiento de harinas, consistente en 4 silos cilíndricos metálicos de 100 t, desde donde la harina se transporta neumáticamente hasta la zona de dosificación y amasado, donde hay 3 cubas de amasado o mezcladoras, en las que se añaden los diferentes ingredientes, incluyendo el agua; la masa ya formada se lleva hasta las máquinas de conformado de las barras, que son de diseño abierto. Una vez formadas las barras, se llevan hasta los 3 hornos de cocción.

b) Identificación de las sustancias inflamables

Las características del producto principal (harina de trigo) y de los aditivos (mejorantes, aromas) implican la posible formación de atmósferas explosivas en cantidades suficientes, por lo que es necesaria la clasificación de zonas en los dos emplazamientos descritos (silos de almacenamiento y dosificación y amasado).

Deberán determinarse los parámetros de explosividad que no sean conocidos para la granulometría y humedad del producto procesado.

Análisis del emplazamiento 1: Silos de harina

Los silos se encuentran en el interior del edificio, separados del resto de la fábrica mediante un tabique. La carga es neumática desde el exterior y disponen de diferentes compuertas o registros de inspección, así como mangas descompresoras en la zona superior para compensación de presión durante la carga y descarga. Están dotados en la parte superior de venteos contra explosión que se canalizan verticalmente al exterior mediante conductos.

c) Identificación de las fuentes de escape

Existe polvo en el interior de los equipos de proceso. Además hay escapes en las mangas de despresurización, en los registros y venteos.

d) Grado de escape

Grado continuo:

- El interior de las tuberías de transporte (no producen fuentes de escapes exteriores por ir soldadas y embriadas mediante tornillos en sus emboquilladuras).
- El interior de los silos.
- El interior de las mangas de despresurización

Grado primario:

- A través de las mangas de despresurización salen de vez en cuando muy pequeñas cantidades de polvo.

Grado secundario:

- Los registros de inspección laterales de los silos, que se abren muy infrecuentemente.

- El interior de los conductos de venteo (los conductos están atornillados a los marcos de los venteos, impidiendo en ese punto fugas, por lo que la fuente de escape se traslada por el interior de los conductos hasta la boca exterior de los mismos).

e) Influencia de las capas de polvo

Se pueden esperar pequeñas acumulaciones de polvo alrededor de las mangas de despresurización en la parte superior de los silos, así como en la proximidad de los registros para inspección.

Origen de las capas: de fuentes primarias y secundarias.

Perturbaciones: infrecuentes (no entran personas ni máquinas de forma habitual).

Retirada o limpieza: una vez por semana.

f) Determinación del tipo de zona peligrosa

Las fuentes de escape de grado continuo originan zona 20, los escapes de grado primario zona 21 y los escapes de grado secundario zona 22.

g) Estimación de la extensión de la zona

Según se detalla en 5.4, en general, se tomará normalmente una distancia de 1 m alrededor de la fuente de escape y hasta el suelo o superficie sólida. La presencia de polvo depositado en forma de capas lleva a definir la extensión de la zona clasificada hasta los límites que se extienda la capa de polvo.

h) Clasificación del lugar peligroso

ZONA 20: El interior de las tuberías de transporte, el interior de los silos y el interior de las mangas de despresurización.

ZONA 21: 1 m alrededor y por encima de las mangas de despresurización. Si la extensión de la zona quedara por fuera de la superficie superior del silo, la zona 21 sobresaldría alrededor de la pared del silo, llegando hasta el nivel del suelo.

ZONA 22: 1 m alrededor y por encima de la tubería de salida del venteo, en el exterior, bajando hasta el nivel horizontal exterior.

Debido a que el mantenimiento y limpieza son insuficientes (se forman capas de polvo en el suelo y también sobre la superficie superior de los silos) y la dispersión de la capa de polvo se ha considerado improbable, al aplicar la tabla 5.2, se extenderá la zona 22 por todo el interior del emplazamiento (hasta las paredes del recinto).

Si la limpieza fuera adecuada, la zona 22 interior se reduciría a 1 m alrededor de los registros de inspección, hasta el nivel del suelo.

Análisis del emplazamiento 1: Dosificación y amasado

La harina llega mediante transporte neumático hasta las cubas de amasado, donde posteriormente se añaden las restantes materias primas y aditivos, así como el agua. A partir de ese momento la masa formada ya no es pulverulenta y no debería generar polvo, pero algunos sistemas de conformado de masa emplean cantidades adicionales de harina para la manipulación y el conformado de las barras. En este caso, vuelve a aparecer el polvo y si las máquinas son de tipo abierto, la extensión de las zonas puede ser importante.

c) Identificación de las fuentes de escape

Existe polvo en el interior de los equipos de proceso. Hay escapes en los equipos donde se adiciona harina, incluyendo el amasado manual.

d) Grado de escape

Grado continuo:

- El interior de las tuberías de transporte (no producen fuentes de escapes exteriores por ir soldadas y embriadas mediante tornillos en sus emboquilladuras).
- El interior de las cubas dosificadoras de amasado.
- El interior de las máquinas de conformado (sistema de trabajo basado en dejar caer harina sobre los trozos precortados, para su cocción).

Grado primario:

- En la descarga de la harina sobre las dosificadoras (abiertas)
- Las máquinas de conformado dejan salir polvo hacia el exterior
- La manipulación de aditivos y los pequeños amasados a mano suponen escapes de grado primario.

Grado secundario:

- Los ingredientes minoritarios y aditivos se guardan en sacos, que pueden originar pequeñas fugas poco frecuentes.
- La puerta de comunicación con la zona de silos aporta pequeñas y ocasionales cantidades de polvo.

e) Influencia de las capas de polvo

Se pueden esperar pequeñas acumulaciones de polvo alrededor de las cubas dosificadoras, adición de componentes y máquinas de conformado con adición de harina.

Origen de las capas: de fuentes primarias y secundarias.

Perturbaciones: frecuentes (zona de trabajo de personal y movimiento de cubas)

Retirada o limpieza: una vez al día.

f) Determinación del tipo de zona peligrosa

Las fuentes de escape de grado continuo originan zona 20, los escapes de grado primario zona 21 y los escapes de grado secundario zona 22.

