

## Proyecto Fin de Carrera

# **ESTUDIO DEL NIVEL DE SEGURIDAD Y “DOCUMENTO DE PROTECCIÓN CONTRA EXPLOSIONES” DE UNA PLANTA DE QUÍMICA FINA**

Autor

José Ignacio Bordejé Luzón

Director

José Angel Peña Llorente

Ingeniería Química y Tecnologías del Medio Ambiente

Ingeniería Química

Septiembre 2015

## **ESTUDIO DEL NIVEL DE SEGURIDAD Y “DOCUMENTO DE PROTECCIÓN CONTRA EXPLOSIONES” DE UNA PLANTA DE QUÍMICA FINA**

### **-- RESUMEN --**

El objetivo del proyecto es la realización del Documento de Protección Contra Explosiones (en adelante DPE) de la planta de producción de una empresa de química fina, como aplicación del [RD\_681,2003] y evaluar su nivel de seguridad en esta materia. Todos los supuestos se basan en instalaciones reales. Por motivos de confidencialidad no se mencionará la empresa ni los productos farmacéuticos concretos, aunque sí se mencionarán las materias primas y una descripción del proceso lo más realista posible.

El trabajo se ha dividido en cuatro partes:

Durante la primera parte, se ha llevado a cabo una recopilación y revisión lo más pormenorizada posible de toda la reglamentación que afecta a los trabajos en emplazamientos clasificados como ATEX. En el que se incluye legislación, normativas UNE-EN, Guías y metodologías de aplicación, informes técnicos de accidentes, etc. La información obtenida ha permitido determinar las necesidades para continuar con la ejecución del proyecto.

Durante la segunda parte, se realizó el trabajo de campo, incluyendo la mayor parte de las visitas a la planta para recabar la información que posteriormente nos permitiría desarrollar el DPE, como por ejemplo emplazamientos susceptibles de clasificación ATEX, recopilación de fichas de datos de seguridad, observación de posibles fuentes de escape y sistemas de ventilación, etc.

La tercera parte implicó el trabajo en oficina, identificando los emplazamientos peligrosos que presentaba la empresa, las sustancias inflamables, las fuentes de escape, las características de la ventilación y se llevaron a cabo los cálculos de las tasas de escape, grados de ventilación, permanencia de la atmósfera explosiva, así como, de su extensión. Con toda esta información se pudo realizar la clasificación de zonas ATEX requerida por el DPE. En esta fase del proyecto se llevo a cabo la evaluación de riesgos que permitió calcular el riesgo potencial de la actividad y evaluar el nivel de seguridad de la planta en materia ATEX.

Durante la cuarta parte se redactó un plan de acción donde se recogen las medidas de prevención y/o protección frente a atmósferas explosivas, indicando su estado de implantación en la empresa y en caso de que no estuvieran implantadas, la prioridad para llevarlas acabo.

Para finalizar destacar como **conclusiones** que el **nivel de riesgo de la planta es bajo**, salvo en una serie de puntos en los que ha salido más elevado, pero que con las medidas que se han propuesto podrían rebajarse a un nivel bajo, y que **con toda la información recogida en el proyecto se puede dar cumplimiento al [RD\_681,2003] al poseer la empresa un DPE.**

## Índice:

1. INTRODUCCIÓN .....	5
2. DESCRIPCIÓN DE LAS INSTALACIONES Y PROCESOS .....	12
3. PRODUCTOS IMPLICADOS .....	14
4. CLASIFICACIÓN DE ZONAS .....	18
5. EVALUACIÓN DE RIESGOS .....	22
6. PLAN DE ACCIÓN .....	25
7. CONCLUSIONES .....	26
8. BIBLIOGRAFÍA .....	28

### ANEXOS (Número de páginas)

ANEXO I	Clasificación de zonas .....	36
ANEXO II	Cálculos .....	85
ANEXO III	Evaluación de Riesgos .....	41
ANEXO IV	Plan de acción .....	2
ANEXO V	Criterios de selección de equipos .....	8
ANEXO VI	Criterios de selección de herramientas .....	3

## **1. INTRODUCCIÓN**

El riesgo de incendio o explosión es una situación que aparece con una frecuencia más habitual de la deseada. Muchos son los ejemplos de sucesos o accidentes que han causado daños a las instalaciones y a las personas y no hay que irse muy lejos en el tiempo para encontrar ejemplos de ello, simplemente consultando las bases de datos europea [eMARS] o la estadounidense [CSB]:

Tabla1.1: Accidentes en emplazamientos ATEX. Extraídos de las referencias [eMARS] y [CBS]

<b>AÑO</b>	<b>EMPRESA</b>	<b>CAUSA</b>	<b>DAÑOS HUMANOS</b>	<b>FUENTE</b>
2003	West Pharmaceutical Services, Inc.	Uso de equipos eléctricos no ATEX en la producción de goma de polietileno.	6 muertes	[CSB,2006] Report N° 2006-H-1
2003	CTA Acoustics, Inc.	Horno abierto en funcionamiento durante las operaciones de limpieza de zona anexa.	7 muertes 37 heridos	[CSB,2006] Report N° 2006-H-1
2008	No disponible	Trabajos de soldadura en una línea de un tanque de etanol	5 heridos	[eMARS]
2008	Barton Solvents	Electricidad estática durante la operación de carga de un contenedor de 1000 L.	2 heridos	[CSB,2008a] Report N° 2008-02-I-IA
2008	Barton Solvents	Electricidad estática durante la operación de carga de un tanque de almacenamiento desde una cisterna.	12 heridos	[CSB,2008b] Report N° 2007-06-I-KS

Como se observa en los accidentes indicados, este riesgo existe en los procesos y procedimientos de trabajo más diversos, por lo que afecta a una variedad de actividades muy amplia.

El riesgo de incendio y explosión viene originado por la formación de atmósferas explosivas en un lugar determinado. Así según el [RD\_681,2003], se define una atmósfera explosiva como 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. Para que esto se produzca deben coexistir una 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.

La protección contra explosiones reviste una particular importancia para la seguridad, puesto que las explosiones amenazan las vidas y la salud de los trabajadores. Es por ello que las administraciones públicas regularon mediante un **marco reglamentario** concreto las obligaciones de las empresas en esta materia.

Ya en la constitución de la Comunidad Europea, más concretamente en el artículo 100 del [UE\_Tratado,1985], 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 [RD\_1435,1992], con una última modificación en la directiva 94/103/CEE, que se refleja en el [RD\_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 [RD\_400,1996].

La primera de estas directivas y su transposición a la normativa española [RD\_1435,1992] hacen 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 artículo 137 del [UE\_Tratado,1985] 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, transpuesta al ordenamiento jurídico español a través del [RD\_681,2003].

En el siguiente esquema se esquematiza el contenido de las directivas comunitarias específicas sobre atmósferas explosivas diferenciando entre equipos e instalaciones:

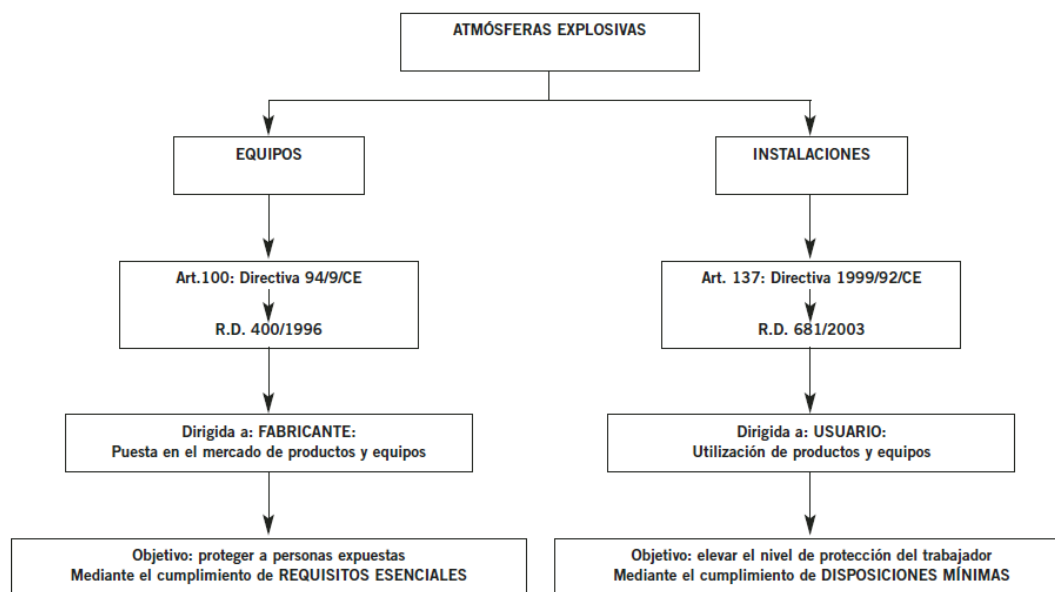


Figura 1.1: Aplicación de directivas ATEX

Por consiguiente, el [RD\_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.

