

Trabajo Fin de Grado
Grado en Ingeniería de las Tecnologías
Industriales

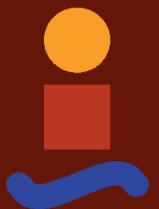
Documento de protección contra explosiones en
una planta de fabricación de elementos de elevación

Autor: Juan Carlos Romero Salguero

Tutora: Aida Estévez Urra

Dpto. de Ingeniería Mecánica y Fabricación
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2019



Trabajo Fin de Grado
Grado en Ingeniería de las Tecnologías Industriales

Documento de protección contra explosiones en una planta de fabricación de elementos de elevación

Autor:

Juan Carlos Romero Salguero

Tutora:

Aida Estévez Urra

Profesora Colaboradora

Dpto. de Ingeniería Mecánica y de Fabricación

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2019

Proyecto Fin de Carrera: Documento de protección contra explosiones en una planta de fabricación de elementos de elevación

Autor: Juan Carlos Romero Salguero

Tutora: Aida Estévez Urra

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2019

El Secretario del Tribunal

A mi madre

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradecer a mi tutora Aída su confianza en mí, su paciencia y su profesionalidad. Tan importante su elevado conocimiento técnico, su fantástica labor docente, como su dedicación, empatía e inteligencia emocional.

A esta Escuela que me ha acompañado gran parte de mi vida y, por tanto, es una parte muy importante de mi mismo sin la que no me recuerdo.

A mi familia, mi esposa y mis dos hijos, Mario y Lucía, quienes me han apoyado incondicionalmente sufriendo mi ausencia.

A mis compañeros y amigos, quienes siempre, desde el cariño y preocupación, me han empujado con la dichosa pregunta: “¿cuándo vas a acabar?”

Juan Carlos Romero Salguero

Grado en Ingeniería de las Tecnologías Industriales

Sevilla, 2019

RESUMEN

En este documento se realizará el estudio del proceso y sustancias utilizadas en una planta de fabricación de elementos de elevación que pueden dar lugar a la formación de atmósferas explosivas, se clasificarán las diferentes zonas según el reglamento, se evaluarán los riesgos y se propondrán acciones correctoras para reducir esos riesgos a un nivel aceptable. Todo ello, en base a los requisitos impuestos por el 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, dando cumplimiento al artículo 8 del Real Decreto que prescribe la elaboración del documento de protección contra explosiones.

Para ello, en primer lugar, se realiza una introducción a los conceptos básicos relativos a atmósferas explosivas, introduciendo los conceptos de explosión y las fuentes de ignición que pueden iniciarla, y se aportan algunas ideas para identificar las sustancias inflamables que poseen las características que podrían generar una atmósfera explosiva.

Una vez establecidos los fundamentos para la formación de una atmósfera explosiva, se describen las instalaciones de la fábrica, los productos que se obtienen y los procesos industriales que se llevan a cabo para su fabricación, información imprescindible para discriminar aquellos puntos susceptibles de la aparición de la atmósfera explosiva. Se detallan las características relacionadas con la sensibilidad y severidad de la explosión de aquellas sustancias utilizadas, tanto en estado gaseoso o líquido como polvo, y los procesos concretos, estableciendo un diagrama de operaciones, que pueden originar atmósferas explosivas.

Con esta información, para cada proceso y sustancia se analizan las posibles fuentes y grados de escape, junto con el grado de dilución y la disponibilidad de la ventilación del área, lo que permite el cálculo de las zonas clasificadas, tanto el tipo de cada zona como su extensión, presentando los resultados también gráficamente en el anexo B.

Para evaluar la posible presencia de estas atmósferas explosivas calculadas, se presenta una metodología de evaluación del riesgo, teniendo en cuenta, la clasificación de las zonas y la probabilidad de aparición de los focos de ignición. Esto indica la probabilidad de explosión, y por otro lado, la severidad de la explosión, determinando el resultado de la evaluación que sirve para establecer un valor de prioridad en las acciones correctoras que deban acometerse para disminuir los niveles de riesgo.

Una vez determinados estos niveles de riesgo y prioridad se proponen medidas correctoras, para evitar la formación de una atmósfera explosiva o bien evitar las fuentes de ignición o, en última instancia, atenuar los efectos de una explosión y evitar la propagación.

ABSTRACT

This report will analyse the process and substances used in a manufacturing plant for lifting elements that can lead to the creation of explosive atmospheres, the different zones that will be classified according to the regulation, the risks that will be evaluated, as well as the and corrective actions that be will be proposed to reduce these risks to an acceptable level. All of this based on the requirements imposed by RD 681/2003, of June 12, on the protection of the health and safety of workers exposed to the risks derived from explosive atmospheres in the workplace, in compliance with article 8 of the RD prescribing the preparation of the document of protection against explosions.

With this aim, an introduction to the basic concepts related to explosive atmospheres is firstly presented, explaining the terms of explosion and sources of ignition, and some additional ideas are provided to identify flammable substances having the characteristics that could generate an explosive atmosphere.

Once the foundations for the formation of explosive atmospheres have been established, the factory facilities are explained in detail, including the obtained products and the industrial processes performed for its manufacture. This is essential to discriminate those points susceptible to the appearance of the explosive atmosphere. The characteristics related to the sensitivity and explosion severity of the used substances, both in gaseous or liquid state and dust, are described, similarly to the specific processes, establishing an operation diagram, that may cause explosive atmospheres.

Having this information, for each process and substance the possible sources and degrees of escape are analysed, together with the degree of dilution and the availability of ventilation of the area. This allows calculating the classified zones, both its type and its extension, presenting the graphical results in Annex B.

Then, a risk assessment methodology is presented in order to evaluate the possible presence of these explosive atmospheres, taking into account the classification of the zones and the probability of appearance of the ignition sources. This indicates the probability of explosion and, on the other hand, the severity of the explosion, determining the result of the evaluation that enables setting a priority value to the corrective actions that must be undertaken to reduce the levels of risk.

Once these levels of risk and priority have been determined, corrective measures are proposed to avoid the formation of an explosive atmosphere or to avoid the sources of ignition or, in the last instance, to mitigate the effects of an explosion and prevent its spread.

1	Introducción	1
1.1	Antecedentes	1
1.2	Objetivos	2
1.3	Tareas a desarrollar	3
2	Atmósferas explosivas	5
3	Descripción de las instalaciones	13
3.1	Descripción del establecimiento	13
3.2	Descripción del producto	13
3.3	Descripción de los procesos	14
4	Datos de entrada	17
4.1	Sustancias empleadas	17
4.2	Procesos industriales	18
4.3	Diagrama de operaciones del establecimiento	20
5	Clasificación de zonas	21
5.1	Clasificación debido a polvos combustibles. Consideraciones	21
5.1.1	Características principales de los polvos	21
5.1.2	Identificación de las fuentes de escape	22
5.1.3	Determinación de su grado de escape	23
5.1.4	Grado de ventilación o perturbación	23
5.1.5	Grado de limpieza de las capas de polvo	23
5.1.6	Zonas clasificadas por polvo	23
5.2	Clasificación debido a líquidos y gases inflamables. Consideraciones	24
5.2.1	Características principales de los gases y vapores inflamables	24
5.2.2	Identificación de fuentes de escapes	25
5.2.3	Tipo y extensión de las zonas	25
5.2.4	Zonas clasificadas por líquidos y gases inflamables	28
6	Medidas existentes	31
6.1	Medidas preventivas existentes	31
6.2	Medios de protección existentes	32
7	Evaluación del riesgo	33
7.1	Probabilidad de presencia y activación de posibles focos de ignición	34
7.2	Probabilidad de explosión	35