g) Estimación de la extensión de la zona

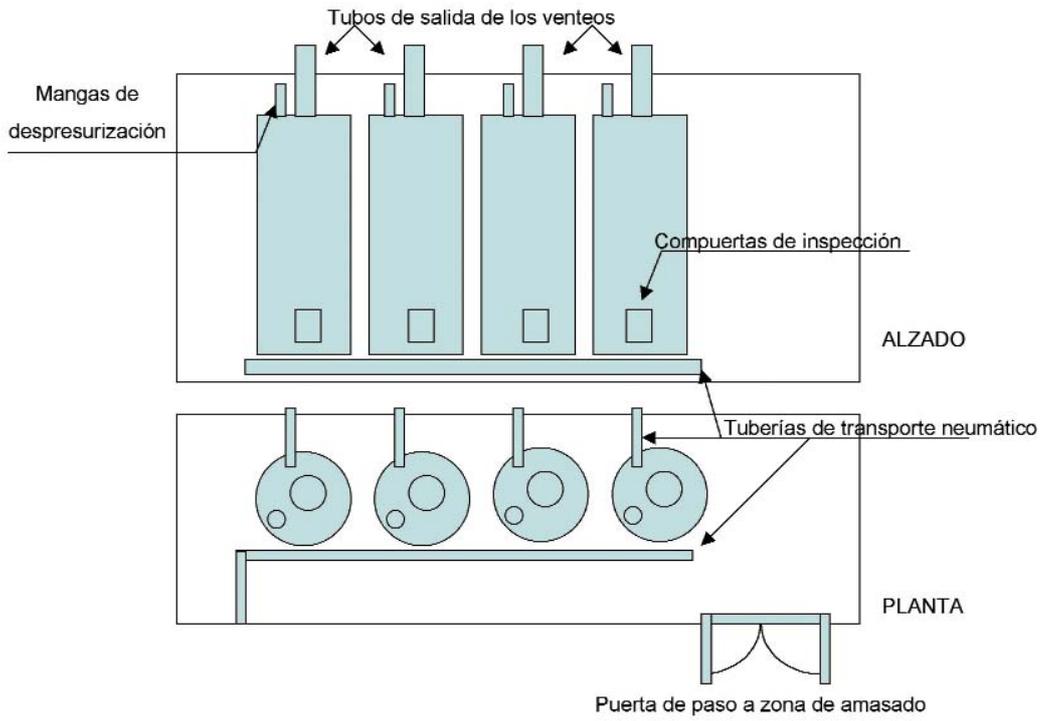
Según se detalla en 5.4, en general, se tomará normalmente una distancia de 1 m alrededor de la fuente de escape y hasta el suelo o superficie sólida. La presencia de polvo depositado en forma de capas lleva a definir la extensión de la zona clasificada hasta los límites que se extienda la capa de polvo.

h) Clasificación del lugar peligroso

ZONA 20: El interior de las tuberías de transporte, el interior de las cubas y el interior de las máquinas de conformado.

ZONA 21: La zona de las dosificadoras y 3 m alrededor de ellas debido al continuo trasvase de producto, que origina alrededor de las cubas una capa de polvo notable. También 1 m alrededor de las máquinas de conformado. Toda la zona de amasado manual, hasta 1 m alrededor de la mesa de amasado.

ZONA 22: La zona de almacenamiento de ingredientes minoritarios y aditivos. La puerta de comunicación con silos y 1 m a su alrededor. 1 m alrededor de la zona 21 de las mezcladoras. 1 m alrededor de las conformadoras. En principio se considera que la limpieza establecida es suficiente para evitar la aparición de polvo depositado en el suelo en el resto del espacio. En caso de observar capa de polvo, por falta de limpieza suficiente en zona con tránsito de personal, al aplicar la tabla 5.2, se extenderá la zona 22 por todo el emplazamiento (en donde se puedan ver pisadas en el suelo) hasta los hornos.



Silos de almacenamiento

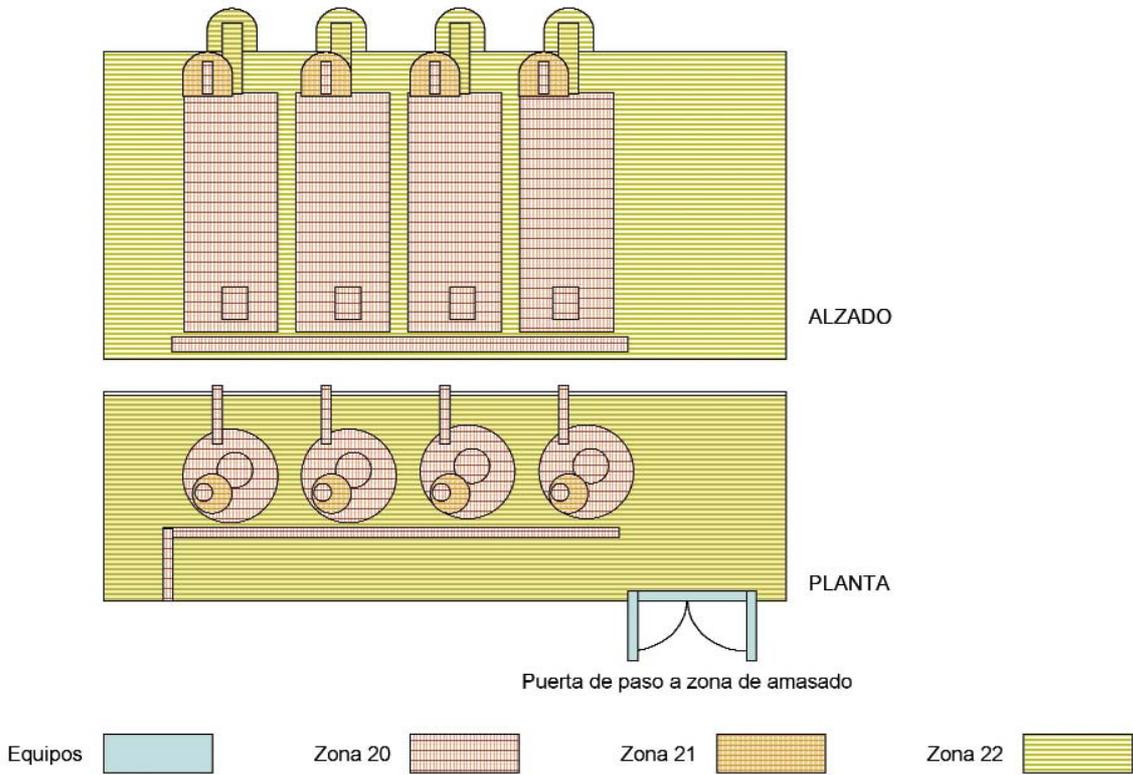
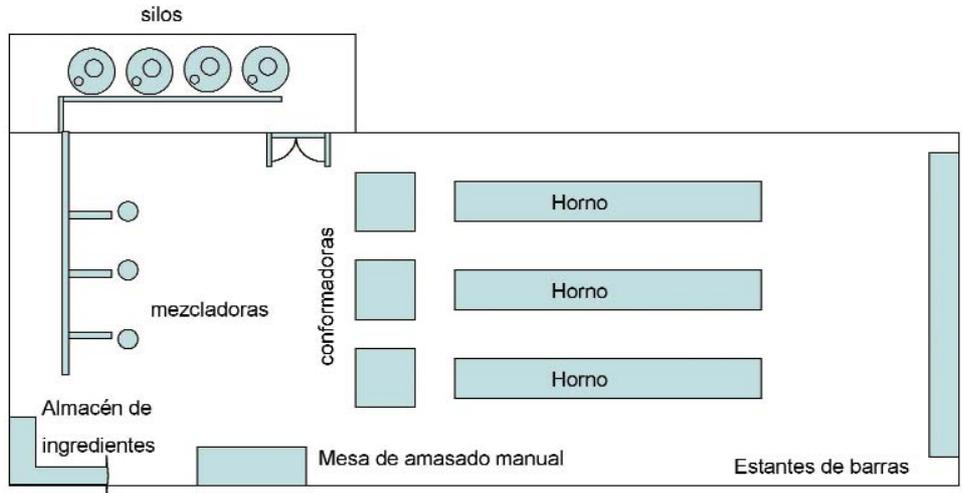