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.

Y es aquí donde surge la necesidad de la empresa en la cuál se ha llevado acabo el proyecto y por lo tanto el **objeto de este proyecto**: La **realización de un estudio del nivel de seguridad relativo a la clasificación de atmósferas explosivas y su correspondiente documento de protección contra explosiones** de la planta ubicada en Zaragoza. La actividad de la planta es la fabricación de productos farmacéuticos de base y el **alcance del proyecto** se ha enfocado en el **proceso productivo** que se lleva acabo en la planta. Cabe destacar en este punto que este tipo de plantas están diseñadas bajo un perfil “**multipropósito**”; esto es, no se suelen enfocar a la fabricación de un producto en concreto como pueden ser objeto de otro tipo de producción “en continuo”. El tipo de fabricación “batch” que se lleva a cabo en este tipo de industrias, hace que los mismos equipos e instalaciones puedan ser utilizados para la realización de un número indefinido de procesos, así como deben estar preparados para los futuros proyectos surgidos del departamento de investigación y desarrollo que puedan llegar a planta.

Esta problemática es uno de los puntos críticos del proyecto, ya que se debe enfocar la redacción del documento de protección contra explosiones, no simplemente como una evaluación de las tareas que se realizan, sino también las posibilidades de uso de los equipos e instalaciones, para que la necesidad de un nuevo proyecto no se vea retrasado por la revisión del documento de protección contra explosiones y el coste económico que esto pueda suponer para la empresa.

La ejecución del proyecto se ha diferenciado en cuatro partes bien delimitadas:

### **Primera parte. Investigación documental**

Se ha llevado a cabo una recopilación y revisión, lo más pormenorizada posible, de toda la reglamentación por la que se ve afectada los trabajos en emplazamientos clasificados como ATEX. Cabe destacar el [RD\_681,2003] sobre la protección de la salud y seguridad de los trabajadores expuestos a los riesgos derivados de atmósferas explosivas en el lugar de trabajo, [GT\_ATEX,2009] Guía Técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con las atmósferas explosivas en los lugares de trabajo del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, el [RD\_842,2002] Reglamento electrotécnico de baja tensión, [UNE-EN\_60079-10-1,2010] Atmósferas explosivas de gases: Clasificación de emplazamientos, [UNE-EN\_202007\_IN,2006] Guía de aplicación de la norma UNE-EN 600079-10-1, [UNE-EN\_60079-10-2,2010] Atmósferas explosivas de polvo: Clasificación de emplazamientos, [UNE-EN\_1127-1,2012] Prevención y protección contra la explosión: Conceptos básicos y metodología y el proyecto europeo [RASE,2000] (Methodology for the Risk Assessment of Unit Operations and Equipment for USE in Potentially Explosive Atmospheres), [RD\_400,1996] por el que se dicta las disposiciones de aplicación de la Directiva del Parlamento Europeo y el Consejo 94/9/CE, relativa a los aparatos y sistemas de protección para uso en atmósferas potencialmente explosivas y [GT\_ATEX\_EU,2013] Guidelines on the application of directive 94/9/EC (Equipment and protective systems intended for use in potentially explosive atmospheres).

Con la información obtenida se han determinado claramente las necesidades para continuar con la ejecución del proyecto y así dar cumplimiento con los requerimientos del documento de protección contra explosiones.

### **Segunda parte. Trabajo de campo: Recopilación de información**

Durante esta fase se realizaron numerosas visitas a planta; no sólo, como es obvio, para conocer las instalaciones ámbito del proyecto y los procesos que se llevan acabo, si



no para recopilar información que es muy importante para el desarrollo de la tercera parte del proyecto. Así se destacan las siguientes tareas:

- Recopilación de los emplazamientos que pudieran ser susceptibles de ser clasificados como ATEX, como zonas de reacción, túneles de acabados, parques de almacenamiento de disolventes, etc.
- Recopilación de las fichas de datos de seguridad de todos los productos que intervienen en los procesos, tanto líquidos como sólidos y su clasificación como potencialmente inflamables (por ejemplo tolueno, metanol, heptano, etc).
- Recopilación de las posibles fuentes de escape: incluyendo la frecuencia y duración de éstos, y su dimensionado en los distintos equipos e instalaciones, bocas de reactores, bridas, bombas, válvulas, conexiones con los contenedores de disolventes, etc.
- Recopilación de la ventilación: observando la naturaleza de la misma, si se trata de natural o artificial, su disponibilidad en las salas, el número de renovaciones, etc.

### **Tercera parte. Trabajo de oficina: Clasificación de zonas y evaluación de riesgos**

Esta fase del proyecto ha implicado el trabajo en oficina, aunque puntualmente han sido necesarias visitas a planta para solucionar dudas o recopilar información necesaria para llevar a cabo el trabajo. Durante esta parte se ha realizado el grueso del proyecto bien diferenciado en:

- Identificación de los emplazamientos peligrosos: en base a observación de los equipos, tareas y procesos que se realizó durante la visita de planta se seleccionaron las zonas que se describen en la Tabla 1.2:

Tabla 1.2 Identificación de emplazamientos

IDENTIFICACIÓN DE EMPLAZAMIENTOS	
Zona reacción Nivel 1 y 2.	Nave de servicios.
Salas Técnicas Nivel 1 y 2.	Columnas lavadoras de gases.
Túnel de acabados.	Almacenes de materias primas y final.
Parque de disolventes.	Zona de carga de carretillas.
Equipos de vacío.	Caldera de vapor / Estación de Gas.
Blow-down.	--

- Identificación de las sustancias inflamables: Se realizó una revisión de todas las fichas de datos de seguridad de los productos para determinar cuales de ellos eran susceptibles de formar atmósferas explosivas y se recopilaron las

principales propiedades físico-químicas necesarias para una correcta clasificación de zonas según la [UNE-EN\_1127-1,2012]. (Ver su desarrollo en el punto 3 de la memoria).

- Identificación de las fuentes de escape: Siguiendo las indicaciones de la [UNE-EN\_60079-10-1,2010] y [UNE-EN\_60079-10-2,2010] y más concretamente de su guía de aplicación [UNE-EN\_202007\_IN,2006] se determinaron las fuentes de escape para cada emplazamiento y el grado de ellos en función de la frecuencia y duración, presentando únicamente grados primarios y secundarios. (Ver su desarrollo en el punto 4 y el Anexo I de la memoria).
- Cálculo de la tasa de escape: Llegados a este punto se podían seguir dos caminos:
  - a) Tomar como referencia las Tablas existentes sobre tasas de escape y extensión de zonas de la guía [UNE-EN\_202007\_IN,2006], o [Manual,2005] el manual práctico sobre clasificación de zonas en atmósferas explosivas del Colegio de Ingenieros de Barcelona, sobre todo para las fuentes de escape de grado secundario.
  - b) Realizar los cálculos siguiendo los módulos que recoge la [UNE-EN\_60079-10-1,2010] y [UNE-EN\_60079-10-2,2010] y su guía de aplicación [UNE-EN\_202007\_IN,2006].