7.3	Proporciones de los efectos previsible	36
7.4	Evaluación del riesgo de explosión	37
7.5	Requisitos legales del empresario	39
7.6	Prioridad y propuesta de las medidas correctoras	40
8	Resultados	43
9	Listado de equipos	47
10	Justificación de cálculos	49
10.1	Magnitudes y coeficientes relevantes para los cálculos	49
10.2	Resumen del procedimiento para la clasificación de zonas	49
10.3	Expresiones de cálculo utilizadas	52
10.4	Formas de las zonas peligrosas	59
10.5	Justificación de la clasificación de zonas por sustancias líquidas o gaseosas	60
10.5.1	Estación reguladora de gas natural (ERM)	60
10.5.2	Rampas de gas en túnel de pintura seca (Quemadores)	64
10.5.3	Retractilado con gas propano	67
10.5.4	Hidrógeno en carga de baterías	73
10.5.5	Recipientes abiertos con disolvente para limpieza	75
10.5.6	Cabina de pintura líquida	78
10.5.7	Túnel de pintura en polvo	80
10.5.8	Soldadura por olas	82
11	Marcado de equipos	83
11.1	Certificado IECEX y Certificado ATEX	84
11.2	Marcado ATEX	85
11.3	Marcado normativo	87
11.4	Modos de protección	87
11.5	Grupo de gas	89
11.6	Grupo de polvo	89
11.7	Clases de temperatura	90
11.8	Temperatura superficial máxima y temperatura de capa	90
11.9	Nivel de protección	91
11.10	Grado de protección IP	92
12	Conclusiones	93
13	Trabajos futuros	95
14	Referencias	97
15	Anexos	99
	ANEXO A: Planos e imágenes de la instalación	100
	ANEXO B: Representación gráfica de las zonas clasificadas en la planta	102

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1: Frases H y P y pictograma asociados a posibles atmósferas explosivas	7
Tabla 4-1: Características de las sustancias pulverulentas empleadas	17
Tabla 4-2: Características de las sustancias inflamables	18
Tabla 4-3: Análisis funcional de las operaciones	20
Tabla 5-1: Clases de explosión en función de K_{max}	22
Tabla 5-2: Fuentes de escape, zonas clasificadas	23
Tabla 5-3: zonas clasificadas por polvo	24
Tabla 5-4: Clasificación en función del grado de escape	26
Tabla 5-5: Clasificación de la ventilación por tipo, grado y disponibilidad	27
Tabla 5-6: Clasificación de zonas en función del grado de escape y las características de la ventilación	28
Tabla 5-7: Zonas clasificadas por líquidos y gases inflamables	29
Tabla 6-1: Medidas preventivas existentes para evitar la formación o persistencia de una atmósfera explosiva	31
Tabla 6-2: Medidas Preventivas existentes para evitar la activación de focos de ignición	32
Tabla 7-1: Focos de ignición	34
Tabla 7-2: Probabilidad de activación de los focos de ignición	35
Tabla 7-3: Frecuencia de explosión	35
Tabla 7-4: Definición de la frecuencia de explosión	36
Tabla 7-5: Definición del daño	36
Tabla 7-6: Evaluación del riesgo de explosión	37
Tabla 7-7: Definición nivel de riesgo de explosión	37
Tabla 7-8: Evaluación del riesgo en el establecimiento	38
Tabla 7-9: Requisitos legales de obligado cumplimiento	39
Tabla 7-10: Matriz de priorización de acciones	40
Tabla 7-11: Plazos de ejecución de las acciones	40
Tabla 7-12: Prioridad de las acciones	41
Tabla 8-1: Medidas correctoras y priorización	44
Tabla 9-1: Listado de equipos	47

Tabla 10-1: Magnitudes y coeficientes relevantes para cálculos	49
Tabla 10-2: Características escapes en ERM	61
Tabla 10-3: Resumen cálculo zonas peligrosas ERM	62
Tabla 10-4: Características escapes rampas de gas	64
Tabla 10-5: resumen cálculo zonas peligrosas en rampas de gas	65
Tabla 10-6: Características de escape en retractilado con propano	68
Tabla 10-7: Resumen cálculo de zonas peligrosas en retractilado con gas propano	69
Tabla 10-8: Características escape en recipientes abiertos con disolvente	75
Tabla 10-9: Resumen cálculo zonas peligrosas por recipientes abiertos con disolvente	76
Tabla 10-10: Proporción y LII de sustancias inflamables en pintura líquida	79
Tabla 11-1: Sufijos de los certificados IECEX y ATEX	85
Tabla 11-2: Interpretación del marcado ATEX	86
Tabla 11-3: Resumen de los modos de protección admisibles según tipo de zona	88
Tabla 11-4: Grupos de gas	89
Tabla 11-5: Grupos de polvo	89
Tabla 11-6: Clases de Temperatura	90
Tabla 11-7: Niveles de protección	91
Tabla 11-8: Grados de protección IP	92

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1: Depósito de gas a presión (No aplica)	6
Figura 2-2: Tanque de combustible (Sí aplica)	6
Figura 2-3: Fugas en depósitos de productos inflamables (Sí aplica)	6
Figura 2-4: Riesgo de explosión de sustancia inflamable en función de la concentración	7
Figura 7-1: Esquema de evaluación del riesgo de explosión	33
Figura 8-1: Señal de peligro por posible atmósfera explosiva	43
Figura 10-1: Gráfica para evaluar el grado de dilución	58
Figura 10-2: Gráfica para evaluar la distancia peligrosa	58
Figura 10-3: Zona por gas/vapor a baja presión o alta presión con dirección indeterminada	59
Figura 10-4: Zona por gas/vapor a alta presión	59
Figura 10-5: Zona por evaporación de charco de líquido inflamable	59
Figura 10-6: Proyección de sustancia líquida inflamable	60
Figura 10-7: Gráfica Grado de Dilución para escapes en ERM	63
Figura 10-8: Gráfica Distancia Peligrosa para escapes en ERM	63
Figura 10-9: Gráfica Grado de Dilución para escapes en rampas de gas	66
Figura 10-10: Gráfica Distancia Peligrosa para escapes en rampas de gas	66
Figura 10-11: Gráfica Grado de Dilución para escapes en retractilado	70
Figura 10-12: Gráfica Distancia Peligrosa para escapes en retractilado	70
Figura 10-13: Autodifusión de un escape de chorro a alta velocidad sin escapes	71
Figura 10-14: Dispersión de gases o vapores en aire	72
Figura 10-15: Reacción de carga y descarga de baterías de plomo ácido	73
Figura 10-16: Gráfica Distancia Peligrosa para escapes en recipiente con disolvente	77
Figura 10-17: Gráfica Grado de Dilución para escapes en recipiente con disolvente	77
Figura 10-18: Clasificación de zonas en cabina	78
Figura 10-19: Clasificación de zonas en cabina de pulverización de pintura en polvo con operador fuera y sistema de recuperación cerrado	81
Figura 11-1: Ejemplo de marcado de un equipo eléctrico	83
Figura 11-2: Ejemplo de marcado de un equipo no eléctrico	83
Figura 11-3: Campos del nº de certificado IECEx	84

Figura 11-4: Campos del nº de certificado ATEX	84
Figura 11-5: Marcado ATEX	86
Figura 11-6: Marcados normativos	87
Figura A-1: Plano de ubicación de los diferentes procesos en fábrica	100
Figura A-2: Detalles de áreas con posible formación de atmósferas explosivas	101
Figura B-1: Representación gráfica de zonas clasificadas	102
Figura B-2: Zonas clasificadas en túnel de pintura epoxi en polvo. Cabina de pintura (polvo) y rampas de gas	103
Figura B-3: Zonas clasificadas en procesos de hidráulica. Limpieza de bloques y retractilado.	104
Figura B-4: Zonas clasificadas en sala de carga de carretillas	105
Figura B-5: Zonas clasificadas en proceso de grabación de placas. Filtros.	105
Figura B-6: Zonas clasificadas en máquinas de corte por laser (Filtros)	106
Figura B-7: Zonas clasificadas en proceso de pintura líquida por pulverización. Cabina y limpieza de pistola con disolvente	107
Figura B-8: Zonas clasificadas en proceso de soldadura por olas. Interior de máquina y conductos	107
Figura B-9: Zonas clasificadas en estación de regulación y medida de gas natural (ERM)	108

NOTACIÓN

APQ	Almacenamiento de Productos Químicos
BT	Baja Tensión
DPCE	Documento de protección Contra Explosiones
ERM	Estación de regulación y medida (Gas Natural)
FDS	Ficha de datos de seguridad
IEC	Comité Electrotécnico Internacional
INSHT	Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo
ITC	Instrucción Técnica Complementaria
LIE / LII	Límite inferior de explosividad / inflamabilidad
LSE /LSI	Límite superior de explosividad / inflamabilidad
NTP	Nota técnica de prevención del INSHT
OCA	Organismo de Control Autorizado
REBT	Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión
R.D.	Real Decreto

1 INTRODUCCIÓN

La formación de atmósferas potencialmente explosivas puede darse en una gran variedad de industrias. Más allá de las industrias químicas en las que se almacenan productos muy inflamables, puede darse en otras industrias no consideradas en principio, por el hecho de presencia de polvos de productos o metales que, en determinadas condiciones, pueden formar nubes explosivas bien por procesos mal controlados, bien por fallos en los mismos, que podrían dar lugar a una explosión de dichos productos en contacto con un comburente y con la presencia de una fuente de ignición.

