

Evaluación de los riesgos específicos derivados de las atmósferas explosivas (ATEX)

*Risk assessment in explosive atmospheres
Évaluation des risques en atmosphères explosives*

Redactora:

M^a Carmen Alonso Martín
Doctora en Química

CENTRO NACIONAL DE CONDICIONES
DE TRABAJO

Esta Nota Técnica de Prevención (NTP) tiene por objetivo fundamental el proporcionar a las personas involucradas en las instalaciones con riesgo de generación o presencia de atmósferas explosivas (ATEX) el conocimiento y las herramientas necesarias para realizar la evaluación de riesgos (ER), partiendo de la premisa que es una de las obligaciones legales que dispone el Real Decreto 681/2003, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores expuestos a los riesgos derivados de atmósferas explosivas en el lugar de trabajo. En este sentido, los contenidos de esta NTP deben valorarse bajo una óptica flexible, partiendo del hecho que cada emplazamiento con riesgo ATEX se caracterizará por unas circunstancias concretas que deben tenerse en cuenta.

Las NTP son guías de buenas prácticas. Sus indicaciones no son obligatorias salvo que estén recogidas en una disposición normativa vigente. A efectos de valorar la pertinencia de las recomendaciones contenidas en una NTP concreta es conveniente tener en cuenta su fecha de edición.

1. INTRODUCCIÓN

La explosión es un fenómeno de liberación de energía de forma repentina y violenta, que puede producir daños debidos a: la sobrepresión que se genera, las altas temperaturas alcanzadas (en forma de llamas o radiación térmica), la emisión de agentes químicos peligrosos, el impacto directo de piezas y fragmentos volantes proyectados y/o el derrumbe o abatimiento de estructuras. Los daños producidos por una explosión suelen ser importantes, llegando a ser devastadores o catastróficos en la mayoría de los casos.

El riesgo de formación de una atmósfera explosiva (ATEX) existe en los procesos y procedimientos de trabajo más diversos, por lo que afecta a casi todas las ramas de actividad. El riesgo de explosión puede hacer su aparición no sólo en cualquier empresa en la que se manipulen sustancias explosivas sino también inflamables o combustibles. Entre éstas figuran numerosas materias primas, materias auxiliares, productos intermedios, productos acabados y materias residuales de los procesos de trabajo cotidianos e, incluso, sustancias generadas como consecuencia de algún tipo de disfunción, funcionamiento anormal, almacenamientos prolongados, reacciones de descomposición, etc.

Existe riesgo de generación o presencia de atmósferas potencialmente explosivas en sectores como el sector agrícola (por las características de piensos, fertilizantes, plaguicidas, cereales, aceites de soja, girasol, etc.), el sector alimentación (por la presencia de cereales y derivados, lácticos en polvo, alimentos deshidratados, edulcorantes, especias, etc.), el sector madera (polvo de madera, disolventes, etc.),...

El riesgo de generación de ATEX, al mezclarse con el aire las sustancias inflamables o combustibles, ya sea en forma de gases, vapores, nieblas o polvos, se da en los más diversos y variados procesos, afectando a múltiples actividades relacionadas con la industria (química, farma-

céutica, petroquímica, del plástico, textil, siderúrgica, etc.).

Otros ejemplos de emplazamientos donde existe riesgo de generación o presencia de atmósferas potencialmente explosivas son: imprentas, zonas de pintado, lavanderías y tintorerías, talleres de automoción, estaciones de servicio, instalaciones de generación eléctrica, estaciones de tratamiento de residuos, zonas de producción, procesamiento, tratamiento y manipulación de polvos metálicos o producción y procesamiento de biomasa.

En la tabla 1 se muestra algunos ejemplos de recipientes y equipos con riesgo de ATEX.

	ESTADO DE PRESENTACIÓN DE LAS SUSTANCIAS INFLAMABLES/COMBUSTIBLES	
	GASES, VAPORES Y NIEBLAS	POLVOS
Recipientes y equipos con riesgo de generación o presencia de ATEX	<ul style="list-style-type: none"> • Depósitos • Bombas de impulsión • Bombas de vacío • Compresores • Cisternas (transporte) • Reactores • Mezcladores • Cabinas de pintado • Envasadoras de aerosoles • Hornos y otros equipos de secado • Refrigeradores y congeladores • Sistemas de extracción • ... 	<ul style="list-style-type: none"> • Sacos o contenedores • Equipos de ensacado • Ciclones y filtros de mangas • Elevador de cangilones • Molinos • Cribas • Silos • Tolvas • Lechos fluidificados • Atomizadores • Estaciones de desempolvado • Equipos neumáticos • ...