Se escogió la segunda opción. Para llevarla acabo se dimensionaron los orificios de los escapes y se modeló su tipo, ya que la norma recoge diversas modalidades de escape, como por ejemplo gas en una sola fase, líquido que no evapora o evapora en el escape, líquido criogénico que evapora, charco de líquido que evapora, etc.. En la mayoría de los casos estudiados se trataba de un líquido que no evapora en el escape (Temperatura de ebullición superior a la temperatura atmosférica), por lo que había que calcular el área del charco producida en el escape, así como la tasa de evaporación de éste en función del aire de ventilación, o del diámetro de contacto de este charco con el ambiente. (Ver su desarrollo en el punto 4 y el Anexo II de la memoria).

- Identificación y cálculo de la ventilación: Este apartado es de gran influencia en la determinación final de la clasificación de zonas, ya que puede permitir disminuir la extensión e incluso su categorización. Esto influye directamente en los gastos que la empresa vaya a tener en la adquisición de equipos a instalar en

las zonas clasificadas, o el propio mantenimiento de las instalaciones. Según marca la [UNE-EN\_60079-10-1,2010] y [UNE-EN\_60079-10-2,2010] y su guía de aplicación [UNE-EN\_202007\_IN,2006], se ha determinado el tipo de ventilación, su grado y disponibilidad y para las fuentes de escape en las que se han realizado cálculos, el grado de ventilación y la permanencia de la atmósfera explosiva también han sido calculados según marca la norma. (Ver su desarrollo en el punto 4 y el Anexo I y II de la memoria).

- Clasificación de la zona: Con la información y los cálculos realizados hasta el momento, tipo de escape y grado y disponibilidad de la ventilación, ya se pudo realizar la clasificación de la zona, siguiendo las indicaciones recogidas en la [UNE-EN\_60079-10-1,2010] y [UNE-EN\_60079-10-2,2010]. (Ver su desarrollo en el punto 4 y el Anexo I y II de la memoria).
- Calculo de la extensión de la zona: Tal y como se ha comentado en la tasa de escape en este punto hay estimaciones para las extensiones de zona en función de los grados de escape. No obstante se decidió realizar los cálculos de la distancia de peligro en base a la [UNE-EN\_60079-10-1,2010] y [UNE-EN\_60079-10-2,2010] y su guía de aplicación [UNE-EN\_202007\_IN,2006]. Para los casos estudiados se han utilizado la distancia peligrosa para escapes de gas y procedentes de un charco líquido rozado por el aire de ventilación del ambiente, tanto para ambientes cerrados como abiertos. (Ver su desarrollo en el punto 4 y el Anexo I y II de la memoria).
- Evaluación de Riesgos: Para la realización de la evaluación de riesgos se ha tomado como referencia el proyecto [RASE,2000]. Así partiendo de todas las fuentes de escape identificadas se han determinado las fuentes de ignición que hicieran posible la explosión, según la [UNE-EN\_1127-1,2012], indicando su probabilidad, efectividad y la causa que la podría originar. La determinación del riesgo potencial se ha llevado acabo aplicando individualmente una matriz sobre la probabilidad y las consecuencias de una posible explosión. (Ver su desarrollo en el punto 5 el Anexo III de la memoria).

#### **Cuarta parte. Trabajo de oficina: Plan de Acción**

Para finalizar el proyecto, y tomando como referencia la evaluación de riesgos y el trabajo de campo realizado visitando las instalaciones, se ha completado un plan de acción donde se recogen las medidas de prevención y/o protección frente a atmósferas

explosivas, indicando su estado de implantación en la empresa y la prioridad para llevarlas a cabo. (Ver su desarrollo en el punto 6 y el Anexo IV, V y VI de la memoria).

Para dar por concluido el proyecto en el punto 7 de la memoria, último apartado, se recogen las conclusiones que darán por finalizado el proyecto.

## **2. DESCRIPCIÓN DE LAS INSTALACIONES Y PROCESOS**

La actividad principal de la instalación es la fabricación de principios activos pertenecientes a diversas familias, como hipotensores, antihistamínicos, antieméticos, antineumocísticos y antipsicóticos entre otros, así como fabricaciones bajo contrato de intermedios o ingredientes activos farmacéuticos propios del cliente.

Dichos principios activos se obtienen mediante rutas de síntesis química, más o menos complejas, en función de la naturaleza del producto a fabricar. A grandes rasgos, los procesos industriales para la obtención de estos compuestos vienen determinados por una serie de etapas comunes en las que las únicas variaciones son las materias primas empleadas y los parámetros del proceso (tiempo, temperatura y orden de las operaciones).

Ello implica las siguientes operaciones habituales en este tipo de actividad: reacción química, tratamiento de dicha reacción, extracción del producto a medio orgánico, destilación, cristalización del producto para obtenerlo en fase sólida, centrifugación, secado (equipos de vacío o rotativos) y acabado.

Las instalaciones completas de la planta constan de diferentes edificios destacando a) el almacén de materias primas, donde se ubican las materias primas sólidas y recepciona el material de entrada a la planta, b) el edificio de calidad donde se ubican los departamentos de garantía y control de calidad, donde se realizan todos los controles de materias primas, de proceso y producto final, c) el taller y almacén de mantenimiento y d) la planta de producción que consta de 2 niveles: en el superior se encuentra la zona de reacción, donde se produce la carga de los reactores y la sala técnica donde se encuentran la entrada de servicios a los equipos, en el nivel 1 se encuentra la zona de reacción, donde se produce la descarga de los reactores y zonas de trasvase, filtración, etc y al igual que en el nivel superior, también se ubica una sala técnica donde se encuentran los cuadros de distribución y sala de control de los equipos. Por último en el nivel 0 se ubica el túnel de acabados donde se llevan a cabo las operaciones de tratamiento final del producto (centrifugación, secado y acabado).

Alrededor de la planta de producción se encuentra la zona de servicios a planta, donde se ubican los almacenes de bidones y tanques de materias primas líquidas, nitrógeno, el sistema

de agua de proceso, los grupos de frío, sistema de vacíos, agua caliente, las torres de refrigeración y la caldera de vapor, así como la depuradora, las columnas lavadoras de gases y las zonas de almacenamiento de residuos.

A continuación en la Figura 2.1. se representa un diagrama de flujo de un proceso productivo tipo.