El resultado de una explosión siempre es grave, bien en daños materiales, bien en daños personales o bien en ambos, y esto requiere, por tanto, del estudio de las posibles áreas y procesos en los que puede dar lugar la aparición de una atmósfera explosiva, analizar los riesgos y consecuencias y planificar y adoptar las medidas técnicas, organizativas y de prevención necesarias para evitar su materialización.

Este estudio y análisis se plasma en lo que se denomina documento de protección contra explosiones, en adelante DPCE.

1.1 Antecedentes

La Directiva 1999/92/CEE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre de 1999, 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 [2], establece las disposiciones específicas mínimas en este ámbito. Mediante el R.D. 681/2003 [1] se procede a la transposición al Derecho español del contenido de esta directiva.

Este Real Decreto establece con carácter específico la obligación de:

- Elaborar un documento de protección contra explosiones.
- Evaluar los riesgos de explosión.
- Coordinar los trabajos cuando en un mismo lugar de trabajo se encuentren trabajadores de varias empresas.
- Señalar las áreas en las que puedan formarse atmósferas explosivas.
- La clasificación de áreas se hará con los principios del R.D. 842/2002, de 2 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento electrotécnico para baja tensión, en su ITC-BT-29 Prescripciones particulares para las instalaciones eléctricas de los locales con riesgo de incendio o explosión [3].
 - Artículo 4.1.1., en el que las áreas clasificadas son de clase I, afectadas por gases inflamables.
 - Artículo 4.1.2., para áreas clasificadas de clase II afectadas por polvos combustibles.

Respecto al documento de protección contra explosiones, el R.D. 681/2003 [1] nos indica que deberá reflejar:

- Que se han determinado y evaluado los riesgos de explosión.
- Que se tomarán las medidas adecuadas para lograr los objetivos de este Real Decreto.
- Las áreas que han sido clasificadas en zonas de conformidad con el anexo I del Real Decreto.

- Las áreas en que se aplicarán los requisitos mínimos establecidos en el anexo II del Real Decreto.
- Que el lugar y los equipos de trabajo, incluidos los sistemas de alerta, están diseñados y se utilizan y mantienen teniendo debidamente en cuenta la seguridad.
- Que se han adoptado las medidas necesarias, de conformidad con el Real Decreto 1215/1997, de 18 de julio, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo [4], para que los equipos de trabajo se utilicen en condiciones seguras.
- Que los aparatos y sistemas de seguridad instalados en zonas clasificadas se ajustan al Real Decreto 144/2016, de 8 de abril, por el que se establecen los requisitos esenciales de salud y seguridad exigibles a los aparatos y sistemas de protección para su uso en atmósferas potencialmente explosivas y por el que se modifica el Real Decreto 455/2012, de 5 de marzo, por el que se establecen las medidas destinadas a reducir la cantidad de vapores de gasolina emitidos a la atmósfera durante el repostaje de los vehículos de motor en las estaciones de servicio [5].

1.2 Objetivos

Por ello, se puede deducir que los objetivos que persigue el R.D. 681/2003 [1] y que deben venir reflejados en el documento de protección contra explosiones son:

Adoptar medidas técnicas de protección contra explosiones en equipos y áreas de proceso y almacenamientos.

Para ello, las acciones a realizar son las siguientes:

- Clasificación por zonas en función del riesgo de explosión.
- Adoptar medidas que eviten la formación de atmósferas explosivas (inertización, sobrepresión, ...)
- Adoptar medidas que minimicen la categoría de la zona o que reduzcan la probabilidad de formación de atmósferas explosivas.
- Definir las características de los equipos eléctricos según zona.
- Definir las medidas para minimizar los riesgos de ignición, incluyendo especialmente las descargas electrostáticas.
- Definir las medidas para atenuar los efectos (supresores de explosiones, discos de ruptura, etc.)
- Definir medidas para evitar la propagación (sectorización, blindajes, paramentos débiles, etc.)

Adoptar medidas organizativas de protección contra explosiones. Para ello, las acciones a realizar son las siguientes:

- Elaborar el Documento de Protección Contra Explosiones el cual deberá incluir:
 - La evaluación del riesgo de explosión y la clasificación de zonas.
 - Las medidas técnicas adoptadas.
 - El plan de formación de los trabajadores propios.
 - El plan de coordinación preventiva para empresas subcontratadas, o en caso de concurrencia de actividades empresariales en el mismo centro de trabajo.
 - El plan de instrucciones de trabajo, supervisión y permisos de trabajo.
 - Responsables en materia de supervisión, control, mantenimiento y reparación de equipos.
 - Nombramientos de recursos preventivos, responsable de control ambiental, coordinador de actividades empresariales.
 - Personal encargado de verificar la seguridad de los lugares de trabajo.
 - Operaciones de desconexión de los sistemas de protección, personal al cargo.

- El plan de revisión de todo lo anterior.
- Impartir la formación a los trabajadores propios.
- Definir por escrito instrucciones y permisos de trabajo tanto para los trabajadores propios (producción, mantenimiento, ...) como para los subcontratados y su implantación.
- Señalizar las zonas de riesgo.

1.3 Tareas a desarrollar

En este trabajo se particularizará este estudio para una planta de fabricación de elementos de elevación, se describirán los procesos en fábrica y las sustancias utilizadas, se determinarán aquellos en los que se pueden generar atmósferas explosivas, se clasificarán las zonas en base al Anexo I de dicho Real Decreto y a la ITC-BT-29 del R.D. 842/2002 [3], evaluando los riesgos y proponiendo acciones correctoras para aquellos casos en los que se consideren necesarias para reducir el riesgo a un nivel aceptable.

2 ATMÓSFERAS EXPLOSIVAS

Se entenderá por atmósfera explosiva la mezcla con el aire, en 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. R.D. 681/2003 Art. 2 Definición [1].

Para comprender el alcance de esta definición a continuación se analizan sus términos al detalle de manera que quede una imagen clara de cuándo se puede presentar una atmósfera explosiva en la industria o procesos. Previamente, se debe empezar por aclarar el concepto de explosión. Para ello se partirá de la definición de fuego.

Fuego: Reacción química de oxidación-reducción fuertemente exotérmica caracterizada por una gran generación de energía en forma de luz y calor. Según la velocidad de reacción, que se manifiesta según la velocidad de propagación del frente de llama, se puede clasificar en:

- Combustión: velocidad < 1 m/s
- Deflagración: velocidad comprendida entre 1 m/s y menor que la velocidad del sonido (343 m/s aproximadamente)
- Detonación: velocidad de propagación del frente de llama mayor que la velocidad del sonido.

Se considera explosión a los dos últimos (deflagración y detonación).

Continuando con el análisis de la definición de atmósferas explosivas, esta indica que la mezcla debe ocurrir en condiciones atmosféricas, para las que, como referencia, puede adoptarse lo que la Norma UNE-EN ISO 16852:2017 [6] en su punto 3.25 define por condiciones atmosféricas "condiciones con presiones que van desde los 80 kPa a los 110 kPa y temperaturas que van desde los -20 °C a los +60 °C". Aparece con idéntico rango de valores de ambas magnitudes en el punto 1 de la Norma UNE-EN 60079-0:2013 [7]. Con esto se deduce que no se consideran, dentro de esta definición, atmósferas explosivas contenidas en recipientes a presión de sustancias inflamables, como por ejemplo depósitos de gas licuado, representado en la figura 2-1, sin embargo, sí entran en la definición las que pueden formarse en tanques de combustible en condiciones atmosféricas, como el representado en la figura 2-2, y los escapes de estas sustancias a la atmósfera, en ambos casos, simbolizado en la figura 2-3.