Tabla 1. Ejemplos de recipientes y equipos con riesgo de generación o presencia de atmósferas explosivas, clasificados en función del estado de presentación de las sustancias inflamables

El Real Decreto (RD) 681/2003, transpone al Derecho español el contenido de la Directiva 1999/92/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre de 1999, que establece 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. Ambas normativas definen *atmósfera explosiva* como *la mezcla con el aire, en las condiciones atmosféricas, de sustancias inflamables en forma de gases, vapores, nieblas o polvos, en la que, tras una ignición, la combustión se propaga a la totalidad de la mezcla no quemada.*

A una atmósfera que puede convertirse en explosiva debido a circunstancias locales o de funcionamiento, se le denomina *atmósfera potencialmente explosiva.*

El conocimiento de las disposiciones reglamentarias relacionadas con el riesgo derivado de atmósferas explosivas resulta básico para aquellas empresas fabricantes o usuarias con riesgo de atmósferas potencialmente explosivas. A destacar, además de las comentadas anteriormente, la Directiva 94/9/CE, transpuesta en nuestro Estado a través del RD 400/1996, y otras Directivas de interés, como las de equipos de trabajo (89/655/CEE+95/63/CE), transpuestas por RD 1215/1997, o la nueva Directiva de máquinas (2006/42/CE), que deroga y sustituye a la anterior Directiva 98/37/CE. Esta última ha sido transpuesta mediante el RD 1644/2008 que deroga y sustituye a los anteriores RD 1435/1992 y RD 56/1995.

Otros documentos, como el proyecto RASE (“Explosive Atmosphere: Risk Assessment of Unit Operations and Equipment”), la Guía Técnica del RD 681/2003 elaborada por el INSHT o la guía europea de aplicación de la Directiva 1999/92/CE, son herramientas de gran ayuda para poder cumplir con eficacia con las obligaciones que fija la reglamentación (evaluar los riesgos específicos derivados de las ATEX, elaborar y mantener actualizado un documento de protección contra explosiones, clasificar los diferentes emplazamientos con riesgo de explosión de una instalación, etc.).

El análisis y evaluación de riesgos es una de las etapas fundamentales en el examen completo de los riesgos asociados a una actividad. En primer lugar y, siguiendo los principios generales de la acción preventiva, una vez identificado el riesgo de ATEX este debe ser evitado. *El empresario deberá tomar medidas de carácter técnico y/u organizativo en función del tipo de actividad, con el fin prioritario de impedir la formación de atmósferas explosivas o, cuando la naturaleza de la actividad no lo permita, evitar la ignición de atmósferas explosivas y atenuar los efectos perjudiciales de una explosión de forma que se garantice la salud y la seguridad de los trabajadores.*

Los riesgos que no se puedan evitar deberán ser evaluados. La evaluación de los riesgos (ER) en emplazamientos con riesgo de ATEX es un requisito legal que debe cumplir cualquier empresario que sea titular de instalaciones en las que se utilicen sustancias que puedan originar este tipo de riesgo. En general, la evaluación del riesgo de explosión se centra, en primer lugar, en la posible formación de ATEX peligrosas y en la existencia y activación de fuentes de ignición. La consideración de los efectos es una etapa posterior del proceso de valoración. En cumplimiento con el artículo 4 del RD 681/2003, *el empresario evaluará los riesgos específicos derivados de las atmósferas explosivas, teniendo en cuenta, al menos:*

a) *La probabilidad de formación y la duración de atmósferas explosivas.*

b) *La probabilidad de la presencia y activación de focos de ignición, incluidas, las descargas electrostáticas.*

c) *Las instalaciones, las sustancias empleadas, los procesos industriales y sus posibles interacciones.*

d) *Las proporciones de los efectos previsibles.*

Adicionalmente, cuando no se pueda evitar la presencia de una ATEX o esta no esté confinada y controlada, se debe prestar especial atención a los lugares que están o pueden quedar comunicados con las áreas de riesgo a través de aberturas, conductos, etc. ya que por su propia naturaleza las sustancias que forman la ATEX pueden desplazarse acumulándose en zonas no protegidas, originando el correspondiente riesgo. Por ello, *en la evaluación de los riesgos de explosión se tendrán en cuenta también los lugares que estén o puedan estar en contacto, mediante aperturas, con lugares en los que puedan crearse atmósferas explosivas.* Especial consideración tendrán las nubes de polvo, puesto que la sustancia puede depositarse en cualquier parte dentro del volumen ocupado por la nube. A destacar que, en el caso de sustancias inflamables en forma de gas o vapor, conociendo su densidad relativa respecto al aire, se podrá determinar la zona de posible acumulación (ascendente o descendente) de estas sustancias.

Aunque el análisis y evaluación de los riesgos específicos derivados de las ATEX se debe particularizar para cada tipo de instalación y actividad, *los riesgos de explosión se evaluarán globalmente.* Es decir, valorando en su conjunto tanto las instalaciones, las características de construcción de las mismas, los equipos existentes, las materias y sustancias presentes en cada unidad, las condiciones de trabajo y los procedimientos como las posibles interacciones de estos elementos entre sí y con el propio entorno de trabajo.