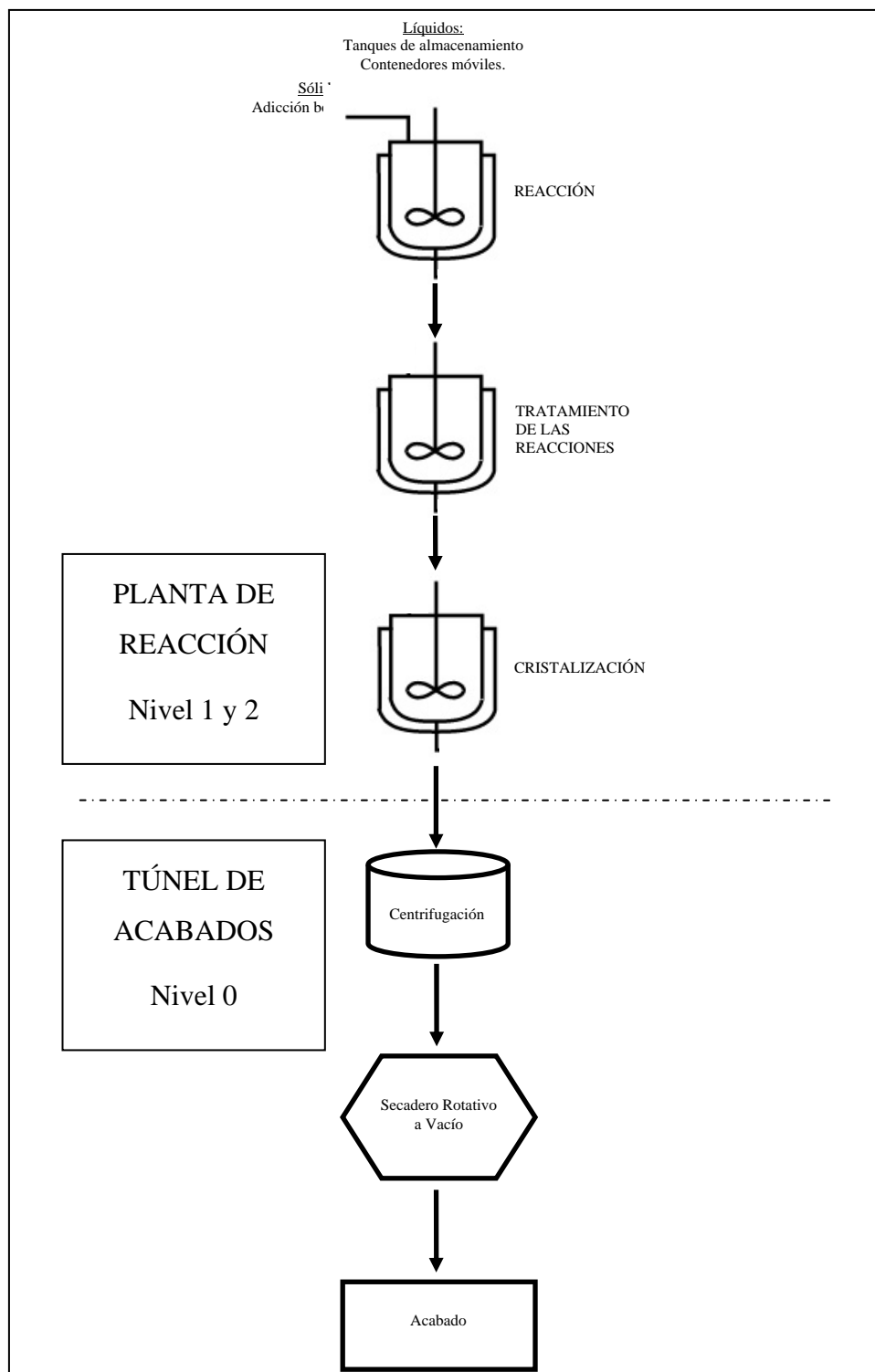


Figura 2.1.- Diagrama de flujo de producción en Niveles (alturas).

### **3. PRODUCTOS IMPLICADOS**

Una condición necesaria (aunque no suficiente) para que se produzca una explosión, es la presencia de sustancias inflamables en el proceso de trabajo o producción. En un proceso pueden intervenir una o varias sustancias clasificadas como inflamables, y que por tanto pueden generar un riesgo de explosión.

Las sustancias inflamables pueden estar presentes de forma evidente como materia prima o materia auxiliar del proceso, o de manera no tan obvia, como producto residual, intermedio o acabado, o generadas como consecuencia de un mal funcionamiento de la instalación.

Es necesario identificar todas las sustancias peligrosas que puedan estar presentes en la instalación y en el proceso, ya que sus características determinarán en gran medida las acciones a adoptar en adelante para garantizar los niveles de seguridad adecuados.

Desde el punto de vista del tipo de sustancias peligrosas se puede distinguir entre:

- Gases
- Vapores
- Nieblas
- Polvos combustibles

Mientras que el tratamiento de los tres primeros tipos de sustancias será similar, habrá notables diferencias con el tratamiento que se brindará a los polvos combustibles.

#### **3.1. Sólidos**

Para determinar la peligrosidad de los productos sólidos es importante recapitular una serie de propiedades que nos permitan caracterizarlas, así será importante tener en cuenta la temperatura mínima de ignición en capa ( $TMI_c$ ), la temperatura mínima de ignición en nube ( $TMI_n$ ), la concentración mínima de explosión (CME), la energía mínima de inflamación (EMI), y la severidad de la explosión, definida por presión máxima de explosión ( $P_{max}$ ), la velocidad máxima de aumento de la presión ( $K_{max}$ ) y la clase de explosión. En el siguiente apartado se incluyen las sustancias susceptibles de generar atmósferas potencialmente explosivas encontradas y sus propiedades (Tabla 3.1).

Tabla 3.1. Características sustancias sólidas

Nombre	TMI <sub>c</sub> (°C)	TMI <sub>n</sub> (°C)	CME (g/m <sup>3</sup> )	EMI (mJ)	P <sub>max</sub> (bar g)	K <sub>max</sub>	Clase de Explosión
PF01	Funde a 250	700	N/D	> 500	N/D	N/D	N/D
PF02	Funde a 120	350	N/D	1-3	N/D	N/D	N/D
PF03	Funde a 130	420	N/D	<1	8,3	237	St2
PF04	Funde a 210	480	N/D	21	7,6	110	St1
PF05	Funde a 140	440	N/D	<1	8,2	258	St2
PF06	Funde a 160	390	N/D	1-3	N/D	N/D	N/D
PF07	Funde a 110	390	N/D	3-10	N/D	N/D	N/D
PF08	Funde a 180	490	N/D	19	7,2	180	St1
PF09	Funde a 110	420	N/D	1,9	7,9	222	St2

ND: No Disponible

A partir de éstos datos ya se pueden comenzar a identificar cuales serán las fuentes de ignición a las que se deberá prestar especial atención a la hora de la evaluación de riesgos de las zonas clasificadas. Entre todas ellas se evaluarán minuciosamente:

#### Superficies calientes / Material eléctrico:

Los productos PF07, PF02, y en menor medida PF06 poseen muy bajos valores de temperatura mínima de ignición en capa (TMI<sub>c</sub>). En concreto, aplicando el coeficiente de seguridad especificado en la [UNE-EN\_1127-1, 2012], no existirán en el mercado equipos eléctricos o electrónicos que puedan garantizar este requisito. La única solución pasa por garantizar un grado de estanqueidad en la zona muy alto, aumentando la periodicidad de mantenimientos y sometiendo a inspecciones visuales la zona, además de un alto nivel de limpieza en las zonas de manejo de estos productos, de forma que se puedan desclasificar las zonas exteriores de los equipos.

Para el resto de productos, la temperatura mínima de ignición más desfavorable de los productos anteriormente mencionados es de 420°C en nube (TMI<sub>n</sub>) correspondiente a PF03 y PF09. De acuerdo con el coeficiente de seguridad especificado en la [UNE-EN\_1127-1, 2012], la máxima temperatura que alcancen los equipos deberá ser inferior a 280°C.

## Chispas mecánicas

Para poder valorar la efectividad de las chispas mecánicas con una determinada sustancia es necesario conocer la energía mínima de ignición (EMI) de la sustancia y la temperatura mínima de ignición en nube (TMI<sub>n</sub>). En la Tabla 3.2 se indica la capacidad de las distintas clases de chispas mecánicas existentes de inflamar una atmósfera explosiva generada por un producto, a partir de las características indicadas en la Tabla 3.1.

Tabla 3.2. Efectividad chispas mecánicas

Tipo de chispa mecánica	PF01	PF02	PF03	PF04	PF05	PF06	PF07	PF08	PF09
Fricción	NO	SI	SI	NO	SI	SI	SI	NO	SI
Molienda	NO	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI
Impacto	NO	SI	SI	NO	NO	SI	NO	NO	NO

## Electricidad estática

Existen distintos tipos de descargas electrostáticas con diferente potencial de explosión. Dependiendo de la Energía Mínima de Ignición (EMI) de la sustancia que genere la atmósfera explosiva, los distintos mecanismos de descarga tienen una energía potencial suficiente para inflamar la sustancia o no. Por ello, dependiendo de la energía mínima de ignición se deben tomar medidas preventivas más o menos restrictivas para evitar las descargas electrostáticas:

Tabla3.3. Efectividad electricidad estática

EMI (mJ)	Conclusiones
500	Baja sensibilidad a la ignición. Puesta a tierra de la planta cuando la energía de ignición está por debajo de este nivel.
100	Considerar la puesta a tierra del personal cuando la energía de ignición está por debajo de este nivel.
25	La mayoría de accidentes ocurren con niveles de energía mínima de ignición por debajo de este nivel. Considerar el riesgo de ignición de nubes de polvo por descargas electrostáticas.
10	Alta sensibilidad a la ignición. Precauciones en el uso de materiales aislantes. Considerar riesgos electrostáticos en almacenamiento de polvo a granel.
1	Sensibilidad extrema a la ignición. Para polvos con energías de ignición en estos niveles, tomar precauciones similares a las de gases o vapores.