Figura 5.2. Esquema de clasificación de zonas (silos)



Dosificación y amasado

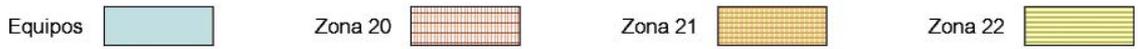
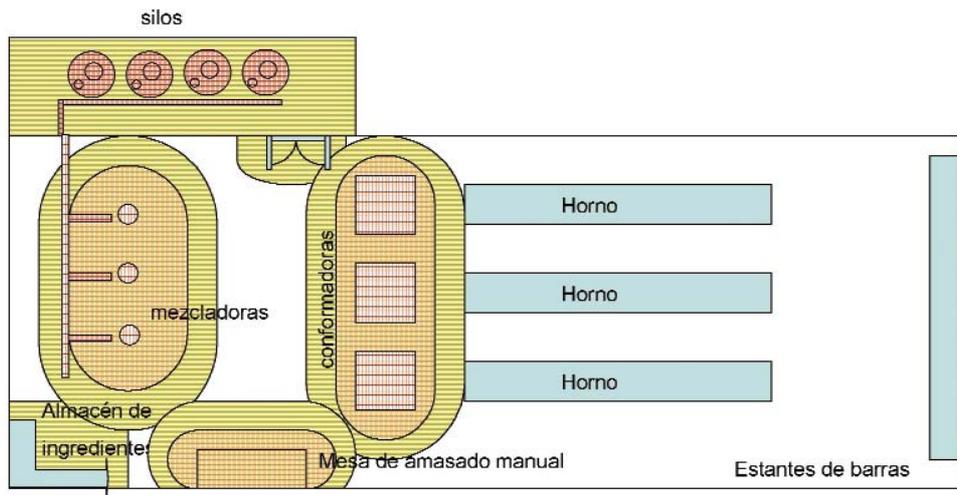


Figura 5.3. Esquema de clasificación de zonas (amasado)

5.5.2. Taller de carpintería

a) Identificación de los emplazamientos

En una nave de $30 \times 14 = 420 \text{ m}^2$ se proyecta un taller de carpintería, en el que se destina uno de sus extremos de $8,00 \times 7,75 = 62,00 \text{ m}^2$ a almacén de maderas y tablones, una zona adyacente de $8,00 \times 6,25 = 50,00 \text{ m}^2$ a oficinas y servicios y el resto $22,00 \times 14,00 = 308,00 \text{ m}^2$ a taller, propiamente dicho.

En el taller se instalan diversas máquinas: sierras de cinta, sierras circulares, tronzadora, cepilladora, ingletadora, etc. Todas las máquinas que arrancan viruta o producen polvo están dotadas de bocas de aspiración locales. Hay también aspiración en un banco de trabajo para máquinas portátiles. Los conductos de aspiración van a una conducción general que lleva hasta un ciclón situado en el exterior, con salida del aire hacia el exterior. El ventilador centrífugo del sistema de aspiración está instalado en una pequeña dependencia en el exterior. El ciclón está dotado de paneles de venteo en su frontal. La descarga del ciclón se realiza sobre sacos. Los sacos ya llenos, se cierran y se dejan hasta su salida en un rincón del taller.

En el taller hay también una zona de trabajo para diversas operaciones (montajes, encolado) con muy escasa producción de polvo, por lo que no tiene aspiración.

b) Identificación de las sustancias inflamables

El serrín producido en la mecanización de los diversos tipos de madera es material inflamable. Deberán determinarse los parámetros de explosividad que no sean conocidos para la granulometría y humedad del producto procesado.

c) Identificación de las fuentes de escape

Existe polvo en el interior de las tuberías de aspiración y del ciclón. Hay escapes de polvo en las diferentes máquinas de procesado de la madera, en el venteo del ciclón y en la descarga de éste a sacos.

d) Grado de escape

Grado continuo:

- El interior del ciclón.

Grado primario:

- Todas las máquinas con importante arranque de serrín (sierra circular, cepillos, lijadoras)
- El interior de las tuberías de aspiración.

Grado secundario:

- El resto de las máquinas fijas.
- Los trabajos realizados en el banco con herramientas móviles o portátiles.
- La conducción de salida desde el ciclón.
- Los venteos del ciclón.
- La unión del saco de serrín a la descarga del ciclón.

e) Influencia de las capas de polvo

Se pueden esperar pequeñas acumulaciones de polvo alrededor de las máquinas, que serán más intensas en las de mayor producción. También alrededor de la descarga del ciclón y en la zona donde se dejan los sacos hasta su expedición.

Origen de las capas: de fuentes primarias y secundarias.

Perturbaciones: frecuentes (zona de trabajo o de tránsito).

Retirada o limpieza: varias veces por relevo en las máquinas y una vez al día en el resto.

f) Determinación del tipo de zona peligrosa

Las fuentes de escape de grado continuo originan zona 20, los escapes de grado primario zona 21 y los escapes de grado secundario zona 22.

g) Estimación de la extensión de la zona

Según se detalla en 5.4, en general, se tomará normalmente una distancia de 1 m alrededor de la fuente de escape y hasta el suelo o superficie sólida. La presencia de polvo depositado en forma de capas lleva a definir la extensión de la zona clasificada hasta los límites que se extienda la capa de polvo.

h) Clasificación del lugar peligroso

ZONA 20: El interior del ciclón y su descarga al saco acoplado.

ZONA 21: El interior de los conductos de aspiración

ZONA 22: 1 m alrededor de los bancos de trabajo de las máquinas fijas, incluyendo el banco con herramientas móviles, en todas las direcciones.

El interior del conducto de salida del ciclón, hasta su salida al exterior y 1 m alrededor de dicha salida, en todas direcciones y hasta llegar al suelo.

1 m alrededor de los venteos del ciclón.

1 m alrededor del saco donde descarga el ciclón.

NOTA 1: Se supone una buena eficacia de la extracción y una buena limpieza (varias veces por turno de trabajo), lo que evita la presencia de capas de polvo, incluso en las máquinas de importante arranque de serrín. Si no fuera así, las zonas 22 alrededor de las máquinas pasarían a zona 21 y la zona 22 se extendería por todo el taller.

NOTA 2: Se admite que el conducto de salida del ciclón no origina escapes en la caseta del ventilador y ésta se limpia con cierta frecuencia, por lo que no existe polvo. Si no fuera así, se clasificaría como zona 22 (escape secundario).

NOTA 3: En el almacén y en la zona donde se dejan las maderas ya troceadas o trabajadas se considera que la limpieza evita la acumulación de capas de polvo.