2. METODOLOGÍAS DE EVALUACIÓN

Los procedimientos de evaluación deben identificar y analizar tanto la existencia y probabilidad de formación de una atmósfera explosiva como la existencia y probabilidad de activación de todas las posibles fuentes de ignición. Los cuestionarios de chequeo o listas de comprobación (“safety check lists”) y las metodologías simplificadas ayudan a realizar la evaluación de los riesgos derivados de las ATEX. Con estos métodos es posible conseguir resultados fiables debido a que se basan en la experiencia con otras instalaciones similares, aunque la evaluación sólo será efectiva si se particulariza para cada tipo de instalación y actividad.

El mayor problema de un análisis de riesgos es cómo estar seguro de que todos los posibles riesgos han sido contemplados. Por esta razón, para evaluar los riesgos específicos de las ATEX ha sido desarrollada la llamada metodología RASE (“Explosive Atmosphere: Risk Assessment of Unit Operations and Equipment”). Esta metodología incluye un sistema de trabajo donde con la ayuda de extensas tablas se investigan todos los posibles escenarios. Una aplicación precisa de este método reduce la posibilidad de que potenciales riesgos hayan sido pasados por alto, aún a costa de crear unas tablas que llevan muchísimo tiempo de elaboración, especialmente para instalaciones técnicas complejas. Para este tipo de instalaciones, en ocasiones, es necesario recurrir a métodos más complejos. La aplicación de las metodologías complejas, tanto cualitativas como cuantitativas, requerirá, en la mayoría de los casos, el trabajo conjunto de un equipo multidisciplinar con conocimiento profundo de cada una de las instalaciones a analizar. A continuación, se muestran algunos ejemplos de metodologías comple-

jas empleadas en la evaluación de riesgos de las ATEX, clasificadas atendiendo a los aspectos de cuantificación:

- Análisis cualitativo:
 - Análisis Funcional de Operatividad (AFO) o “Hazard and Operability Study” (HAZOP).
 - Análisis preliminar de riesgos (APR) o “Preliminary Hazard Analysis” (PHA).
 - Análisis preliminar de consecuencias (APC) o “Preliminary Consequence Analysis” (PCA).
 - Análisis Modal de Fallos y Efectos (AMFE) o “Failure Modes and Effects Analysis” (FMEA).
 - Método UCSIP (“Union des Chambres Syndicales de l’industrie du Petrole”) para la evaluación cualitativa de alcances de consecuencias accidentales.
 - Método ¿Qué ocurriría si? o “What if?”
- Análisis cuantitativo:
 - Análisis de riesgos mediante el árbol de fallos y errores o “Fault Tree Analysis” (FTA).
 - Análisis de riesgos mediante el árbol de sucesos o secuencia de sucesos o “Event Tree Analysis” (ETA).
 - Análisis del Modo de Fallos, Efectos y Criticidad (AMFEC) o “Failure Mode, Effects, and Criticality Analysis” (FMECA).
 - Métodos para el cálculo del alcance de determinados efectos y cálculo de daños.
 - Análisis de fallos por objetivos o “Goal Oriented Failure Analysis” (GOFA).

En la práctica, cuando se analiza, desde el punto de vista de la seguridad, una determinada instalación lo que se hace es combinar varios métodos. Comenzando, por ejemplo, con cuestionarios de chequeo o metodologías simplificadas y realizando, posteriormente, un análisis sistemático del emplazamiento mediante metodologías más complejas.

3. CONSIDERACIONES IMPORTANTES EN LA EVALUACIÓN DE LOS RIESGOS ESPECÍFICOS DERIVADOS DE LAS ATEX

Como se ha visto en el punto anterior, para llevar a cabo la evaluación del riesgo de explosión existen diferentes metodologías aplicables (cualitativas, semicuantitativas y cuantitativas). Entre los distintos métodos de análisis se destacan los métodos parciales, que se aplican a determinadas zonas, equipos, áreas, etc. Los métodos más adecuados para evaluar los procesos de trabajo o las instalaciones técnicas, en cuanto al riesgo de explosión se refiere, son aquellos que contribuyen a examinar la seguridad de las instalaciones y los procedimientos de una manera sistemática y estructurada, ya desde la fase diseño, con criterios objetivos y lógicos basados en el conocimiento de las sustancias o preparados, las propias instalaciones, los procesos, las actividades que se realizan, la organización del trabajo, así como la capacitación del personal que interviene en éstas.