Fuente: [CLC/TR\_60079-32-1, 2015]



Por tanto, la mayoría de las sustancias analizadas (a excepción de PF01), tienen una alta sensibilidad a la ignición cuando el producto está a temperatura ambiente por descargas electrostáticas.

Todos los sólidos orgánicos que participen en los procesos y que carezcan de información sobre su explosividad, serán considerados como explosivos y se deberán adoptar todas las medidas de prevención y protección para su manipulación.

### 3.2.Líquidos

Los líquidos inflamables manejados en mayores cantidades se recogen en la Tabla 3.4.:

Tabla 3.4. Características sustancias gases y/o vapores inflamables.

Nombre	Punto de inflamación (°C)	Densidad relativa al aire	LIE-LSE (%vol)	Temperatura de autoignición (°C)	Clase Temperatura	Grupo de gas
ACETONA	-20	2	2.5-13	465	T1	IIA
ACETONITRILO	6	1.4	3-16	523	T1	IIA
ÁCIDO ACÉTICO	39	2.07	4-17	469	T1	IIA
BUTANO	-60	2.05	1.5-8.5	287	T3	IIA
BUTANONA	-4	2.48	1.8-11.5	404	T2	IIA
CICLOHEXANO	-17	2.83	1.2-4.8	244	T3	IIA
DICLOROMETANO	-	1.78	7.1-18.5	625	T1	IIA
ETANOL	12	1.59	3.5-15	363	T2	IIA
HEPTANO	-4	3.46	1.1-6.7	215	T3	IIA
ISOPROPANOL	11	2.1	2-12.7	400	T2	IIA
METANOL	11	1.1	6-36	464	T1	IIA
METILTERBUTILETER	-28	3	1.6-8.4	460	T1	IIA
ORTO-XILGENO	17	3.66	1.1-6.4	464	T1	IIA
PENTANONA	16	2.97	1.5-8.2	432	T2	IIA
TETRAHIDROFURANO	-20	2.49	1.5-12	224	T3	IIB
TOLUENO	4	3.18	1.1-7.1	480	T1	IIA
TRIETILAMINA	-7	3.5	1.2-8	232	T3	IIA

Fuente 1: Fichas de datos de seguridad de los productos de proveedores.

Fuente 2: [UNE-EN\_202007\_IN, 2006]

Las principales propiedades para la clasificación de las zonas son:

- Caudal de emisión de vapor función de la presión de vapor ( $P_v$ ) y del coeficiente de difusión de los gases. ( $C_d$ )
- Masa molar.
- Límite inferior de explosión (LIE).

La extensión de la zona es directamente proporcional al caudal y área de emisión e inversamente proporcional al límite inferior de explosividad y a la masa molar.

Los cálculos de extensión de zonas se realizaron con las sustancias más desfavorables de todas las manejadas desde el punto de vista de la extensión de zona clasificada, o aquellas para las que su uso sea más frecuente en comparación con el resto.

Los vapores de los líquidos inflamables que puedan estar presentes en las instalaciones son más pesados que el aire y se clasifican en el Grupo II subgrupo A, conforme a la norma [UNE-EN\_60079-20-1, 2014]. De acuerdo con la Tabla 3 del apartado 5.5 de la norma [UNE-EN\_60079-14, 2010], el subgrupo de material eléctrico a utilizar será IIA, IIB o IIC, salvo en las áreas donde se use el tetrahidrofurano, que será IIB o IIC. La temperatura mínima de ignición más baja de todos los productos manipulados corresponde al n-heptano con un valor de 215 °C, por lo que la clase de temperatura de los aparatos, sistemas de protección y componentes será de T3 (incluyendo el coeficiente de seguridad especificado en la [UNE-EN\_1127-1, 2012]). También podrán utilizarse las clases de temperatura T4, T5 y T6.

Por otro lado, dado que las instalaciones objeto del estudio tienen un carácter multipropósito, nuevas materias primas pueden añadirse en el futuro, por lo que sería necesaria una nueva evaluación de los equipos con el fin de garantizar que éstos siguen siendo seguros en las nuevas condiciones de trabajo.

#### **4. CLASIFICACIÓN DE ZONAS**

En todas aquellas actividades en las que exista presencia de sustancias combustibles, no es posible descartar, a priori, que se puedan formar atmósferas explosivas. Por tanto, conforme a la Reglamentación, es necesario clasificar las zonas de la actividad en función de la probabilidad de que en ellas se manifieste una atmósfera explosiva.

La clasificación de zonas de las diferentes instalaciones está realizada de acuerdo a la [UNE-EN\_60079-10-1,2010] y [UNE-EN\_60079-10-2,2010] y su guía de aplicación [UNE-EN\_202007\_IN,2006].

De acuerdo con las mencionadas normas, las **zonas con riesgo de atmósfera de gas explosiva** se clasifican en zona 0/20, zona 1/21, zona 2/22 y zonas 0ED, 1ED, 2ED:

Siendo Zona 0 aquel emplazamiento en el que una atmósfera de gas explosiva está presente en forma continua o por largos periodos de tiempo.

Siendo Zona 20 aquel emplazamiento en el que una atmósfera explosiva de polvo, en forma de nube de polvo en el aire, está presente permanentemente, por largos periodos o frecuentemente.

Siendo Zona 1 aquel emplazamiento en el que es probable la aparición de una atmósfera de gas explosiva en funcionamiento normal.

Siendo Zona 21 aquel emplazamiento en el que una atmósfera explosiva de polvo en forma de nube de polvo en el aire, es probable que ocurra ocasionalmente en funcionamiento normal.

Siendo Zona 2 aquel emplazamiento en el que no es probable, en condiciones normales de explotación, la aparición de una atmósfera de gas explosiva o en la que, en caso de formarse, dicha atmósfera explosiva sólo permanece durante un breve periodo de tiempo.

Siendo Zona 22 aquel emplazamiento en el que una atmósfera explosiva de polvo, en forma de nube de polvo en el aire, no es probable que ocurra en funcionamiento normal, y si se produce, solamente persistirá durante un corto periodo.

Siendo Zonas 0ED, 1ED, 2ED aquellas zonas de extensión despreciable en condiciones normales.

Las áreas de trabajo de la instalación que no cumplan las características de las zonas anteriormente mencionadas son áreas no clasificadas, sin riesgo de atmósfera potencialmente explosiva, y por lo tanto sin ningún tipo de exigencia desde el punto de vista de este estudio.

Para llevar acabo esta clasificación han sido necesarios diversos pasos:

#### **4.1.Determinación de las fuentes de escape**

Puntos o lugares desde el cual un gas, vapor, líquido inflamable o polvo combustible se puede escapar a la atmósfera, de forma que se pueda formar una atmósfera explosiva.

Existen tres **grados básicos de escape**, que se clasifican a continuación en orden decreciente en cuanto a la probabilidad de que la atmósfera de gas explosiva esté presente:

- Grado de escape continuo (C): Es un escape que se produce de forma continua o presumiblemente durante largos periodos.

- Grado de escape primario (P): Es un escape que se produce presumiblemente de forma periódica u ocasionalmente durante el funcionamiento normal.
- Grado de escape secundario (S): Es un escape que no se prevé en funcionamiento normal y si se produce es probable que ocurra infrecuentemente y en periodos de corta duración.

El gas que se ha escapado a la atmósfera se puede dispersar en el aire hasta que su concentración sea más baja que el límite inferior de explosión. La ventilación 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. Es por ello que otro paso importante en la clasificación de zonas es la determinación de la ventilación.