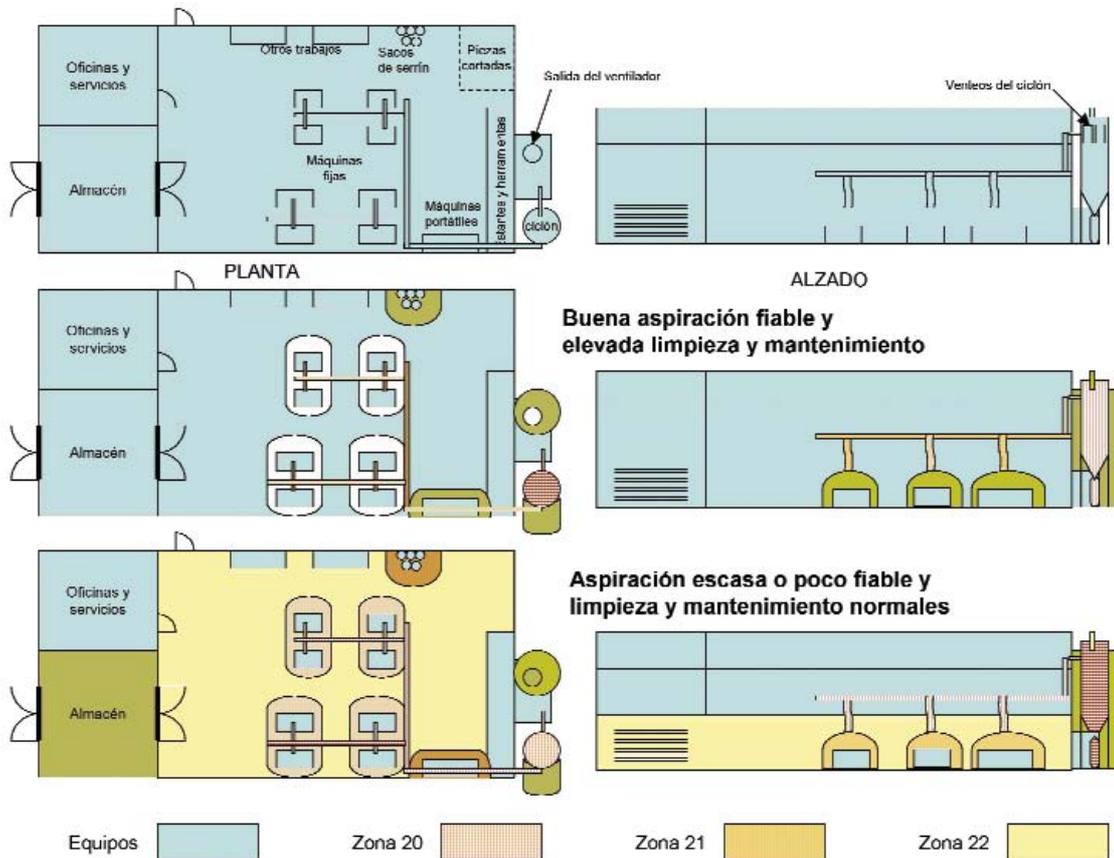


Figura 5.4. Esquema de clasificación de zonas (carpintería)

5.5.3. Pulverización de carbón

a) Identificación de los emplazamientos

El carbón, con un tamaño medio de unos 20 mm, llega mediante cinta transportadora a una instalación cerrada de pulverización, donde cae en una tolva de dosificación. Aunque el tamaño medio es relativamente grande, siempre hay una cierta fracción de tamaños finos, por debajo de 1 mm. La nube de polvo generada es aquí poco intensa.

La tolva dosificadora, a través de una válvula rotativa, alimenta un molino de martillos para la trituración del carbón, donde se reduce su tamaño hasta obtener un 90% menor de 0,8 mm. La salida del molino descarga a una tolva de forma continua y a través de una válvula rotativa y una unión flexible, sobre un recipiente de descarga que puede desplazarse.

La tolva de descarga del molino está dotada de un filtro de mangas para recolectar los finos. El filtro incorpora paneles de venteo de explosión.

b) Identificación de las sustancias inflamables

Los distintos tipos de carbones originan polvo inflamable. Deberán determinarse los parámetros de explosividad que no sean conocidos para la granulometría y humedad del producto procesado.

c) Identificación de las fuentes de escape

Existe polvo en el interior de los equipos de proceso. Se producen escapes en la cinta, tolva, aberturas o registros, acoplamientos flexibles y venteos.

d) Grado de escape

Grado continuo:

- El interior del molino.
- El interior (lado sucio) del filtro de mangas.
- El interior del recipiente de descarga del molino.

Grado primario:

- La descarga de la cinta transportadora.
- El interior de la tolva de dosificación.

Grado secundario:

- La compuerta de inspección del molino, que se abre poco frecuentemente para inspección y sustitución de martillos.
- Las aberturas de la parte superior del filtro de mangas, empleadas para sustitución de las mangas.
- El acoplamiento flexible entre la válvula rotativa de la tolva de descarga y el recipiente, que deja escapar polvo
- Los venteos del filtro.

e) Influencia de las capas de polvo

Se observan pequeñas acumulaciones de polvo alrededor de las tolvas y recipiente de descarga.

Origen de las capas: de fuentes primarias y secundarias.

Perturbaciones: frecuentes (zona de trabajo o de tránsito).

Retirada o limpieza: una vez al día.

f) Determinación del tipo de zona peligrosa

Las fuentes de escape de grado continuo originan zona 20, los escapes de grado primario zona 21 y los escapes de grado secundario zona 22.

g) Estimación de la extensión de la zona

La extensión típica de las zonas, según se detalla en 5.4, es 1m alrededor de la fuente de escape. En el caso de la alimentación, se toma 0,5 m por ser la granulometría grande, con sólo una fracción reducida por deba-

jo de 1 mm. Por el contrario, a la salida del molino, el polvo es mucho más fino y el escape en la descarga sobre el recipiente, impulsada por la válvula rotativa puede suponerse con un alcance mayor, por lo que se toma una distancia de 2 m.

La presencia de polvo depositado en forma de capas lleva a definir la extensión de la zona clasificada hasta los límites que se extienda la capa de polvo.

h) Clasificación del lugar peligroso

ZONA 20: El interior del molino y del filtro en la parte anterior de las mangas.

El interior de la tolva de descarga.

El interior del recipiente de descarga.

ZONA 21: interior de la tolva de dosificación.

0,5 m alrededor del punto de descarga de la cinta transportadora (se toma una distancia menor de la habitual por ser el tamaño de partículas mayor y formarse nubes menos intensas).

ZONA 22: El resto de la cinta transportadora que entra en el edificio de trituración.

1 m alrededor de la zona 21 producida por la descarga de la cinta.

1 m alrededor de la compuerta de inspección del molino, llegando hasta el suelo.

1 m alrededor de las aberturas del filtro, incluidos los venteos, llegando hasta el suelo.

2 m alrededor del acoplamiento del recipiente de descarga.

El lado limpio del filtro.

1 m alrededor de la salida del filtro.

NOTA 1: Se supone una limpieza suficiente (una vez por turno de trabajo), de forma que no se producen grandes acumulaciones de polvo. Si la limpieza no fuera suficientemente buena en su planificación o en su ejecución, es decir, si se observa polvo depositado (se marcan las huellas al caminar) entonces se clasificará todo el emplazamiento como zona 22.

NOTA 2: Si se garantiza la hermeticidad de las mangas en el filtro y se asegura mediante procedimiento operativo la parada inmediata en caso de rotura o fisura en una manga, la zona limpia del filtro podrá considerarse libre de polvo y, por tanto, no clasificada.