Figura 2-1: Depósito de gas a presión (No aplica)



Figura 2-2: Tanque de combustible (Sí aplica)

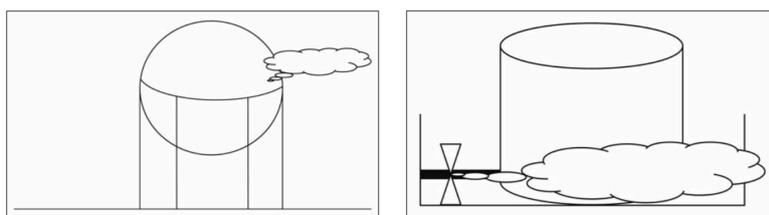


Figura 2-3: Fugas en depósitos de productos inflamables (Sí aplica)

Además, como la propia definición indica, el cumplimiento de esta normativa es garantía de condiciones seguras cuando el comburente es aportado por el aire, refiriéndose al oxígeno.

Para conocer la inflamabilidad de las sustancias, el fabricante debe aportar los datos necesarios, que más adelante se detallarán, a través de la documentación del producto, generalmente en la ficha de datos de seguridad (FDS), siempre que dicha sustancia se encuentre sometida a esta normativa. De hecho, una manera rápida de aproximarse a la identificación de estas sustancias es a través de los pictogramas y frases H y P que se encuentran en las etiquetas de sus envases, entre los que se encuentran los relacionados en la tabla 2-1.

En el caso de los polvos, la granulometría también tiene gran influencia. Cuando por el tamaño de partícula, por el grado de dispersión del mismo (el tamaño de la gotita o partícula debe ser menor de 0,5 mm según indica la norma UNE-EN 1127-1:2012 5.4 b) [8], por la velocidad de sedimentación, pueda sospecharse que es probable que forme atmósfera explosiva en el proceso en que se encuentra, en estos casos, aparte de la posibilidad de caracterizar mediante medición y ensayos normalizados dicho polvo como solución más idónea (y de elevado coste), lo habitual es acudir a bibliografía especializada sobre caracterización de estas sustancias o sobre explosiones de polvo.

Los parámetros que dan el rango de explosividad de una sustancia se denominan LIE y LSE (ver figura 2-4):

- LIE o Límite Inferior de Explosividad: Es el valor mínimo de concentración en %volumen de la sustancia en aire, a una presión y temperatura determinadas, por debajo del cual la mezcla no puede explotar. También denominado Límite Inferior de Inflamabilidad (LII) o por sus siglas en inglés LEL (Lower Explosivity Limit).
- LSE o Límite Superior de Explosividad: Es el valor máximo de concentración en %volumen de la sustancia en aire, a una presión y temperatura determinadas, por encima del cual la mezcla no puede explotar. También denominado Límite Superior de Inflamabilidad (LSI) o por sus siglas en inglés UEL (Upper Explosivity Limit).

Tabla 2-1: Frases H y P y pictograma asociados a posibles atmósferas explosivas

H220	Gas extremadamente inflamable	
H221	Gas inflamable	
H222	Aerosol extremadamente inflamable	
H223	Aerosol inflamable	
H224	Líquido y vapores extremadamente inflamables	
H225	Líquido y vapores muy inflamables	
H226	Líquidos y vapores inflamables	
H228	Sólido inflamable	
H242	Peligro de incendio en caso de calentamiento	
H250	Se inflama espontáneamente en contacto con el aire	
H251	Se calienta espontáneamente; puede inflamarse	
H252	Se calienta espontáneamente en grandes cantidades; puede inflamarse	
H260	En contacto con el agua desprende gases inflamables que pueden inflamarse espontáneamente	
H261	En contacto con el agua desprende gases inflamables	
P370+ P380+ P375	En caso de incendio: Evacuar la zona. Luchar contra el incendio a distancia, dado el riesgo de explosión	
P371+ P380+ P375	En caso de incendio importante y en grandes cantidades: Evacuar la zona. Luchar contra el incendio a distancia, dado el riesgo de explosión	

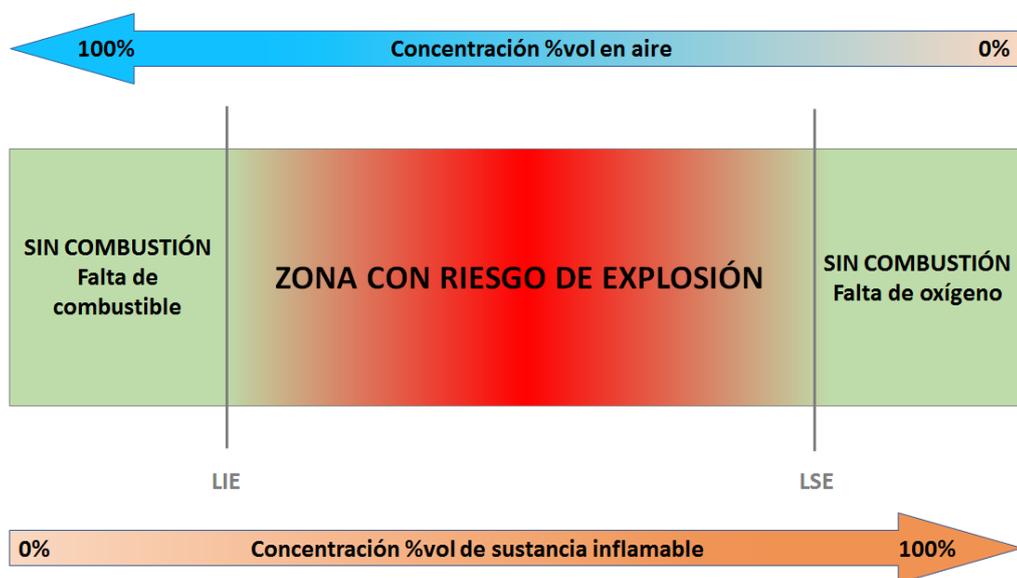


Figura 2-4: Riesgo de explosión de sustancia inflamable en función de la concentración

La influencia de la temperatura (t) puede estimarse con las ecuaciones (2-1) y (2-2), en las que se aprecia que el LIE disminuye con la temperatura y el LSE aumenta:

$$LIE_t = LIE_{25^{\circ}\text{C}} - (0,8LIE_{25^{\circ}\text{C}} \times 10^{-3}) \cdot (t-25) \quad (2-1)$$

$$LSE_t = LSE_{25^{\circ}\text{C}} + (0,8LSE_{25^{\circ}\text{C}} \times 10^{-3}) \cdot (t-25) \quad (2-2)$$

Las sustancias inflamables, que aportan el combustible a la atmósfera explosiva, pueden encontrarse en diferentes formas:

- Gas: fluido con fuerzas de atracción entre las moléculas tan pequeñas que tiende a expandirse ocupando todo el espacio disponible.
- Vapor: Estado gaseoso que alcanzan los líquidos por acción del calor. Los vapores de líquidos combustibles pueden generar atmósferas explosivas.
- Niebla: Pequeñas gotas de líquido suspendidas en forma de nube en el aire. Las nieblas formadas a partir de líquidos inflamables pueden formar atmósferas explosivas.
- Polvo: Materia en forma de pequeñas partículas sólidas formando una nube en el aire. Si el polvo proviene de sólido combustible es susceptible de formar atmósfera explosiva.

Por último, se define ignición, según la Norma UNE-EN 13237:2012 [9], como la propagación de una llama lejos de la fuente de ignición. Dicha fuente de ignición será la que proporcione la energía de activación necesaria para que puedan iniciarse las reacciones de oxidación que dan lugar a la inflamación y la combustión se propague a la mezcla no quemada.

Las posibles fuentes de ignición vienen definidas en la Norma UNE-1127-1:2012 [8] en su apartado 5 y se indican a continuación indicando algunos ejemplos:

- Superficies calientes. En cabinas de secado, radiadores, material fundido, etc.