Siguiendo los principios básicos habituales de prevención, la ER debe incluir:

- identificación de las situaciones de peligro: por formación de ATEX y por presencia/activación de focos de ignición
- cálculo de probabilidades: de formación y duración de las posibles ATEX y de presencia y activación de los posibles focos de ignición
- determinación de la gravedad o proporciones de los efectos previsibles derivados de la explosión
- estimación/valoración del riesgo de explosión

- propuesta de medidas a adoptar para reducir el riesgo de explosión
- actualización y revisión de la evaluación

A continuación, se presentan las etapas básicas del esquema secuencial para evaluar los riesgos derivados de las ATEX, partiendo de la premisa que para que pueda producirse una explosión con efectos peligrosos deben darse las cuatro condiciones simultáneas siguientes: a) elevado grado de dispersión de las sustancias inflamables/combustibles, b) concentración ambiental de las sustancias inflamables dentro de su rango de explosividad, c) cantidad peligrosa de atmósfera explosiva y d) fuente de ignición efectiva.

Identificación de las situaciones de peligro

Esta etapa comprende la identificación y análisis del peligro de explosión, ya sea por formación de una posible ATEX o por presencia/activación de focos de ignición, ya sean de origen eléctrico-electrostático, mecánico, químico o térmico. A priori, todas las sustancias y productos inflamables y/o combustibles se deben considerar como posibles generadores de ATEX, incluidas las capas, depósitos y acumulaciones de polvo inflamable. El estudio debe comprender el análisis de instalaciones, procesos industriales, equipos, etc., especialmente aquellos puntos y actividades donde las sustancias inflamables que intervienen se pueden mezclar con el aire formando atmósfera explosiva.

Determinación de la posibilidad de formación de una ATEX peligrosa

El punto fundamental para determinar la posibilidad de formación de una ATEX es el conocimiento de los parámetros de inflamabilidad y explosividad de las sustancias y productos implicados en las diferentes etapas del proceso productivo (materia prima, productos intermedios, finales, subproductos, etc.). Las características del producto, incluyendo su explosividad, son parámetros fundamentales para el análisis de riesgo. En la tabla 2 se presentan los principales parámetros para la caracterización y/o categorización de la inflamabilidad/explosividad de una sustancia o producto, en función de su estado de presentación: a) gas, vapor o niebla, y b) nube de polvo en aire. Algunos productos de uso cotidiano presentan peculiaridades importantes que deben ser conocidas, como es el caso del azúcar, que presenta en determinadas condiciones una energía de inflamación muy baja. Existen laboratorios de ensayo que están capacitados para determinar estos parámetros según la norma que proceda. A destacar, por su importancia, la interpretación de dichos resultados en las condiciones reales del proceso. Por ejemplo, los límites de explosividad definen el intervalo teórico de explosividad, pero este puede aumentar con la presión y la temperatura. La energía mínima de ignición puede reducirse considerablemente en caso de aumentar los contenidos de oxígeno o trabajar a temperaturas elevadas. La presión y aceleración máximas de explosión aumentan si hay una mayor presión inicial.

Adicionalmente, en el caso de mezclas de diferentes líquidos, la temperatura de inflamación de la mezcla puede ser inferior a la temperatura de inflamación de los diferentes componentes. En el caso particular de aerosoles o nieblas de líquidos combustibles/inflamables, estos pueden formar una ATEX a temperaturas inferiores al punto de ignición. Las mezclas híbridas de nieblas o polvos con gases y/o vapores pueden formar una atmósfera

ESTADO DE PRESENTACIÓN DE LAS SUSTANCIAS INFLAMABLES/COMBUSTIBLES		
GASES, VAPORES Y NIEBLAS		POLVOS
PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS	• Rango (%) de inflamabilidad/explosividad (límite inferior - límite superior)	• Granulometría
	• Temperatura de inflamación (<i>flash point</i>)	• Concentración mínima explosiva
	• Temperatura de autoinflamación	• Energía mínima de ignición
	• Grupo y subgrupo: IIA, IIB o IIC	• Temperatura de ignición en capa
	• Intersticio experimental máximo de seguridad	• Temperatura de ignición en nube
	• Energía mínima de inflamación	• Presión máxima de explosión
	• Gradiente máximo de presión	• Constante de explosividad (K_{st})
	• Corriente mínima de inflamación	• Resistividad/conductividad eléctrica
	• Densidad relativa	• Concentración límite de oxígeno
	• Coeficiente de evaporación	• Susceptibilidad/estabilidad térmica
• ...	• ...	

Tabla 2. Principales parámetros para la caracterización y/o categorización de la inflamabilidad/explosividad de una sustancia o producto, en función de su estado de presentación.

explosiva incluso cuando la concentración de las distintas materias inflamables aún esté por debajo de su límite inferior de explosividad. En este caso, adicionalmente, debe evaluarse el riesgo de que los equipos de detección se vean afectados de manera adversa por alguna de las fases (p.ej. "intoxicación" de los catalizadores por nieblas).