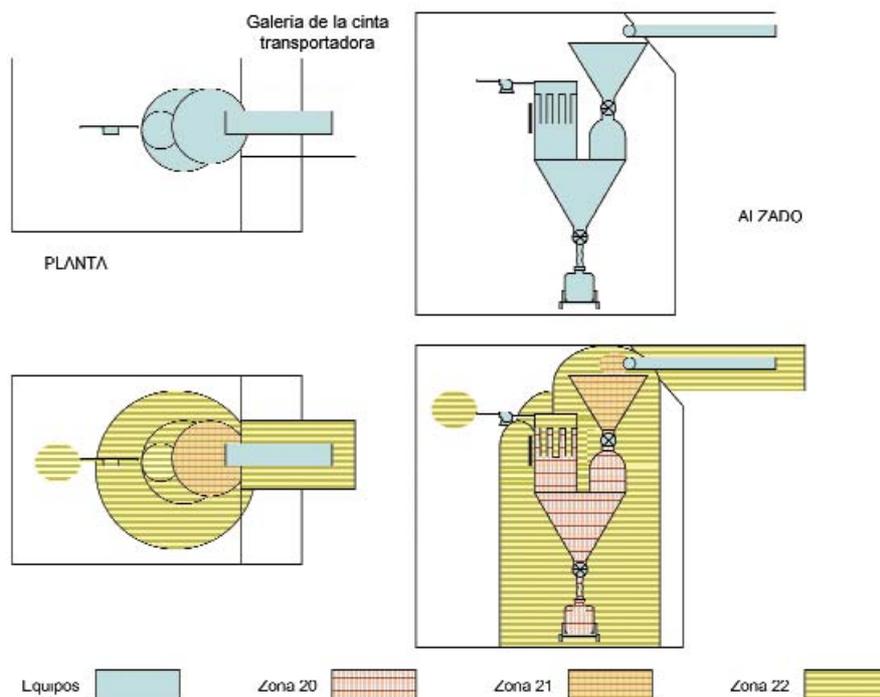


Figura 5.5. Esquema de clasificación de zonas (molino)

5.5.4. Instalación agroalimentaria para fabricación de piensos

a) Identificación de los emplazamientos

Las materias primas en grano se descargan desde camiones a una tolva primaria, de donde se extraen mediante un transportador de cadenas hasta un elevador de cangilones. El elevador lleva el grano hasta la cota superior de un silo, en el que descarga mediante cinta transportadora. En una planta inferior hay un emplazamiento donde el grano se muele en un molino, que descarga sobre una ensacadora donde sale el grano molido en sacos, que se empaquetan en cajas.

El transportador de cadenas genera menos polvo que el elevador de cangilones y está cerrado, con registros en sus extremos. La cinta transportadora de descarga al silo está abierta, generando polvo en suspensión en sus puntos de carga y descarga.

El grano genera polvo durante su procesado y en la instalación no hay aspiración, por lo que se observan capas de polvo en distintos emplazamientos. Los equipos (transportador, elevador, silo, molino) tienen compuertas de inspección, venteos y bocas de hombre que se abren sólo en rara ocasión y durante períodos de corta duración, a excepción del pié del elevador, que se abre ocasionalmente durante el funcionamiento normal debido a atascos de material.

b) Identificación de las sustancias inflamables

El polvo de las materias primas y productos de las industrias agroalimentarias es inflamable. Deberán determinarse los parámetros de explosividad que no sean conocidos para la granulometría y humedad de los productos procesados.

c) Identificación de las fuentes de escape

Existe polvo en el interior de los equipos de proceso. Se producen escapes en el transporte y en las diversas descargas, así como en registros y venteos.

d) Grado de escape

Grado continuo:

- El interior de la tolva de descarga de camiones.
- El interior del elevador de cangilones.
- El interior del silo.
- El interior del molino.

Grado primario:

- La descarga de camiones.
- El transporte del grano en el transportador de cadenas.
- La compuerta de inspección del pié del elevador.
- La descarga del elevador sobre la cinta.
- La descarga de la cinta transportadora al silo.
- La descarga del molino a la ensacadora y el punto de ensacado.

Grado secundario:

- La descarga de la tolva al transportador de cadenas.
- Los registros en los extremos del transportador.
- Los registros del elevador de cangilones.
- Las bocas de hombre y venteos del silo.
- La compuerta de inspección del molino.

e) Influencia de las capas de polvo

Se observan acumulaciones de polvo en la zona de descarga de camiones, junto al silo y en toda la sala de molienda y ensacado.

Origen de las capas: de fuentes primarias y secundarias.

Perturbaciones: frecuentes (zona de trabajo o de tránsito).

Retirada o limpieza: una vez al día.

f) Determinación del tipo de zona peligrosa

Las fuentes de escape de grado continuo originan zona 20, los escapes de grado primario zona 21 y los escapes de grado secundario zona 22.

g) Estimación de la extensión de la zona

Según se detalla en 5.4, en general, se tomará normalmente una distancia de 1 m alrededor de la fuente de escape y hasta el suelo o superficie sólida. La presencia de polvo depositado en forma de capas lleva a definir la extensión de la zona clasificada hasta los límites que se extienda la capa de polvo.

h) Clasificación del lugar peligroso

ZONA 20: El interior de la tolva de descarga.

El interior del elevador de cangilones.

El interior del silo.

El interior del molino.

ZONA 21: 1 m alrededor de la tolva de descarga, con una altura de 2 m en la zona de descarga del camión.

El interior del transportador de cadenas.

1 m alrededor de la puerta de inspección del pié del elevador.

1 m alrededor de los puntos de carga y descarga de la cinta transportadora. La zona de carga sobre la cinta viene delimitada en su parte inferior por las chapas metálicas con forma de tolva donde descarga el elevador.

Toda la zona de ensacado, extendiéndose 1 m alrededor y por encima de la línea de ensacado.

ZONA 22: Alrededor de la zona 21 en la descarga de camiones, extendiéndose a todo el emplazamiento

1 m alrededor del punto de descarga de la tolva sobre el transportador de cadenas.

1 m alrededor de la zona 21 producida por la puerta de inspección del pié del elevador.

1 m alrededor del elevador, de la cinta transportadora, de las zonas 21 de carga y descarga de la cinta y del silo, lo que da lugar a una zona 22 alrededor de todo el conjunto.

1 m alrededor de la compuerta de inspección del molino, llegando hasta el suelo.

Alrededor de la zona 21 en el ensacado, extendiéndose por todo el emplazamiento por la presencia de capas de polvo apreciables, aunque de espesor controlado por la limpieza.

NOTA 1: En caso de existir captación de polvo por aspiración, la extensión de las zonas será menor.

NOTA 2: Se supone una limpieza suficiente (una vez al día), de forma que se producen acumulaciones de polvo controladas. Si la limpieza no fuera suficiente, la extensión de las zonas sería mayor y en la zona de ensacado podría llegar a ser zona 21 prácticamente todo el emplazamiento.