#### **4.2. Estudio de la ventilación**

La ventilación es el movimiento del aire y su renovación por aire fresco (es decir, sin contaminación) originado por el viento, por el gradiente de temperaturas o por medios artificiales. Así se deberá determinar el tipo de ventilación:

- Natural: 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 que aparezca en el emplazamiento.
- Artificial: Ventilación proporcionada por medios artificiales, por ejemplo ventiladores y extractores.

La eficacia de la ventilación en el control de la dispersión y en la persistencia de la atmósfera explosiva dependerá del grado y de la disponibilidad de la ventilación y del diseño del sistema.

Se reconocen los tres **grados de ventilación** siguientes:

- Ventilación alta: Es capaz de reducir de forma prácticamente instantánea la concentración en la fuente de escape obteniéndose una concentración inferior al límite inferior de explosión. Resulta así, una zona de pequeña extensión (casi despreciable).
- Ventilación media: Es capaz de controlar la dispersión, manteniendo una situación estable, donde la concentración más allá de una zona confinada es inferior al límite inferior de explosividad, mientras el escape se está produciendo, y cuando éste cesa, la atmósfera explosiva no persiste excesivamente.

- **Ventilación baja:** Es la que no puede controlar la concentración mientras el escape se está produciendo y/o no puede impedir la persistencia indebida de la atmósfera explosiva después de que el escape se haya extinguido.

Deben considerarse los tres niveles de **disponibilidad de la ventilación**:

- **Muy Buena:** La ventilación existe de forma prácticamente permanente.
- **Buena:** La ventilación se espera que exista durante el funcionamiento normal. Las interrupciones se permiten siempre que se produzcan de forma poco frecuente y por cortos periodos.
- **Mediocre:** La ventilación no cumple los criterios de la ventilación buena o aceptable, pero no se espera que haya interrupciones prolongadas.

La ventilación que no satisfaga los requerimientos de una disponibilidad mediocre no contribuye a la renovación del aire.

#### **4.3.Emplazamiento peligroso (Clasificación y extensión de la zona)**

##### **4.3.1. Clasificación de la zona**

Con la información obtenida de la determinación de los grados de escape y la ventilación se define la clase de zona de acuerdo con la norma [UNE-EN\_60079-10-1,2010]: 2010. Se adjunta tabla 4.1 basada en la citada norma:

Tabla 4.1. Influencia de la ventilación independiente en el tipo de zona

	Ventilación						
Grado de Escape	Grado						
	Alto			Medio		Bajo	
	Disponibilidad						
	buena	aceptable	pobre	buena	aceptable	pobre	buena, aceptable o pobre
Continuo	(Zona 0 ED) No peligrosa <sup>a</sup>	(Zona 0 ED) Zona 2 <sup>a</sup>	(Zona 0 ED) Zona 1 <sup>a</sup>	Zona 0	Zona 0 + Zona 2	Zona 0 + Zona 1	Zona 0
Primario	(Zona 1 ED) No peligrosa <sup>a</sup>	(Zona 1 ED) Zona 2 <sup>a</sup>	(Zona 1 ED) Zona 2 <sup>a</sup>	Zona 1	Zona 1 + Zona 2	Zona 1 + Zona 2	Zona 1 o Zona 0 <sup>c</sup>
Secundario <sup>b</sup>	(Zona 2 ED) No peligrosa <sup>a</sup>	(Zona 2 ED) No peligrosa <sup>a</sup>	Zona 2	Zona 2	Zona 2	Zona 2	Zona 1 e incluso Zona 0 <sup>c</sup>

NOTA 1 "+" significa "rodeada por".

NOTA 2 Debería tenerse un cuidado especial para evitar situaciones donde emplazamientos cerrados que contengan fuentes que solo tengan escapes de grado secundario pudieran clasificarse como zona 0. Esto se aplica igualmente a pequeños emplazamientos cerrados no purgados ni presurizados, por ejemplo, paneles de instrumentos o envolventes de protección de instrumentos contra la intemperie, emplazamientos acondicionados térmicamente aislados o espacios entre las tuberías y sus envolturas de aislamiento térmico.

Conviene que tales envolventes estén provistas de al menos algún tipo de aberturas localizadas apropiadamente que permitirán el movimiento del aire sin dificultad en el interior. Cuando esto no sea posible, práctico o deseable, se debería hacer un esfuerzo para mantener las potenciales fuentes de escape fuera de las envolventes, por ejemplo, las conexiones de tuberías normalmente deben estar apartadas de las envolventes de aislamiento así como cualquier otro equipo que pueda considerarse como una potencial fuente de escape.

NOTA 3 Es conveniente que las fuentes de escape de grado continuo y primario no estén preferentemente localizadas en emplazamientos con un grado de ventilación bajo. O bien las fuentes de escape deberían localizarse de nuevo o la ventilación mejorada o el grado de la fuente de escape reducido.

NOTA 4 Conviene que la suma de las fuentes de escape con una actividad regular (es decir, muy previsible) se base en el análisis detallado de los procedimientos operativos. Por ejemplo,  $N$  fuentes de escape con un modo común de escape deberían considerarse normalmente como una fuente de escape única con  $N$  puntos diferentes de escape

<sup>a</sup> Zona 0 ED, 1 ED o 2 ED indica una zona teórica de extensión despreciable en condiciones normales.

<sup>b</sup> La zona 2 creada por un escape de grado secundario puede ser excedida por las zonas correspondientes a los escapes de grado continuo o primario; en este caso debería tomarse la extensión mayor.

<sup>c</sup> Será zona 0 si la ventilación es tan débil y el escape es tal que prácticamente la atmósfera de gas explosiva esté presente de manera permanente (es decir, es una situación próxima a la de ausencia de ventilación).

#### 4.3.2. Extensión de la zona

A la hora de calcular la extensión de la zona se pueden encontrar dos situaciones que la extensión de la zona a) se encuentre contenida en el equipo o instalación ámbito del estudio o por el contrario b) se emita a los diferentes emplazamientos determinados. Si la situación corresponde con el primer caso, el estudio habrá finalizado. Si por el contrario no es el caso, se deberá determinar. Para ello se deberá, en primer lugar, calcular la tasa de escape que permita el cálculo del alcance de la emisión según fuera el tipo, si se trata de un líquido o un gas, si el líquido evapora o no en emisión. Una vez conocida, se verificará el grado de ventilación y se calculará la persistencia de la atmósfera explosiva. Estos valores permitirán determinar la clasificación y extensión de la zona calculada. La distancia peligrosa o extensión de la zona calculada puede ser utilizada para identificar el orden de magnitud de las dimensiones de la zona peligrosa. En todo caso, la extensión en la dirección de emisión o de dispersión debe ser al menos igual a la distancia peligrosa, siendo aconsejable que sea mayor.

En el Anexo I de este estudio se han identificado las áreas y equipos con posibilidad de generación de atmósferas explosivas y se ha identificado sus fuentes de escape, características de ventilación y se ha llevado a cabo la correspondiente clasificación de zonas. En el Anexo II se han recogido los cálculos realizados para la cuantificación de la extensión de las zonas.

### 5. EVALUACIÓN DE RIESGOS

En base a las características de las instalaciones y las sustancias utilizadas en los procesos objeto de análisis, y que han sido descritas en los apartados precedentes, se ha aplicado un método sistemático basado en el Proyecto europeo [RASE,2000] para determinar de forma cualitativa los eventuales riesgos de explosión.

Para ello se han analizado en cada instalación de forma individual los diferentes elementos que la componen, y para cada uno de ellos, la influencia de los factores que determinan la aparición de riesgos de explosión. El resultado de dicho análisis queda recogido en el Anexo III de esta memoria.