Un gas puro confinado o un sólido pulverulento depositado en forma de capa no representan el mismo riesgo que cuando están dispersos en la atmósfera. Para el caso de nieblas y polvos, se considera que se puede formar un grado suficiente de dispersión para formar un ATEX si el tamaño de las gotas o partículas es inferior a 1 mm.

En el caso de los polvos, los límites de explosión no tienen el mismo significado que los de los gases y vapores. Las nubes de polvos no suelen ser homogéneas, por lo que la concentración de polvo puede variar de forma importante de un punto a otro de la nube. En general, siempre que se puedan producir capas, depósitos o acumulaciones de polvo inflamable se debe considerar que existe posibilidad de que se forme una ATEX.

En adición, se debe tener también en consideración las propiedades de los subproductos de reacción, así como

de los agentes químicos resultantes de reacciones de descomposición, reacciones indeseadas, etc. Por consiguiente, la probabilidad de que se forme una atmósfera explosiva no debe considerarse en una sola ocasión y adoptando un punto de vista estático, sino que también es preciso tener en cuenta todas las condiciones de funcionamiento que puedan derivarse del proceso de transformación.

Una vez determinadas las características básicas de inflamabilidad y explosividad de las sustancias o productos existentes en cada instalación, se debe analizar la posible formación y duración de la ATEX. La posibilidad de formación de una cantidad peligrosa de ATEX vendrá determinada por la presencia, grado de dispersión y concentración de la sustancia o producto inflamable. Dicho cálculo se basa en analizar la frecuencia y duración con que se produce la mezcla de la sustancia inflamable con el aire. El RD 681/2003 clasifica, siguiendo este criterio, las áreas de riesgo en las que pueden formarse ATEX en zonas. En esta etapa habrá que considerar además de la creación y duración de la ATEX, su probabilidad de formación y la cantidad. Se consideran áreas de riesgo *aquellas en las que puedan formarse ATEX en cantidades tales que resulte necesaria la adopción de precauciones especiales para proteger la seguridad y la salud de los trabajadores afectados*. Cabe destacar que, la clasificación en zonas de las áreas en las que pueden formarse ATEX debe tener en cuenta la frecuencia con que se produzcan atmósferas explosivas y su duración, en condiciones normales de explotación. Se entenderá por condiciones normales de explotación la utilización de las instalaciones de acuerdo con sus especificaciones técnicas de funcionamiento. Se establecen tres niveles de probabilidad de formación de ATEX, respectivamente para gases, vapores o nieblas y para polvo combustible: zona 0 o 20 (presente frecuentemente o tiempo prolongado), zona 1 o 21 (formación ocasional) y zona 2 o 22 (formación improbable o sólo un breve período de tiempo). En la tabla 3 se muestra el resumen de esta clasificación, en función del estado de presentación de las sustancias inflamables. Para dicha clasificación se procederá tanto a la identificación y categorización (grado de escape continuo, primario o secundario) de las posibles fuentes de escape como a la determinación del alcance y extensión de las zonas. Un factor determinante en este punto es la disponibilidad y grado de ventilación. En ocasiones, se establece una distinción entre el interior de partes de instalaciones y su entorno.

Respecto a la duración de la ATEX, se debe partir de la base de que no se debe permitir la existencia permanente de una atmósfera explosiva. Por tanto se deben contemplar las medidas necesarias, como sistemas de detección continua y medidas control, para que la duración y volumen del escape siempre sea mínimo.

Adicionalmente, para determinar la posibilidad de

		ESTADO DE PRESENTACIÓN DE LA/S SUSTANCIA/S INFLAMABLES	
FORMACIÓN DE LA ATEX	DURACIÓN DE LA ATEX	Gas, vapor o niebla (Emplazamiento de Clase I)	Nube de polvo combustible (Emplazamiento de Clase II)
Permanente o frecuentemente	Tiempo prolongado	Zona 0	Zona 20
Ocasional	Ocasional	Zona 1	Zona 21
No probable	Breve período	Zona 2	Zona 22

Tabla 3. Clasificación de las áreas en las que pueden formarse atmósferas explosivas

formación de una ATEX, tanto en instalaciones nuevas como existentes, habrá que considerar posibles anomalías o disfunciones ligadas tanto a los equipos (paradas del sistema de ventilación o enfriamiento, fugas de producto, averías previsibles de los equipos, paradas accidentales en la alimentación de producto, etc.), como al factor humano. Al evaluar el riesgo se tendrán en cuenta: las actividades rutinarias de proceso, contemplando todas las fases de la actividad (arranque, régimen de trabajo, parada, etc.); las actividades periódicas (limpieza, mantenimiento, revisiones, etc.); los disfuncionamientos, averías y estados defectuosos previsibles; los posibles errores de manipulación, etc. En ocasiones, se requerirá una evaluación individual para cada proceso de trabajo o producción, así como para cada régimen de funcionamiento de la instalación y su modificación.