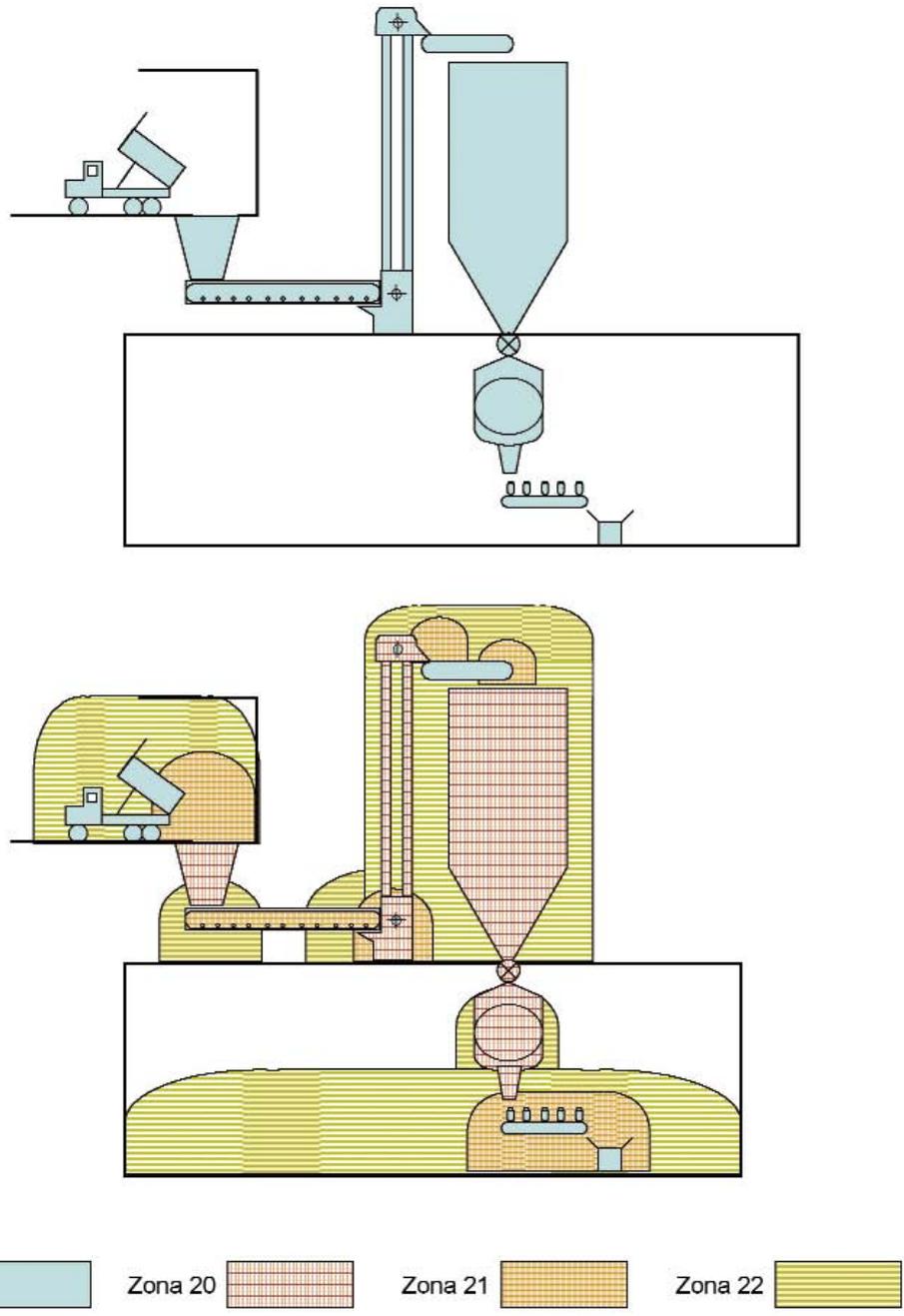


Figura 5.6. Esquema de clasificación de zonas (piensos)

5.5.5. Secado y envasado de producto químico

a) Identificación de los emplazamientos

Un producto de granulometría fina y elevada sensibilidad a la ignición y características de explosividad elevadas se seca en un secador rotativo. El proceso se realiza mediante transporte neumático. El polvo ya seco, se decanta en un ciclón, llevándose la salida de aire a un filtro de mangas, con descarga del aire limpio al exterior. La salida de producto del ciclón se descarga mediante válvula rotativa a una tamizadora, de donde el producto se lleva a envasado en bidones.

La instalación está realizada en varios pisos sobre una estructura metálica, sin paredes laterales, a excepción de la zona de envasado en la planta inferior. El piso entre plantas es continuo, por lo que las zonas se extenderán en vertical hacia abajo hasta encontrar el suelo de la planta correspondiente.

Los equipos de proceso tienen registros que se abren infrecuentemente y en períodos de corta duración (para inspección, sustitución de elementos, etc.).

b) Identificación de las sustancias inflamables

Deberán determinarse los parámetros de explosividad que no sean conocidos para la granulometría y humedad del producto procesado.

c) Identificación de las fuentes de escape

Existe polvo en el interior de los equipos de proceso. Hay escapes en la descarga de la tamizadora y en registros y compuertas.

d) Grado de escape

Grado continuo:

- El interior del secador.
- El interior de las tuberías de transporte.
- El interior del ciclón.
- El interior del filtro.
- El interior de la tamizadora.

Grado primario:

- La descarga de la tamizadora al envasado en bidones.

Grado secundario:

- Los registros en el secador.
- Las bocas de hombre del ciclón.
- Las puertas de acceso a las mangas y los venteos del silo.
- Las compuertas de inspección de la tamizadora.

e) Influencia de las capas de polvo

Dada la inflamabilidad del producto, se establecen procedimientos de limpieza frecuentes que impiden la acumulación de polvo.

f) Determinación del tipo de zona peligrosa

Las fuentes de escape de grado continuo originan zona 20, los escapes de grado primario zona 21 y los escapes de grado secundario zona 22.

g) Estimación de la extensión de la zona

Debido a las características de elevada inflamabilidad y explosividad del producto y a que el polvo es fino y está seco, se toman distancias de 2 o 3 metros para la extensión de las zonas alrededor de la fuente de escape.

pe y hasta el suelo o superficie sólida. La presencia de polvo depositado en forma de capas lleva a definir la extensión de la zona clasificada hasta los límites que se extienda la capa de polvo.

h) Clasificación del lugar peligroso

ZONA 20: El interior del secador.

El interior de las tuberías de transporte.

El interior del ciclón.

El lado sucio del filtro.

El interior de la tamizadora.

ZONA 21: 3 m en torno al punto de envasado, en el emplazamiento donde se encuentran los bidones antes de cerrarlos.

ZONA 22: El lado limpio del filtro de mangas, incluyendo las conducciones y 2 m alrededor de su salida al exterior. 2 m alrededor del secador, del ciclón, del filtro de mangas y de la tamizadora.

NOTA 1: Si se puede asegurar que el ciclón sólo deja pasar pequeñas cantidades de polvo hacia el filtro, se podrá considerar como zona 21 la parte sucia del filtro.

NOTA 2: El transporte neumático de alta densidad puede garantizar concentraciones de polvo muy elevadas, por encima de la posible concentración máxima explosiva en régimen continuo, pasando sólo por concentraciones explosivas durante las operaciones de arranque y parada. En tal caso se podría considerar zona 21.