Muchos procesos tienen superficies a temperatura elevada por el propio proceso que se desarrolla, por la transformación en energía calorífica de otras formas de energía (mecánica, eléctrica, etc.). Son superficies como motores sin protección, partes móviles de máquinas, intercambiadores de calor, tuberías de fluidos calientes, transformadores, tubos de escape, envolventes de equipos, etc.

Estas superficies pueden producir la ignición de una atmósfera explosiva. También es posible que una capa de polvo o sólido combustible acumulada sobre una superficie caliente pueda inflamarse. La capacidad de una superficie caliente de producir la ignición depende del tipo y la concentración de la sustancia inflamable mezclada con el aire. Esta capacidad es mayor cuanto más grande es la extensión de la superficie. También depende de la forma de esta superficie. Por este motivo, una atmósfera explosiva en el interior de envolventes calientes de dimensiones notables puede inflamarse con temperaturas inferiores a su temperatura de autoignición.

Además, si la atmósfera explosiva está en contacto con la superficie caliente durante un periodo suficiente de tiempo, pueden producirse reacciones secundarias no deseables (llamas frías de temperatura menor a 400 °C, descomposición térmica en otras sustancias más inflamables, etc.) que provoquen la ignición de la atmósfera.

También las partes móviles como rodamientos, ejes, etc. pueden dar lugar a temperaturas elevadas si no se encuentran bien lubricadas.

- Llamas y gases calientes (incluyendo partículas calientes). En sopletes, encendedores, soldadura,

gases de motores de combustión, etc.

Las llamas están asociadas a reacciones de combustión con temperaturas superiores a 1000 °C. Dependiendo del tipo de combustible se obtienen subproductos como gases calientes, partículas incandescentes y cenizas.

La soldadura, la operación de oxicrote y los trabajos de corte o mecanizado que generan chispas son las fuentes más habituales que generan llamas, gases calientes y/o chispas. La cantidad de energía que se libera en una llama es suficiente para producir la ignición de una atmósfera explosiva.

- Chispas de origen mecánico. Golpes de herramientas metálicas entre sí u otras piezas metálicas, etc.

En operaciones de mecanizado por abrasión, fricción o por choque, se puede producir el desprendimiento de materiales sólidos que están calientes por la energía generada en el proceso de separación. Si estas chispas se componen de sustancias oxidables, como hierro o acero, se pueden oxidar y alcanzar temperaturas todavía más elevadas.

Estas chispas pueden producir la ignición de una atmósfera explosiva. En el caso de de capas de polvo acumuladas, pueden producir el inicio de un fuego latente que sea punto de ignición primario de una atmósfera explosiva. La fricción entre materiales, incluso entre metales férricos análogos o entre determinados materiales cerámicos, también puede producir puntos calientes y chispas.

- Material eléctrico. Chispa en la apertura o cierre de contactos en circuitos, equipos en mal estado, etc.

El uso de material eléctrico convencional en una atmósfera explosiva puede producir la ignición. Existen unos requerimientos técnicos muy específicos para materiales que se utilizan en zonas clasificadas para riesgo de atmósfera explosiva.

Además de necesitar de una instalación eléctrica especial, los equipos y la instalación eléctrica de las zonas clasificadas para riesgo de explosión tendrán que estar en buen estado de mantenimiento.

- Corrientes eléctricas parásitas, protección contra la corrosión catódica. Efectos de inducción cerca de instalaciones eléctricas de potencia, fallos en instalaciones eléctricas, etc.

Son corrientes eléctricas que pueden circular por vías diferentes a las previstas en un equipo o instalación. Pueden ser corrientes de retorno en instalaciones generadoras de potencia (especialmente en la proximidad de trenes eléctricos y de grandes instalaciones de soldadura) cuando las componentes enterradas del sistema eléctrico (rail, cables, etc.) han visto reducida su resistencia por desgaste o deterioro. También pueden estar provocadas por cortocircuitos inesperados o contacto accidental a tierra por problemas en la instalación eléctrica.

- Electricidad estática. Descargas en el trasvase de productos, correas de transmisión, etc.

La electricidad estática se origina por intercambios de carga eléctrica cuando se produce una fricción entre dos superficies de naturaleza diferente, normalmente entre una parte cargada y una parte descargada. En condiciones determinadas, pueden producirse descargas que pueden dar lugar a la ignición de una atmósfera explosiva.

Las partes cargadas del material pueden acostumbrar a ser materias plásticas (en general materiales aislantes) en movimiento con rodamientos, correas, etc. También se pueden producir por descargas a granel de material y en nubes de polvo. Es posible también que se produzcan por la fricción normal entre líquidos y la tubería que los transporta, o simplemente por inducción de las superficies (por ejemplo, por la ropa de los trabajadores). En varias normas que tratan con los riesgos derivados de la acumulación de cargas eléctricas, se recomienda una resistencia máxima del conjunto calzado/suelo

de $10^8 \Omega$. Por otro lado, la NTP 887 "Calzado y ropa de protección antiestáticos" [10] recomienda lo siguiente:

- Zona 0 o 20: No se recomienda trabajar sin la detención de los procesos que son el origen de la generación de carga.
- Zona 1 o 21: Se deberán utilizar EPI electrostáticamente disipativos. En zona 21 para EMI menor de 3 mJ.
- Zona 2 o 22: Puede ser necesario el uso de EPI electrostáticamente disipativos para EMI de valores muy bajos o cuando se produzca tránsitos a zonas de categoría superior.

- Rayo. Directamente por la descarga o por las temperaturas alcanzadas por los elementos conductores.

En el interior de las nubes de tormenta pueden acumularse suficiente carga eléctrica para producir chispas. Las cargas eléctricas de una nube, aceleradas por el intenso campo eléctrico presente, abre un estrecho canal a través del aire que va progresando a medida que se ramifica hacia abajo, hasta encontrar un punto de la superficie terrestre por donde descargar. Así la nube queda al mismo potencial eléctrico que la superficie.

Si la descarga se produce en una atmósfera explosiva o en sus inmediaciones, existe una alta probabilidad de ignición. También se puede producir la ignición por las elevadas temperaturas que se producen en este fenómeno.

- Ondas electromagnéticas de radiofrecuencia (RF) de 10^4 Hz a 3×10^{12} Hz. Emisoras de radio, generadores de RF para soldadura, oxicorte, calentamiento, etc.

Provocadas por sistemas con energía eléctrica de alta frecuencia. Los elementos conductores dentro del campo electromagnético hacen la función de antena receptora. Si el campo tiene suficiente potencia y la antena es adecuada, los conductores pueden provocar la ignición de la atmósfera explosiva. Este campo puede provocar la incandescencia de hilos conductores finos o chispas en contactos o cortes de partes conductoras.

La energía que absorbe la antena receptora depende principalmente de la distancia entre emisor y antena, así como de las dimensiones, la longitud de onda y de la potencia de onda.

- Ondas electromagnéticas de 3×10^{11} Hz a 3×10^{15} Hz. Concentración de radiación solar.

La concentración de radiación de este rango del espectro, por absorción, puede ser una fuente de ignición para superficies sólidas o atmósferas explosivas. Puede ocurrir que determinadas radiaciones luminosas intensas sean absorbidas tan intensamente por polvo en suspensión que se convierta en fuente de ignición para depósitos de polvo o atmósferas explosivas.

En el caso del laser, su energía puede ser lo suficientemente elevada como para producir la ignición incluso con grandes distancias.

- Radiación ionizante. Rayos X para ensayos de soldaduras, etc.

La absorción de la energía de la radiación puede provocar la ignición de atmósferas explosivas sobre todo formadas por nubes de polvo y la fuente radioactiva, a través de la absorción de la energía interna, puede aumentar la temperatura del medio por encima de la temperatura mínima de ignición.

Por otro lado, puede descomponer químicamente o dar lugar a reacciones que formen compuestos inestables o muy reactivos que puedan causar la ignición.

- Ultrasonidos. En caudalímetros, etc.

La energía emitida por la fuente de ultrasonidos se absorbe por las sustancias que se calientan pudiendo provocar la ignición de la atmósfera explosiva.

- Compresión adiabática y ondas de choque. Apertura rápida de válvulas de tuberías a presión, escapes de gas por orificios, etc.