En el caso de no poder valorar la probabilidad de existencia de la ATEX, se debe suponer que está siempre presente.

Identificación y análisis de las posibles fuentes de ignición efectivas

Hay que evaluar cualquier fuente de ignición que pueda aparecer en las áreas donde puedan formarse ATEX. Estas fuentes de ignición pueden ser fijas (aparatos y equipos fijos situados en zonas de riesgo) o pueden introducirse en las áreas de riesgo en razón de las actividades a realizar (equipos portátiles o medios de manutención y transporte). Estos equipos y medios deben cumplir la normativa que le sea de aplicación y, en cualquier caso, se debe evaluar su idoneidad respecto al riesgo de explosión. Habrá que evaluar especialmente las actividades que se realizan en las áreas de riesgo y los equipos que en éstas intervienen, incluso el uso de herramientas manuales. Especial consideración deben tener los equipos de trabajo fabricados antes del 30 de junio de 2003 sin marcado ATEX y declaración de conformidad, a los que se requerirá la evaluación de idoneidad correspondiente.

La norma 1127-1 define 13 fuentes de ignición capaces de iniciar una ATEX: superficies calientes; llamas y gases calientes (incluyendo partículas calientes); chispas de origen mecánico; material eléctrico; corrientes eléctricas parásitas-protección contra la corrosión catódica; electricidad estática; rayos; ondas electromagnéticas de radiofrecuencias (10 kHz-300 MHz) y microondas (300 MHz -300GHz); radiación óptica (IR, visible y UV), incluyendo la radiación láser; radiación ionizante; ultrasonidos; compresión adiabática, ondas de choque y gases circulantes; y reacciones químicas exotérmicas (incluyendo la autoignición de polvos).

Determinación de la probabilidad de presencia y activación de las fuentes de ignición

Para disminuir el riesgo, en las zonas donde la probabilidad de ATEX sea más elevada, la probabilidad de que se presente o active una fuente de ignición debería ser minimizada. Para cuantificar la importancia de las posibles fuentes de ignición se consideran tres niveles de frecuencia de aparición (constante o frecuentemente, en circunstancias raras o en circunstancias muy raras). En lo que se refiere a los equipos, sistemas de protección y componentes utilizados, estas tres categorías equivalen a la probabilidad de aparición de la fuente de ignición en funcionamiento normal, solamente como consecuencia de un disfuncionamiento o como consecuencia de un disfuncionamiento raro. El estudio de dichas fuentes

debe comprender tanto el funcionamiento normal de la unidad o equipo como las posibles disfunciones. Cuando no sea posible establecer la probabilidad de presencia de la fuente de ignición con carácter general para toda la unidad o instalación, el análisis se efectuará individualmente para cada posible fuente de ignición. Si no se puede estimar la probabilidad de que existan fuentes de ignición, se debe suponer que la fuente de ignición está siempre presente.

A destacar los riesgos de ignición por electricidad estática, que se dan cuando se produce una descarga como resultado de una acumulación de carga. La conductividad eléctrica, la energía y temperatura mínimas de ignición, el tamaño de las partículas, etc. son parámetros a tener en cuenta para determinar la posible generación de cargas electrostáticas peligrosas. Las descargas electrostáticas pueden darse tanto por las condiciones de desarrollo del proceso como por carga acumulada/descargada por los propios trabajadores, por ello tendrán que evaluarse todas las circunstancias en que puedan producirse dichas descargas electrostáticas.

Estimación de los posibles efectos de la explosión

El riesgo de explosión es siempre un riesgo grave, ya que las consecuencias en caso de materializarse pueden llegar a ser mortales y/o catastróficas. La radiación térmica, las llamas, la onda de presión, la emisión de sustancias peligrosas, la proyección de fragmentos y el abatimiento de estructuras son los efectos más característicos de las explosiones. Al realizar el estudio de las consecuencias o gravedad de los efectos de una posible explosión, se deberá considerar, entre otros aspectos, la extensión y naturaleza de los daños (personales, materiales, medioambientales, etc.), la eficacia de las medidas de prevención y protección existentes, la fiabilidad de los sistemas de seguridad, la posibilidad de neutralizar o burlar las medidas de seguridad, el posible efecto dominó si se producen explosiones secundarias, etc. Para minimizar los efectos de una explosión se evitará que esta pueda propagarse a lo largo de la instalación y provocar incendios y otras explosiones aumentando así los efectos dañinos y destructivos. Si la ATEX contiene diferentes tipos de gases, vapores, nieblas o polvos inflamables, esto debe tenerse debidamente en cuenta en la valoración de los riesgos de explosión, puesto que, los efectos de la explosión pueden ser considerablemente mayores, por ejemplo, en presencia de mezclas híbridas. Los criterios de evaluación simplificada de daños por presión o la aplicación de métodos específicos para determinar, por ejemplo, el efecto de la onda expansiva sobre las estructuras existentes en cada situación, resultan de interés en este punto de la evaluación.