Para la realización del análisis se han determinado las fuentes de ignición que pueden entrar en contacto con la atmósfera explosiva. Las **fuentes de ignición** a evaluar indicadas en la [UNE-EN\_1127-1, 2012] son:

- Superficies calientes
- Llamas y gases calientes
- Chispas de origen mecánico
- Material eléctrico
- Corrientes eléctricas parásitas
- Electricidad estática
- Rayo
- Ondas electromagnéticas de radiofrecuencia (RF) de 104 Hz a  $3 \times 10^{12}$  Hz
- Ondas electromagnéticas de  $3 \times 10^{11}$  Hz a  $3 \times 10^{15}$  Hz
- Radiación ionizante
- Ultrasonidos
- Compresión adiabática y ondas de choque
- Reacciones exotérmicas, incluyendo la autoignición

Para la realización de la evaluación de riesgos de explosión, se ha estudiado la probabilidad de que se genere una de estas fuentes de explosión y su efectividad en caso de que se produjera. Una vez determinados estos dos factores, combinados con la probabilidad de que se genere una atmósfera explosiva (clasificación de zonas), se calcula la probabilidad de que se produzca una explosión.

La evaluación de las instalaciones ha sido realizada teniendo en cuenta todos los modos de operación, es decir:

- Condiciones de operación normal
- Operaciones de mantenimiento

- Paradas y puestas en marcha
- Condiciones anómalas, condiciones de fallo previsibles

Para determinar el **Nivel de Riesgo** se consideraron dos factores:

- La Probabilidad de que se materialice un evento (explosión)
- Las Consecuencias que ello tendría

La **Probabilidad** de que se materialice un evento puede ser:

- *Frecuente*: Ocurre continuamente
- *Probable*: Ocurre varias veces en la vida del sistema
- *Ocasional*: Ocurre alguna vez en la vida del sistema
- *Remoto*: Improbable, pero podría ocurrir en la vida del sistema
- *Improbable*: Es muy improbable, por lo que puede que no se produzca nunca.

Las **Consecuencias** de una explosión se pueden clasificar en:

- *Catastrófico*: Muerte o pérdida de la instalación
- *Mayor*: Daños severos en personas (accidente o enfermedad) o instalaciones.
- *Menor*: Daños menores en personas (accidente o enfermedad) o instalaciones
- *Despreciable*: Daños mínimos en personas o instalaciones

Con lo cual, el criterio para definir el Nivel de Riesgo de un evento en función de la probabilidad de que ocurra, y de las consecuencias que tendría será el descrito en la Tabla 5.1:

Tabla5.1. Matriz para evaluación del nivel de riesgo

Probabilidad	Consecuencias			
	Catastrófico	Mayor	Menor	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

Fuente: [RASE,2000] / [NTP876,2010]



La Tabla 5.2 describe las implicaciones de las distintas categorías de riesgo.

Tabla 5.2: Significado del nivel de riesgo

NIVEL DE RIESGO	SIGNIFICADO	CONSECUENCIA
<b>A</b>	Alto	Es necesario adoptar medidas adicionales de eliminación o reducción del riesgo tanto como sea posible, hasta alcanzar al menos el nivel B. La prioridad de implantación será alta. Si es necesario se implementarán procedimientos provisionales para gestionar la situación temporal
<b>B</b>	Medio	Es necesario adoptar medidas adicionales de eliminación o reducción del riesgo tanto como sea posible. En caso de que no sea posible reducir el riesgo, se puede aceptar mediante la existencia de procedimientos de seguridad. En ese caso, estos riesgos tienen que ser revisados periódicamente.
<b>C</b>	Bajo	Situación aceptable, aunque sería recomendable reducir el riesgo mediante la adopción de medidas de minimización.
<b>D</b>	Despreciable	No es necesario adoptar medidas adicionales

Fuente: [RASE,2000]

En el caso de que se haya determinado que una sustancia no puede generar una atmósfera explosiva, la evaluación de riesgos de dicha instalación está terminada.

## **6.PLAN DE ACCIÓN**

A pesar de que el nivel general observado durante el trabajo de campo, visitando y evaluando la planta ha sido satisfactorio y se encuentra dentro de los niveles de riesgo controlado, a partir de la evaluación de riesgos, se imponen una serie de medidas para la prevención y/o protección contra explosiones. Éstas se encuentran recogidas en el Anexo IV.

Para una mejor comprensión de la Tabla de medidas recomendadas, a continuación se definen algunos de los conceptos incluidos en la misma:

- Clase de medida: Dentro de este apartado se indica la clase de medida que se está proponiendo y cuál es el principio de protección perseguido:
  - A) Medidas técnicas:
    - A1) Prevención de atmósferas explosivas
    - A2) Prevención de fuentes de ignición.

## A3) Limitación de los efectos de una explosión

## A4) Sistemas de control de procesos

## • B) Medidas organizativas

## B1) Prevención de atmósferas explosivas

## B2) Prevención de fuentes de ignición.

– Estatus: Grado de implantación de la medida recomendada:

- Implantada: la medida se ha ejecutado
- Pendiente: la medida no se ha ejecutado
- En proceso: la medida está parcialmente implantada

– Tipo de medida: En este apartado se indica si la medida a adoptar es puntual (se hace una sola vez), o continua (implica una aplicación permanente de la medida).– Prioridad: En este apartado se indica la prioridad recomendada de aplicación de la medida a adoptar a efectos de una eventual planificación. Los tramos de prioridad se establecen en función de la importancia de la medida y/o de la gravedad del riesgo que se pretende minimizar. Según se indican en la Tabla 5.3.

Tabla 5.3 Prioridad y plazos de ejecución del plan de acción.

PRIORIDAD	PLAZOS (meses)
A: Máxima	0-6
B: Media	0-18
C: Baja	0-24

**7.CONCLUSIONES**

Es necesario comenzar con el capítulo dedicado a las conclusiones recordando que el objetivo principal del proyecto era el cumplimiento con el requerimiento del RD 681/2003, sobre la protección de la salud y seguridad de los trabajadores expuestos a los riesgos derivados de atmósferas explosivas en el lugar de trabajo. Concretamente se trataba el requisito de la redacción del documento de protección contra explosiones de la empresa. Éste se ha cumplido con esta memoria y los anexos correspondientes.

Los resultados obtenidos en la evaluación de riesgos y las visitas realizadas a la planta nos permiten indicar que el nivel de seguridad alcanzado por la empresa entra dentro de la catalogación de riesgo controlado presentando un nivel de riesgo bajo en la mayoría de las fuentes de escape evaluadas, y aún vería disminuido si se adoptan las medidas necesarias que se han recogido en el plan de acción indicado, haciendo hincapié en:

- La realización de una inspección exhaustiva de todos los equipos actualmente en funcionamiento instalados en zonas clasificadas para comprobar su idoneidad.
- Según las sustancias que vayan a ser manejadas en cada zona, los equipos destinados a trabajar en ella deben tener una determinada clase de temperatura y grupo de gas.
- Estudiar la posibilidad de adicionar los sólidos de forma que se minimice la entrada de aire en el interior del reactor.
- Estudiar la posibilidad de sustituir los actuales sistemas de tomas de muestras por sistemas que minimicen la entrada de aire en el interior del reactor.

Estos dos últimos puntos, incluso podrían ser parte de un proyecto de diseño, ya que en el caso del adicionador de sólidos, sí que existen dispositivos comerciales, pero estos no suelen estar diseñados para ser acoplados a la boca de hombre, sino a bridas que existan en la cúpula del reactor. Esto genera un problema de caudal de alimentación si se realiza la carga de forma manual o de espacio en las instalaciones si se requiere de un sistema automático de carga por vacío. En el caso del sistema de toma de muestra no existen a nivel comercial, ya que van más destinados a procesos en continuo, sin tantos requerimientos en cuanto aspectos de limpiezas para evitar los casos de contaminación cruzada por distintos principios activos.

Los mayores problemas encontrados a la hora de la realización del proyecto han sido, en una primera fase, la lectura y comprensión de la elevada reglamentación y normativa práctica que existe al respecto, así como de sus guías técnicas de aplicación, que una vez asimiladas han sido de gran ayuda para la ejecución del proyecto.