NOTA 3: Las aperturas del secador y del ciclón son muy infrecuentes, apenas se produce polvo (la instalación siempre está parada, según procedimiento operativo) y se limpia inmediatamente, por lo que podría ser innecesario clasificar sus alrededores. Sin embargo y por precaución debido a la inflamabilidad del producto, es recomendable clasificar la zona como 22 para asegurar la ausencia de fuentes de ignición.

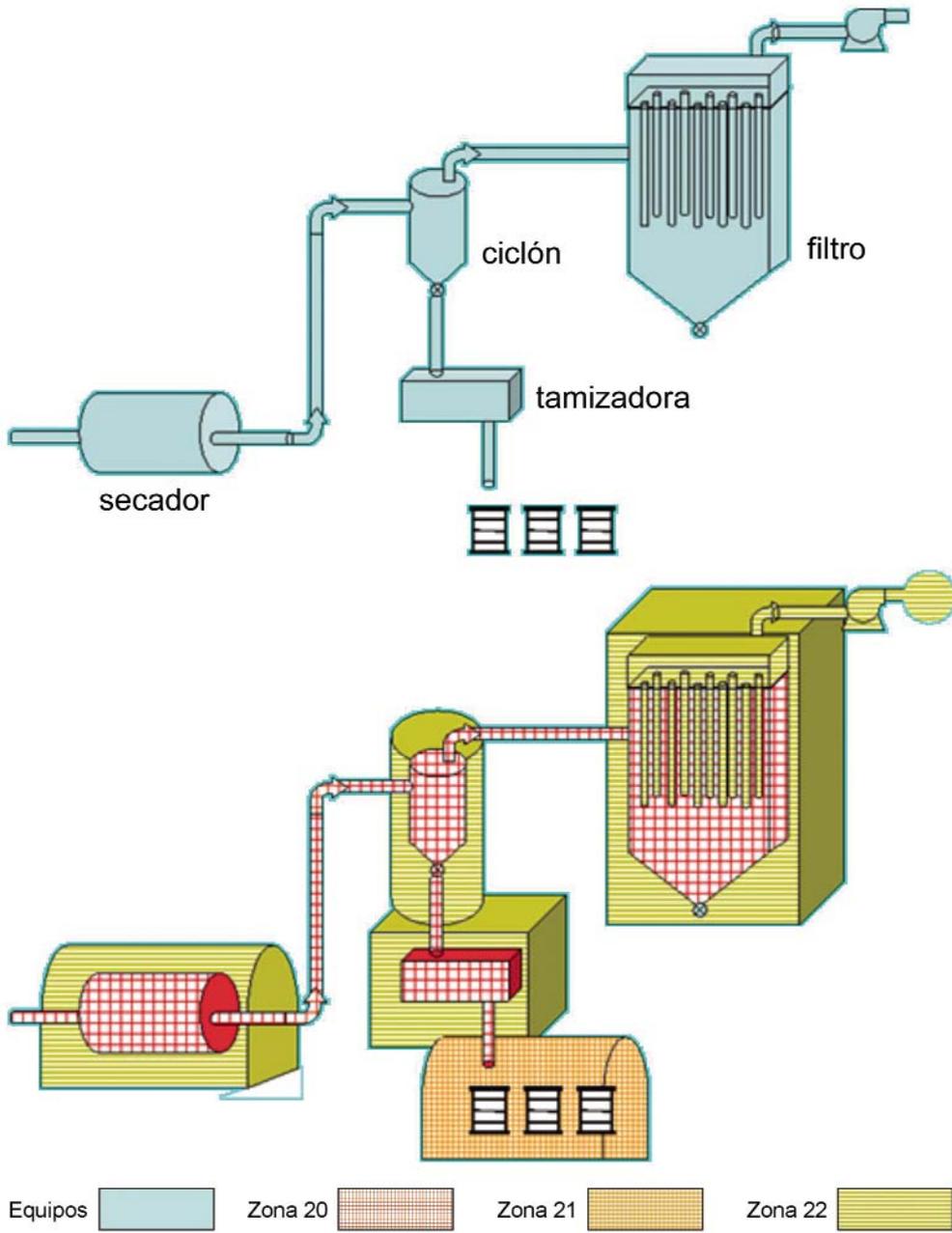


Figura 5.7. Esquema de clasificación de zonas (secador).

Bibliografía

[1] Ministerio de Industria y Energía. Real Decreto 400/1996 (B.O.E. 8/Abril/1996) sobre Aparatos y Sistemas de Protección para uso en Atmósferas Potencialmente Explosivas (Directiva 94/9/CE ATEX 100).

[2] Ministerio de la Presidencia. Real Decreto 681/2003 (B.O.E. 18/Junio/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 (Directiva ATEX 137).

[3] Jefatura del Estado. Ley 31/1995 de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales. B.O.E. núm.: 269-1995. Sección: I.

[4] Ministerio de Ciencia y Tecnología. Real Decreto 842/2002 (B.O.E. 18/Septiembre/2002), por el que se aprueba el Reglamento electrotécnico para baja tensión. Instrucción complementaria ITC-BT-29 referente a las prescripciones particulares para las instalaciones de locales con riesgo de incendio o explosión. B.O.E. núm.: 224-2002.

[5] Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales. Real Decreto 1215/1997 (B.O.E. 7/Agosto/1997) por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo.

[6] Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente. (1995). Acuerdo europeo sobre transporte internacional de mercancías peligrosas por carretera (ADR).

[7] Ministerio de la Presidencia. Real Decreto 363/1995 de 10 de marzo, por el que se aprueba el Reglamento sobre notificación de sustancias nuevas y clasificación, envasado y etiquetado de sustancias peligrosas. B.O.E. núm.: 133-1995. Sección: I.

[8] Ministerio de Industria y Energía. Real Decreto 1523/1999 (B.O.E. 22/Octubre/1999) por el que se modifica el Reglamento de instalaciones petrolíferas aprobado por Real Decreto 2085/1994 de 20 de octubre.

[9] Ministerio de Ciencia y Tecnología. Real Decreto 379/2001 (B.O.E. 10/Mayo/2001) por el que se aprueba el Reglamento de almacenamiento de productos químicos.

[10] Ministerio de Presidencia. Real Decreto 1853/1993 de 22 de octubre por el que se aprueba el Reglamento de instalaciones de gas en locales destinados a usos domésticos, colectivos o comerciales (RIGLO).

[11] Presidencia del Gobierno. Real Decreto 1751/1998 de 31 de julio por el que se aprueba el Reglamento de instalaciones térmicas en los edificios (RITE) y sus Instrucciones Técnicas Complementarias (ITE) y se crea la Comisión Asesora para las instalaciones térmicas en los edificios.

[12] AENOR. NORMAS UNE - Tomos 1 y 2. Equipos y sistemas de protección en atmósferas explosivas. Madrid: AENOR, 2002.

[13] AENOR. Atmósferas explosivas: Riesgos derivados y protección de los trabajadores. Madrid: AENOR, 2003.

[14] COMISIÓN DE LAS COMUNIDADES EUROPEAS. Comunicación de la Comisión relativa a la guía de buenas prácticas de carácter no obligatorio para la aplicación de la Directiva 1999/92/CE del Parlamento Europeo y del Consejo relativa a las disposiciones mínimas para la mejora de la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores expuestos a los riesgos derivados de atmósferas explosivas. COM (2003) 515 final. 2003.