Estimación/valoración del riesgo en ATEX

La evaluación de los riesgos permite detectar los puntos críticos de la instalación o unidad y determinar la necesidad de adopción de medidas que eviten o minimicen el riesgo de explosión. Una vez conocidos los parámetros anteriormente expuestos se debe proceder a la **estimación del riesgo**, entendiendo como tal la determinación de la probabilidad de materialización del riesgo derivado de una ATEX. Para ello se propone, en la tabla 4, la matriz que combina la probabilidad de formación y duración de la ATEX (parámetro estimado a partir de la clasificación del área de riesgo en zonas) y la probabilidad de presencia y activación de la/s fuente/s de ignición. Así,

PROBABILIDAD DE IGNICIÓN	CLASIFICACIÓN DEL ÁREA DE RIESGO			
	No clasificada	Zonas 2/22	Zonas 1/21	Zonas 0/20
Fuente de ignición inexistente	Despreciable	Despreciable	Despreciable	Despreciable
Posible ignición en caso de disfuncionamiento raro o fallo no previsible	Despreciable	Muy Baja	Baja	Media
Posible ignición en caso de disfunción o fallo previsible	Despreciable	Baja	Media	Alta
Posible ignición en funcionamiento normal	Despreciable	Media	Alta	Muy alta

Tabla 4. Probabilidad de materialización del riesgo derivado de una ATEX en función la probabilidad de presencia y activación de las fuentes de ignición y de la posibilidad de formación de una ATEX peligrosa (parámetro relacionado con el tipo de zona resultante de la clasificación del área de riesgo)

la materialización del riesgo presenta cinco niveles de probabilidad (muy baja, baja, media, alta y muy alta).

Una vez estimado el riesgo específico derivado de la ATEX y habiendo analizado sus posibles consecuencias (estimación real de los efectos), se realiza la **valoración del riesgo** de explosión con el fin de determinar si se requiere reducir el riesgo o si se ha alcanzado la seguridad. Para la valoración final del riesgo de explosión se presenta, en la tabla 5, la matriz resultante del producto de la probabilidad de materialización del riesgo por la severidad de las consecuencias. La prioridad de intervención vendrá determinada en función del resultado de esta matriz, que presenta cuatro niveles de riesgo, cuyo significado se presenta a continuación.

- **Riesgo leve:** No se requiere acción específica urgente. Sin embargo se deben considerar soluciones o mejoras para conseguir eliminar el riesgo. La aplicación de medidas organizativas para la protección contra explosiones puede resultar de interés en este nivel. Se requieren comprobaciones periódicas o medidas de control para asegurar que el riesgo se mantiene en este nivel.
- **Riesgo medio:** Se deben establecer y adoptar, en un período determinado, medidas de reducción del riesgo de explosión. Cuando el riesgo medio esté asociado con consecuencias de severidad alta, se precisará una acción posterior para confirmar, con más precisión, que la probabilidad de materialización del riesgo es muy baja.

- **Riesgo alto:** Con carácter prioritario, se requiere una acción inmediata. Deben tomarse a corto plazo las medidas necesarias para reducir el riesgo. Cuando el riesgo alto esté asociado con consecuencias de severidad muy alta, se precisará una acción posterior para confirmar, con más precisión, que la probabilidad de materialización del riesgo es muy baja.
- **Riesgo muy alto:** No debería comenzar ni continuar el trabajo hasta que se reduzca el riesgo. La situación precisa de una corrección con carácter de urgencia absoluta.

Propuesta de medidas para eliminar o reducir el riesgo

Si del resultado de la valoración se desprende que es necesario disminuir el riesgo, entonces se deben seleccionar y aplicar o adoptar las medidas de seguridad apropiadas, tanto para reducir la probabilidad de materialización del riesgo (evitar la formación e ignición de ATEX peligrosas) como para mitigar o *atenuar los efectos perjudiciales de una explosión de forma que se garantice la salud y seguridad de los trabajadores*. En la tabla 6 se presentan, de forma esquemática, algunas medidas de seguridad para la protección contra explosiones. Estas medidas engloban tanto medidas técnicas como medidas organizativas. *Estas medidas se combinarán o completarán, cuando sea necesario, con medidas contra la propagación de las explosiones. Se revisarán periódicamente*

PROBABILIDAD DE MATERIALIZACIÓN	SEVERIDAD DE LAS CONSECUENCIAS			
	Baja	Media	Alta	Muy alta
Muy baja	Riesgo leve	Riesgo medio	Riesgo medio	Riesgo alto
Baja	Riesgo leve	Riesgo medio	Riesgo alto	Riesgo muy alto
Media	Riesgo leve	Riesgo alto	Riesgo alto	Riesgo muy alto
Alta	Riesgo medio	Riesgo alto	Riesgo muy alto	Riesgo muy alto
Muy alta	Riesgo medio	Riesgo muy alto	Riesgo muy alto	Riesgo muy alto

Tabla 5. Valoración del riesgo derivado de una ATEX en función de la probabilidad de materialización del riesgo y la severidad de las consecuencias.

y, en cualquier caso, siempre que se produzcan cambios significativos.