Pueden provocar aumento de la temperatura suficientes para la ignición de la atmósfera explosiva. Este incremento es función de la relación de presiones.

Ondas de choque pueden producirse en descargas bruscas de gases a alta presión que, al encontrarse con codos, estrechamientos, válvulas cerradas, etc., mientras se desplazan por zonas de menor presión a velocidad supersónica, pueden producirse altas temperaturas.

- Reacciones exotérmicas, incluyendo la autoignición de polvos. Por mezcla de sustancias con dichas propiedades.

Las reacciones exotérmicas son muy frecuentes. Actuarán como fuente de ignición cuando la evacuación de calor es menor que la velocidad a la que lo generan. Dependerá de factores como la temperatura ambiente, la relación volumen / superficie del proceso o el tiempo de permanencia.

Algunas reacciones entre sustancias, sobre todo cuando se encuentran en partículas muy finas reaccionan violentamente, como por ejemplo el aluminio o el óxido de hierro.

3 DESCRIPCIÓN DE LAS INSTALACIONES

Peviamente, para mejor comprensión del proyecto, en este capítulo se describirán las instalaciones sobre las que se desarrolla el mismo, con esto se tendrá una imagen más clara de las áreas y actividades en las que podrían formarse atmósferas explosivas.

Para ello, a continuación, se describen las sustancias empleadas, las instalaciones, los procesos industriales y sus posibles interacciones.

3.1 Descripción del establecimiento

Se trata de una nave de 24 000 m² aislada, es decir, no anexa a ningún otro establecimiento, separada por viales del resto, encontrándose el más cercano a no menos de 10 m. Esta nave se encuentra en una parcela de 36 000 m² de suelo urbanizable de uso industrial situada en un polígono.

En el exterior de la nave, dentro de la parcela, se encuentra una zona amplia destinada a aparcamiento en la frontal de la misma y dos viales en los laterales de la nave de los que solo está en uso para tránsito de vehículos y carga y descarga uno de ellos, en el que se encuentran los muelles.

La nave se divide en su interior de tres áreas de trabajo diferenciadas:

- Sector 3: Almacén de materias primas y primera transformación de chapa
- Sector 2: Pintura y segunda transformación
- Sector 1: Montaje y expedición del producto terminado

3.2 Descripción del producto

Para entender los procesos que se describen en el apartado siguiente, previamente se hará un breve resumen de los productos que se obtienen en esta fábrica, relacionados con elementos de elevación, como pueden ser ascensores, escaleras mecánicas, montacargas y otros especiales, siendo el primero el producto habitual.

Es por ello, que como productos se obtienen entre otros:

- Puertas de cabina y de rellano, con todos sus componentes como operadores, pisaderas, deslizaderas, mecanismos, etc.
- Motores eléctricos y sus bancadas, así como electrónica de mando y control.
- Centrales para elevadores hidráulicos, grupos motorbomba y tanques de aceite hidráulico.
- Instalaciones eléctricas de cabina, cuadros, botoneras.
- Accesorios para la instalación y seguridad de los equipos.

3.3 Descripción de los procesos

Las instalaciones están concebidas de tal manera que, en la mayor parte de los casos, la materia prima se vaya transformando en el producto final siguiendo un sentido lineal en la factoría, arrancando en el sector 3 donde se encuentra el almacén de materia prima y finalizando en el sector 1 donde se encuentra la expedición de los productos.

Sector 3: Almacén de materias primas y primera transformación de chapa

En este sector, se encuentran:

- Las unidades de carga (estanterías) que almacenan la materia prima que se recibe de los proveedores a la espera de ser procesada.
- Las secciones de corte por laser y cizalla, punzonado, plegado, prensas, troquelado, taladrado y soldadura de chapa, de puertas y sus elementos, armarios, botoneras, perfilera y otros accesorios.
- Varios puestos de soldadura para preparación de armarios, bancadas, depósitos, amortiguadores, etc.
- La sección de mecanizado mediante tornos y centros de control numérico, donde se mecanizan entre otros, los bloques de válvulas de las centrales hidráulicas, las poleas de las máquinas, carcasas, ejes, etc.
- Una cabina de pintura líquida para pintado de poleas, carcasas de motores y otros elementos.

Sector 2: Pintura y segunda transformación de chapa

En este sector se realizan los siguientes procesos:

- Pintura de diferentes elementos metálicos, como pueden ser las puertas, los tanques de las centrales hidráulicas, etc., mediante una instalación de pintura electrostática compuesta por túnel de lavado de piezas, horno de secado, y la cabina de pintura electrostática.
- Anexo a esta instalación se encuentra un recinto cerrado en el que se almacenan los productos necesarios (pintura en polvo, tratamiento para el agua de los baños de lavado, etc.)
- En otra sección del sector, se realiza el montaje de las máquinas eléctricas y su verificación.
- El montaje de las centrales hidráulicas, bloques de válvulas y tanques de aceite, así como su verificación y embalaje.
- El montaje de armarios y amortiguadores.
- La sala de metrología para verificación de las cotas críticas en las piezas mecanizadas, así como otros ensayos necesarios.
- Así mismo, en este sector se encuentra el acceso a la sala de carga y estacionamiento de carretillas elevadoras.

Sector 1: Montaje y expedición del producto terminado

En este sector se realiza la mayor parte del montaje de los elementos:

- Montaje de botoneras, incluyendo el grabado y pintado de las mismas.
- Montaje de todos los equipos y placas electrónicas, y su verificación, incluyendo equipos de

electrónica de potencia. Se dispone de un equipo de soldadura por ondas para fijar los componentes a las placas mediante estaño. Así mismo, hay un área dedicada a la reparación de estos equipos.

- Montaje de cuadros eléctricos y su verificación y embalaje.
- Montaje de operadores, mecanismos, puertas y embalaje.
- Preparación y expedición del material y carga en camiones por muelles de carga trasera.
- En este sector se encuentra también la sala donde se encuentran los compresores que dan servicio de aire comprimido a toda la fábrica.

4 DATOS DE ENTRADA

Para iniciar el estudio de las posibles atmósferas explosivas que puedan formarse en la fábrica es necesario conocer una serie de datos de entrada que ayudarán a identificar las posibles fuentes, las zonas donde puedan formarse y evaluar el riesgo de su formación.

Estos datos, que se describen a continuación, incluyen las sustancias empleadas, los procesos industriales y las operaciones, que son susceptibles de generar atmósferas explosivas.

4.1 Sustancias empleadas

En el establecimiento se encuentran sustancias de tipo gaseoso, líquido y pulverulento. En las tablas a continuación, se muestran las características principales relacionadas con la sensibilidad y severidad de la explosión, tanto de polvos, tabla 4-1, como de líquidos y gases, tabla 4-2.

Tabla 4-1: Características de las sustancias pulverulentas empleadas

Polvos combustibles											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Sustancia combustible			Sensibilidad inflamación					Severidad explosión			
Nº	Nombre / composición	Tamaño medio μm	Densidad Kg/m^3	TMI capa $^{\circ}\text{C}$	TMI nube $^{\circ}\text{C}$	CME g/m^3	EMI (mJ)	Pmax (bar)	K _{max} (bar m/s)	Clase	Grupo y clase de temperatura
1	Polvo Titanester 700	37						9,2	202	ST2	IIIBT267°C
2	Polvo hierro (3236)	58		540			10 ⁶			ST1	IIIBT360°C

Fuente, Instituto Alemán para la Seguridad y Salud en el Trabajo [11].

TMIcapa, temperatura mínima ignición capa; **TMI**nube, temperatura mínima ignición nube; **CME**, concentración mínima ignición; **EMI**, energía mínima ignición; **Pmax**, sobrepresión máxima; **Kmax**, constante característica (no explosión-ST0, débil-ST1, fuerte-ST2, muy fuerte-ST3).