Otro de los grandes problemas y donde más tiempo se ha invertido en la realización del proyecto ha sido en los cálculos de las tasa de escape, ventilación y extensión de zonas, sólo por la cantidad de información que es necesaria como volúmenes de la salas, presiones de vapor de las sustancias, etc, sino que también se han tenido que determinar parámetros críticos, como área de superficie de líquido, donde se tenían que evaluar por ejemplo los distintos reactores, calcular sus áreas y estimar cuál sería el caso más desfavorable, o determinar el tiempo posible de emisión de un escape. Por ejemplo, en el caso de los trabajos

con boca de reactor abierta, había que estudiar los distintos procesos que se llevaban acabo en los diferentes reactores y mediante una matriz identificar en qué situaciones era más habitual encontrarse, o modelar la distancia de peligro determinando la dispersión de la atmósfera explosiva en el emplazamiento peligroso y sobre todo seleccionar las fórmulas según el tipo de emisión en la que nos encontrábamos.

Para finalizar, es importante destacar que una vez realizados los cálculos y comparados con las estimaciones de las distintas guías o manuales, en la mayoría de los casos éstas, suelen ser más conservadoras, estableciendo distancias de seguridad más elevadas a las calculadas en este proyecto fin de carrera.

## **8.BIBLIOGRAFÍA**

- [UNE-EN\_202007\_IN,2006]. AENOR (2006). *Guía de aplicación de la Norma UNE-EN 60079-10. Material eléctrico para atmósferas de gas explosivas. Clasificación de emplazamientos peligrosos.* UNE202007 IN. Madrid: AENOR.
- [UNE-EN\_60079-10-1,2010]. AENOR (2010). *Atmósferas explosivas. Parte 10-1: Clasificación de emplazamientos. Atmósferas explosivas gaseosas.* UNE-EN 60079-10-1. Madrid: AENOR.
- [UNE-EN\_60079-10-2,2010]. AENOR (2010). *Atmósferas explosivas. Parte 10-2: Clasificación de emplazamientos. Atmósferas explosivas de polvo.* UNE-EN 60079-10-2. Madrid: AENOR.
- [UNE-EN\_60079-14,2010]. AENOR (2010). *Atmósferas explosivas. Parte 14: Diseño, elección y realización de las instalación eléctrica.* UNE-EN 60079-14. Madrid: AENOR.
- [UNE-EN\_1127-1,2012]. AENOR (2012). *Atmósferas explosivas. Prevención y protección contra la explosión. Parte 1: Conceptos básicos y metodología.* UNE-EN 1127-1. Madrid: AENOR.
- [UNE-EN\_60601,2013]. AENOR (2013). *Salas de máquinas y equipos autónomos de generación de calor o frío o para cogeneración, que utilizan combustibles gaseosos.* UNE-EN 60601. Madrid: AENOR.
- [UNE-EN\_60079-20-1,2014]. AENOR (2014). *Atmósferas explosivas. Parte 20-1: Características de los materiales para la clasificación de gases y vapores. Métodos y datos de ensayo.* UNE-EN 60079-20-1. Madrid: AENOR.

- [UNE-EN\_60079-17,2014]. AENOR (2014). *Atmósferas explosivas. Inspección y mantenimiento de instalaciones eléctricas*. UNE-EN 60079-17. Madrid: AENOR.
- [UNE-EN\_60312,2015]. AENOR (2015). *Estaciones de regulación para canalizaciones de distribución de combustibles gaseosos con presión de entrada no superior a 16 bar*. UNE-EN 60312. Madrid: AENOR.
- [CLC/TR\_60079-32-1,2015]. AENOR (2015). *Atmósferas explosivas. Parte 32-1 Peligros electrostáticos. Guía*. UNE-EN 60079-32-1. Madrid: AENOR.
- [NTP876,2010]. ALONSO, C (2010). *NTP 876. Evaluación de los riesgos específicos derivados de las atmósferas explosivas (ATEX)*. Madrid: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el trabajo.  
<<http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/821a921/876w.pdf>>
- [Manual,2005]. ESCUER IBARS, F., GARCÍA TORRENT, J. (2005). *Manual práctico para clasificación de zonas en atmósferas explosivas*. Barcelona: Colegio de ingenieros técnicos industriales de Barcelona.
- [RD\_681,2003]. Real Decreto 681/2003, de 12 de junio, sobre la protección de la salud y seguridad de los trabajadores expuestos a los riesgos derivados de atmósferas explosivas en el lugar de trabajo. BOE, de 18 de junio de 2003, núm. 145, p. 23341 a 23345.
- [RD\_842,2002]. Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, Reglamento electrotécnico de baja tensión. BOE, de 18 de septiembre de 2002, núm. 224, p. 33084 a 33086
- [RD\_400,1996]. Real Decreto 400/1996, de 1 de marzo, por el que se dicta las disposiciones de aplicación de la Directiva del Parlamento Europeo y el Consejo 94/9/CE, relativa a los aparatos y sistemas de protección para uso en atmósferas potencialmente explosivas. BOE, de 8 de abril de 1996, núm. 85, p. 12903 a 12916.
- [RD\_1435,1992]. Real Decreto 1435/1992, de 27 de noviembre, por el que se dictan las disposiciones de aplicación de la Directiva del Consejo 89/392/CEE, relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros sobre máquinas. BOE, de 11 de diciembre de 1992, núm. 297, p. 41972 a 41994.
- [RD\_56,1995]. Real Decreto 56/1995 de 20 de enero, por el que se modifica el Real Decreto 1435/1992, de 27 de noviembre, relativo a las disposiciones de aplicación de la Directiva del Consejo 89/392/CEE, sobre máquinas. BOE, de 8 de febrero de 1995, núm. 33, p. 4053 a 4059.

- [GT\_ATEX,2009]. Guía Técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con las atmósferas explosivas en los lugares de trabajo 1ª Edición - 2ª Impresión: julio 2009. Madrid: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el trabajo.
- [UE\_Tratado,1985]. Tratado Constitutivo de la Comunidad Europea, de 12 de junio de 1985.
- [GT\_ATEX\_EU,2013] European Commission. Guidelines on the application of directive 94/9/EC of the European parliament and the council of 23 march 1994 on the approximation of the laws of the Member States concerning equipment and protective Systems intended for use in potentially Explosive Atmospheres Fourth edition September 2012 - Update December 2013.  
<<http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/mechanical/documents/guidance/atex/application/>>
- [RASE,2000]. ROGERS, R.L. (2000). *The RASE Project( EU Project N° SMT4-CT97-2169): Explosive Atmospheres: Risk Assessment of Unit Operations and Equipment.*  
<[www.ineris.fr/centredoc/rase2000\\_va.pdf](http://www.ineris.fr/centredoc/rase2000_va.pdf)>
- [CSB]. U.S. CHEMICAL SAFETY AND HAZARD INVESTIGATION BOARD. Database. <http://www.csb.gov/>
- [eMARS]. eMARS. Database. <https://emars.jrc.ec.europa.eu/>
- [CSB, 2006]. U.S. CHEMICAL SAFETY AND HAZARD INVESTIGATION BOARD. (2006). *Combustible dust hazard study.* Report N° 2006-H-1  
<[http://www.csb.gov/assets/1/19/dust\\_final\\_report\\_website\\_11-17-06.pdf](http://www.csb.gov/assets/1/19/dust_final_report_website_11-17-06.pdf)>
- [CSB, 2008a]. U.S. CHEMICAL SAFETY AND HAZARD INVESTIGATION BOARD. (2008). *Case Study Static Spark Ignites Flammable Liquid during Portable Tank Filling Operation* Report N° 2008-02-I-IA  
<[http://www.csb.gov/assets/1/19/Barton\\_Case\\_Study\\_-\\_9\\_18\\_2008.pdf](http://www.csb.gov/assets/1/19/Barton_Case_Study_-_9_18_2008.pdf)>
- [CSB, 2008b]. U.S. CHEMICAL SAFETY AND HAZARD INVESTIGATION BOARD. (2008). *Case Study Static Spark Ignites Explosion Inside Flammable Liquid Storage Tank.* Report N° 2007-06-I-KS  
<[http://www.csb.gov/assets/1/19/Barton\\_Case\\_Study\\_-\\_9\\_18\\_2008.pdf](http://www.csb.gov/assets/1/19/Barton_Case_Study_-_9_18_2008.pdf)>

# Anexos

---