Actualización y revisión

La evaluación de riesgos debe mantenerse actualizada y revisarse periódicamente, especialmente antes de comenzar cualquier nueva actividad y/o proceso o antes de reanudar la actividad en caso de haber realizado modificaciones y/o reformas en algún emplazamiento o proceso existente, transformaciones importantes en el lugar de trabajo, los equipos, los procesos o la organización del

trabajo, incluyendo el hecho de que se introduzcan nuevas sustancias o fórmulas diferentes.

Según las disposiciones generales de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales, la ER tiene que quedar documentada y a disposición de la autoridad laboral. El resultado e informe de esta evaluación formará parte del documento de protección contra explosiones, que se elaborará antes de que comience el trabajo y se revisará siempre que se efectúen modificaciones, ampliaciones o transformaciones importantes en el lugar de trabajo, en los equipos de trabajo o en la organización del trabajo.

MEDIDAS TÉCNICAS (Requerimientos: selección, mantenimiento e inspección o control periódicos)
<ul style="list-style-type: none"> • Medidas de prevención: <ul style="list-style-type: none"> – Medidas para impedir la formación de atmósferas explosivas peligrosas. – Medidas para evitar la presencia/activación de fuentes de ignición. • Medidas de protección: medidas para limitar o atenuar los efectos de las explosiones. • Control de procesos: <ul style="list-style-type: none"> – En órganos móviles (rodamientos, cojinetes, poleas, correas, etc.) – Otros: presencia de impurezas metálicas, control de puntos vulnerables, etc. • Sistemas de detección, medición y mando para la protección y prevención contra explosiones. • ...
MEDIDAS ORGANIZATIVAS (Requisitos: implantación, seguimiento y control)
<ul style="list-style-type: none"> • Información y formación a los trabajadores (considerando: metodologías aplicables, contenido, duración, frecuencia, etc.). • Restricción del acceso a la zona de riesgo de trabajadores no autorizados. • Señalización. • Procedimientos de trabajo, normas de seguridad, permisos de trabajo, etc. • Formularios: permisos de trabajo con calor, instrucciones de limpieza, inspecciones periódicas, etc. • Trabajos de mantenimiento, control y comprobación. • Lista de equipos de trabajo móviles y regulación de su utilización en áreas de riesgo. • Disposiciones específicas para las medidas de emergencia. • Gestión del cambio: modificación de actividad, reformas, nuevos trabajadores, etc. • ...

Tabla 6. Clasificación de medidas de seguridad para la protección contra explosiones.

BIBLIOGRAFÍA

- (1) REAL DECRETO 681/2003, de 12 de junio, 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. BOE núm. 145.
- (2) REAL DECRETO 400/1996, de 1 de marzo, por el que se dicta las disposiciones de aplicación de la Directiva del Parlamento Europeo y del Consejo 94/9/CE, relativa a los aparatos y sistemas de protección para uso en atmósferas potencialmente explosivas. BOE núm. 85.
- (3) 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.
- (4) Directrices de aplicación de la Directiva 94/9/CE del Consejo, de 23 de marzo de 1994, relativa a la aproximación de las legislaciones de los estados miembros sobre los aparatos y sistemas de protección para uso en atmósferas potencialmente explosivas.
- (5) Norma UNE-EN 1050 Seguridad de las máquinas. Principio para la evaluación del riesgo

- (6) UNE-EN 1127-1 Atmósferas explosivas. Prevención y protección contra la explosión. Parte 1: Conceptos básicos y metodología
- (7) The RASE Project (SMT4-CT97-2169). Explosive Atmospheres: Methodology on Risk Assessment of Unit Operations and Equipment. CEN/TC 305 N 273 (2000).
- (8) Guía Técnica para la evaluación y prevención de los riesgos derivados de las atmósferas explosivas en el lugar de trabajo (REAL DECRETO 681/2003), INSHT.
- (9) Bosch Torres, R. Metodología de análisis sobre la protección de los riesgos derivados de atmósferas explosivas. Caso práctico. ETSEIB (Universitat Politècnica de Catalunya).
- (10) Fernández Ramón, C. García Torrent, J. Querol Aragón, E. y Vega Remesal, A. Evaluación de riesgos en atmósferas explosivas. Ingeniería Química, N° 413, Mayo 2004, págs. 163-169.
- (11) Alonso Martín, M.C. El documento de protección contra explosiones (DPCE). NTP 826 - Notas Técnicas de Prevención. Barcelona, INSHT.