Tabla 4-2: Características de las sustancias inflamables

Gases y líquidos inflamables										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	Sustancia inflamable						LII	Volatilidad		Características Ex
Nº	Nombre/ composición	Masa molar kg/kmol	Densidad relativa gas/aire Kg/m ³	Índice politrópico expansión adiabática	Punto de inflamación °C	Temperatura autoignición °C	Vol. %	Presión de vapor 20°C, kPa	Punto de ebullición °C	Grupo y clase de temperatura
1	Gas Natural (Metano)	16,04	0,55	1,31	< 0	537	4,14	147	-161	IIAT1
2	Propano	44,1	1,5	1,14	-104	470	2,37	814,29	-42,2	IIAT2
3	Hidrógeno	2,016	0,07	0,148	< 0	500	4		-252,7	IICT1
4	Disolvente universal (Tolueno)	92,14	3,18	1,10	4	480	1	12300	65	IIAT2
5	Nitromix GNS01_PB		0.96		17,8	432 – 528	0,9 - 7	1,67	118	IIAT2
6	Flux Kester 950-E (etanol / isopropanol / metanol)				18	370	2	5,9	78	IIAT1

Fuente, UNE EN 202007 IN :2006 [12] y fichas de datos de seguridad de los productos. LII, límite inferior inflamabilidad.

Con todos estos datos se evaluarán los riesgos de que en la instalación puedan generarse atmósferas explosivas y se propondrán nuevas medidas de prevención y sistemas de medición y seguridad.

4.2 Procesos industriales

El establecimiento industrial dispone de las instalaciones que se detallan a continuación incluyendo breves referencias al proceso en el que se pueden generar atmósferas explosivas.

- **Puestos de corte y soldadura**

Existen unos puestos en un lateral del sector 3 donde se realizan los montajes de las piezas metálicas de los productos que se fabrican. Son 6 puestos independientes entre sí, con una aspiración localizada individual cada uno.

- **Cabina de pintura líquida**

En el mismo sector, en un rincón del mismo, anexo a los puestos de soldadura, existe una sala abierta para la aplicación de pintura líquida a ciertas poleas y piezas. Esta sala tiene una puerta abierta que comunica directamente con la nave y el pasillo de paso personas y vehículos. Tiene una cabina de pintura con dos extractores que tienen un funcionamiento manual, es decir el operario debe encenderlas para que extraiga el aire con los vapores inflamables.

- **Cortadora Láser**

Así, en el mismo sector 3, hay una parte dedicada al corte mediante láser, estas máquinas tienen un sistema de aspiración de polvo, por filtros totales.

- **Sala de carga de baterías de carretillas y limpiadoras**

En el sector 2 existe una sala independiente, para la carga de las baterías de las máquinas limpiadoras, transpaletas y carretillas elevadoras. En esta sala se disponen alrededor de 20 máquinas. La ventilación que posee es natural, por medio de un ventanal en un lado de la sala y la puerta que comunica la sala con la nave, por lo que habrá ocasiones que podría ser deficitaria si se permite el cierre de la puerta.

- **Limpieza de bloques de central hidráulica**

En este mismo sector existe una sección donde se limpian los bloques mecanizados, en una mesa lavadora con disolvente universal y repaso con cepillo y pincel, los vapores generados son conducidos por un conducto ascendente que tiene su salida directamente al interior de la nave.

- **Embalaje de centrales hidráulicas**

Dentro del sector 2 y anexo a la limpieza de bloques, se encuentra una zona donde se embalan las centrales hidráulicas. Para el retractilado del film de envoltura se usa una pistola de gas que genera una llama que se proyecta sobre el film conectada a una botella de propano. Las botellas de propano (4 ud.) se almacenan en las estanterías anexas.

- **Túnel de pintura seca**

Siguiendo en el sector 2, existe en uno de sus laterales la zona de pintura por aplicación de polvo mediante electrostática, y de curado del mismo en unos hornos continuos alimentados de gas natural.

- **Soldadura de estaño por olas**

Situada en el sector 1 en uno de los laterales existe una máquina de soldar placas electrónicas, mediante olas, tiene una aspiración localizada de los vapores generados por el decapante usado, estos gases son conducidos al exterior directamente en una zona de carga y descarga de camionetas, sin antichispas.

- **Sala de grabación y serigrafía**

En el mismo sector 1 existe una sala donde se serigrafían a mano piezas, para curarlas en un horno eléctrico, los envases de pintura y disolventes son de muy poca cantidad para considerarlos en el estudio.

También podemos encontrar dos máquinas de serigrafía láser donde el polvo metálico que se genera se aspira mediante dos filtros absolutos, recogiendo el polvo en unos pequeños recipientes.

- **Estación de regulación y medida de Gas Natural (ERM)**

En el exterior de la nave, se encuentra un armario protegido mediante bolardos de 1,5 metros de altura. Tiene un venteo de la válvula de escape y alivio situado en la parte superior del armario. La acometida es de baja presión.

4.3 Diagrama de operaciones del establecimiento

En la tabla 4-3 se resume de manera esquemática los procesos en cada una de las instalaciones del establecimiento que pueden generar una ATEX.

Tabla 4-3: Análisis funcional de las operaciones

Instalación	Estado físico de la sustancia	Operación	Parámetros de operación	Observaciones / Interacciones
Puestos de corte y soldadura	Polvo	Corte y soldadura	P= atm T= amb.	El polvo generado tanto en los humos de soldadura como en los cortes realizados son aspirados por unos extractores localizados en cada uno de los puestos de trabajo. Los filtros están en el interior de la nave en una parte elevada.
Cabina de pintura líquida	Líquido – vapores	Pulverización	P=5 bar T= amb.	El extractor de aire en caso de no encenderse o no funcionar hace que se extienda la zona clasificada fuera de los límites establecidos.
Cortadora Láser	Polvo	Corte	P= atm T= amb.	El polvo generado es aspirado por la parte inferior de la mesa de corte. El filtro se vacía por una compuerta inferior del mismo, se dispone de aspiradora portátil para limpiar los restos de polvo.
Sala carga baterías de carretillas y limpiadoras	Gas de hidrógeno	Recarga	P= atm T= amb.	La ventilación de la sala es natural y puede verse interrumpida si se permite el cierre de la puerta.
Hidráulica - Limpieza de bloques	Líquido – vapores	Limpieza	P= atm T= amb.	Los vapores generados pueden crear una zona ATEX fuera de la bañera.
Hidráulica- Retractilado	Gas propano	Retractilado	P= atm T= amb.	La pistola antes de encender la llama genera una nube inflamable en un lugar donde hay equipos eléctricos no Ex.
Túnel de aplicación de polvo por electrostática	Polvo	Pulverización / Aspiración	P= atm T= amb.	La dispersión del polvo desde el interior de la cabina puede generar una capa de polvo si no se mantiene una limpieza adecuada Las pistolas de aplicación no están enfrentadas a la aspiración de polvo sobrante y el lecho fluido de polvo que existe en el extremo de salida de piezas hace que se disperse el polvo hacia fuera de la cabina. El llenado de la tolva de lecho fluido de polvo genera una nube que cubre de polvo lo que se encuentra alrededor. Puede provocar por acumulación de electrostática una chispa que haga combustionar la nube de polvo.
Túnel de aplicación de polvo por electrostática	Gas natural	Horneado / Curado	P= 2,5 barG, 88 mbarG T= amb.	Las rampas de regulación, tres, están en los laterales y bajo los túneles de horneado y secado respectivamente.
Soldadura por olas	Líquido - vapores	Soldadura	P= atm T= amb.	La salida de vapores está directa a una zona de descarga de mercancías, puede generar una zona ATEX no controlada.
Sala de grabación	Polvo	Grabado	P= atm T= amb.	Las máquinas de grabación mediante láser tienen extractores de polvo con filtros absolutos y recogida en recipientes.
ERM	Gas natural	Suministro	P=16 barG 2,5barG T=15°C	Protegida de golpes mediante bolardos.

5 CLASIFICACIÓN DE ZONAS

Para la clasificación de zonas el Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento electrotécnico para baja tensión, en su ITC-29, en su apartado 4 “Clasificación de los emplazamientos” [3], puede encontrarse lo siguiente:

- En el punto 4.1.1 “Zonas de emplazamientos Clase I”, nos indica que “En la Norma UNE-EN 60079-10 “se recogen reglas precisas para establecer zonas en emplazamientos de Clase I”. Siendo más precisos, esta información se encuentra en la Norma UNE-EN 60079-10-1:2016 [13].
- En el punto 4.1.2 “Zonas de emplazamientos Clase II, nos indica que “En la Norma CEI 61241-3 se recogen los criterios para establecer zonas en emplazamientos de Clase II”. Esta Norma ha sido adaptada a la Norma UNE-EN 60079-10-2:2016 [14].