[15] NORMA UNE-EN 1127-1:1997. Atmósferas explosivas. Prevención y protección contra la explosión. Parte 1: Conceptos básicos y metodología.

[16] EU Project No: SMT4-CT97-2169. The RASE Project: Explosive Atmosphere: Risk Assessment of Unit Operations and Equipment. Report: Methodology for the Risk Assessment of Unit Operations and Equipment for Use in Potentially Explosive Atmospheres.

[17] GARCÍA TORRENT, J. Seguridad Industrial en Atmósferas Explosivas. Madrid: Laboratorio Oficial J.M. Madariaga, 2003.

[18] NORMA UNE-EN 13463-1:2003. Equipos no eléctricos destinados a atmósferas potencialmente explosivas. Parte 1: Requisitos y metodología básica.

[19] NORMA UNE-EN 13237:2003. Términos y definiciones para equipos y sistemas de protección destinados a usarse en atmósferas potencialmente explosivas.

[20] Norma UNE-EN 60079-10. (2004). Material eléctrico para atmósferas de gas explosivas. Parte 10: Clasificación de emplazamientos peligrosos. AENOR.

[21] Norma EN 50281-3. (2002). Equipment for use in the presence of combustible dust. Part 3: classification of areas where combustible dust are or may be present. AENOR.

[22] Norma Italiana CEI 31-35 (2001). Costruzioni elettriche per atmosfere potenzialmente esplosive per la presenza di gas. Guida all'applicazione della Norma CEI EN 60079-10 (CEI 31-30) Classificazione dei luoghi pericolosi.

[23] McMILLAN, A. Electrical installations in hazardous areas. Oxford: Butterworth-Heinemann, 1998.

[24] CEN/TC/305/WG 2N 51. (1993). Area classification with respect to gas explosion hazard. Publication of Netherlands Government labour Inspection. First edition.

[25] Norma UNE 20322-86. (1986). Clasificación de emplazamientos con riesgo de explosión debido a la presencia de gases, vapores y nieblas inflamables.

[26] ÁLVAREZ SANTA CRISTINA, I.; ARTEAGA ANSA, L.M.; COLOMO ARENAZA, J.; GALLEGOS VALVERDE, J.M.; GOÑI SÁNCHEZ, J.L. Dossier ventilación.

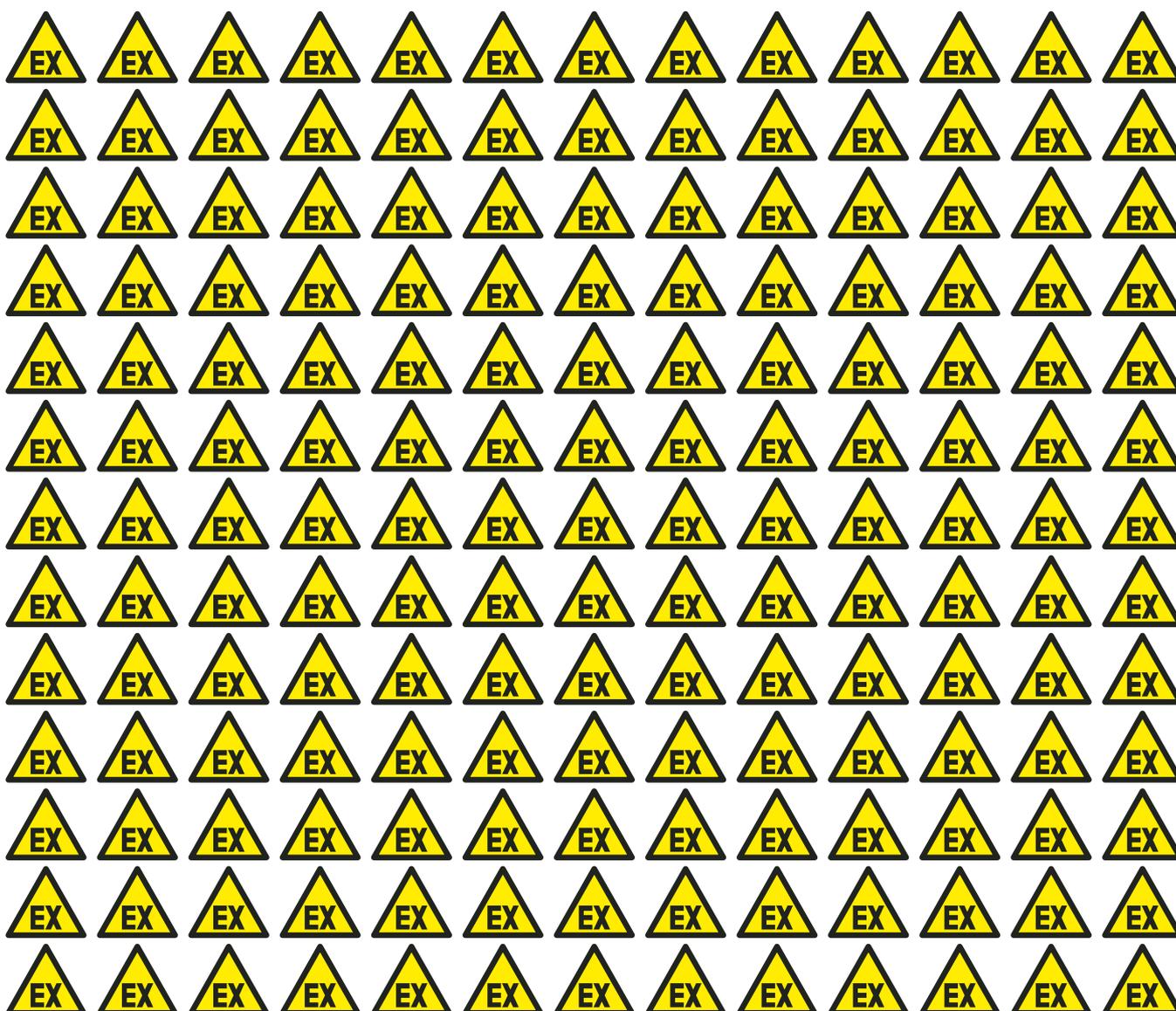
[27] PNE 202004-3. (2002) Material eléctrico para uso en presencia de polvo combustible. Parte 3: Clasificación de los lugares donde hay o puede haber polvos combustibles.

[28] Norma IEC 61241-3. Electrical apparatus for use in the presence of combustible dusts. Part 3: Classification of areas where combustible dusts are or may be present.

[29] ECKHOFF, R.K. (1991). Dust explosions in the process industries. Butterworth-Heinemann. Oxford.

MANUAL PRÀCTICO

Clasificación de zonas en atmósferas explosivas



**COL·LEGI
D'ENGINYERS
TÈCNICS
INDUSTRIALS
DE BARCELONA**

Consell de Cent, 365
08009 Barcelona
Tel.: 934 96 14 20
Fax: 932 15 20 81
cetib@cetib.net
www.cetib.net



Servei de Visat
Serveis Col·legials
Col·legiació