Para el caso concreto del túnel de pintura en polvo y la cabina de pintura líquida, dado que existen Normas UNE específicas, se seguirán las indicaciones contenidas en las mismas, siendo estas, la Norma UNE-EN 12981:2006+A1:2009 [15] para pintura en polvo y Norma UNE-EN 12215:2006+A1:2009 [16] para la cabina de pintura líquida.

5.1 Clasificación debido a polvos combustibles. Consideraciones

Para que se produzca una explosión de polvo deben darse una serie de condiciones:

- El polvo **debe ser combustible**: Ha de ser de naturaleza orgánica o metálica, que sea capaz de ser oxidado en determinadas condiciones.
- Ha de estar formado por **partículas suficientemente pequeñas y volátiles**. El tamaño nominal debe ser de 500 μm o menor.
- La **concentración de polvo en el aire** debe estar en unos límites determinados.
- La atmosfera donde se ha dispersado el polvo debe tener **oxígeno suficiente**.
- La energía del sistema aire-polvo debe superar una **energía de ignición mínima**.
- Cuanto mayor sea el **confinamiento** de polvo, mayor será el aumento de presión.

La metodología que se utiliza para clasificar zonas está descrita en la Norma UNE-EN-60079-10-2:2016 [14].

5.1.1 Características principales de los polvos

Para poder clasificar adecuadamente las zonas peligrosas debidas a polvos combustibles es interesante conocer determinados parámetros de las sustancias que se definen a continuación:

Relacionados con la sensibilidad a la ignición:

- Temperatura Mínima de Inflamación (TMI): Temperatura superficial más baja a la que puede iniciarse el proceso de inflamación del polvo. Puede ser en forma de nube (TMI_n) o en forma de capa (TMI_c).

- Concentración Mínima Explosiva (CME): Equivalente al LIE para gases y vapores. Límite inferior del intervalo de concentración del polvo en suspensión en que la mezcla polvo y aire es explosiva.
- Energía Mínima de Inflamación (EMI): Menor energía acumulada en un condensador (según ensayo normalizado) que en la descarga produce inflamación de la nube de polvo.

Relacionados con la severidad de la explosión:

- Presión Máxima de explosión (P_{max}): Diferencia entre la presión normal que existe en el momento de la explosión y el máximo de la curva presión-tiempo generada durante la explosión, en ensayo normalizado.
- Gradiente Máximo de Presión $(dP/dt)_{max}$: Variación máxima del aumento de presión en función del tiempo. Determinado en el mismo ensayo de P_{max} . También llamado Velocidad Máxima de aumento de Presión.
- Constante característica (K_{st} o K_{max}): Resultado del producto del gradiente máximo de presión y la raíz cúbica del volumen del recinto donde se produce la explosión (véase ecuación 5-1). Se mide en $m \cdot bar/s$.

$$K_{max} = \left(\frac{dP}{dt} \right)_{max} \cdot V^{\frac{1}{3}} \quad (5-1)$$

- Clase de Explosión (St): En función del valor de K_{max} la clase de explosión se designa siguiendo la tabla 5-1 que se muestra a continuación:

Tabla 5-1: Clases de explosión en función de K_{max}

Clase de explosión	K_{max} (m·bar/s)
St0	0
St1	1 – 200
St2	201 – 300
St3	> 300

5.1.2 Identificación de las fuentes de escape

En este apartado, se trata de discernir qué puntos pueden ser susceptibles de ser una fuente de escape, para ello seguiremos las siguientes premisas de la Norma:

- En el apartado 5.3 de la Norma UNE-EN 60079-10-2:2016 [14] se aclara que no deben considerarse como fuentes de escape, tanto en funcionamiento normal como anormal, entre otros, los sellos de las válvulas y las bridas de unión, siempre que su diseño y construcción se haya realizado adecuadamente para prevenir la fuga de polvo.
- En el apartado 5.6.2.2 de la Norma UNE-EN 12981:2006+A1:2009 [15] indica que la concentración media de polvo de recubrimiento máxima que se permite en el interior de la cabina debe ser menor del 50% del límite inferior de explosividad (LEL/LII/LIE), por lo que el sistema de extracción y de renovación debe ser adecuado.

- En el apartado 5.6.2.3 de la Norma UNE-EN 12981:2006+A1:2009 [15] indica qué tipo de zonas clasificadas tenemos en las cabinas de pintura en polvo y se corresponden con las siguientes:
 - o El volumen interno de la cabina de pulverización se clasifica como zona 22.
 - o El volumen interno del sistema de recuperación cerrado de polvo se clasifica como zona 20.
 - o El volumen ocupado por un radio de 1 m más allá de las aberturas permanentes se clasifica como zona 22 (las puertas no se consideran aberturas permanentes).

5.1.3 Determinación de su grado de escape

Dependiendo de la frecuencia con que se pueda producir un escape se definirán como continuo, primario, secundario. La tabla 5-2 muestra la clasificación de los emplazamientos peligrosos en función del tipo de escape.

Tabla 5-2: Fuentes de escape, zonas clasificadas (Norma UNE-EN 60079-10-2:2016 [14] “Tabla 1 – Designación de zonas en función de la presencia de polvo”)

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

5.1.4 Grado de ventilación o perturbación

Hay diferencias entre una fuente de escape que está en el exterior, que cualquier nube que se forme será dispersada en un tiempo breve debido al movimiento del aire. En el caso que nos ocupa no hay zonas clasificadas que estén en el exterior.

Sim embargo, hay fuentes de escape en el interior de edificios (normalmente se clasifican alrededor de las fuentes de escape), por lo que la clasificación variará dependiendo de este hecho. Se muestra el resultado en la tabla 5-3.

5.1.5 Grado de limpieza de las capas de polvo

Según el anexo B “Limpieza” de la UNE EN 60079-10-2:2016 [14], las capas, depósitos y acumulaciones de polvo combustible o inflamable, deben ser tratadas como cualquier otra fuente capaz de formar atmósferas explosivas (desarrollado en el R.D. 681/2003 – Anexo 1. Apdo. 1 [1]).

Se ha de asegurar el cumplimiento del procedimiento de limpieza de las áreas donde puedan acumularse capas de polvo combustible.

5.1.6 Zonas clasificadas por polvo

En la tabla 5-3 se resumen las zonas clasificadas por polvo en el establecimiento, de las que se detallan en el apartado 10 Justificación de cálculos aquellas que requieren análisis.

Tabla 5-3: zonas clasificadas por polvo

1	2	3	4	5	6	
N°	Zona	Fuente de escape	Proceso	Grado de escape	Tipo de zona / distancia peligrosa (m)	
					Nube	Capa
1	Corte y soldadura	Filtros de humos metálicos	Soldadura	Primario	22 / interior	22 / interior
2	Cortadora láser	Filtro de polvo metálico	Corte	Primario	22 / interior	22 / interior
3	Túnel pintura seca	Pistolas	Pulverizado	Continuo	22 / 1	22 / 1
4	Túnel pintura seca	Entrada y salida piezas	Pulverizado	Primario	22 / 1	22 / 1
5	Túnel pintura seca	Tolva de lecho fluido	Llenado de tolva	Primario	22 / 1	22 / 1
6	Túnel pintura seca	Lecho fluido	Recuperación / almacén	Continuo	20 / interior	
7	Túnel pintura seca	Filtros	Filtrado	Continuo	20 / interior	
8	Sala de grabación	Filtros de polvo	Grabado	Primario	21 / interior	

***Notas:**

Tipo de zona / distancia peligrosa: "22 / interior" la zona clasificada se extiende a todo el interior del equipo; "22 / 1" la zona clasificada se extiende 1 metro alrededor del equipo.

5.2 Clasificación debido a líquidos y gases inflamables. Consideraciones

La metodología que se utiliza para clasificar zonas está descrita en la Norma UNE-EN-60079-10-1:2016 [13], y es la que se muestra a continuación.

5.2.1 Características principales de los gases y vapores inflamables

Para poder clasificar adecuadamente las zonas peligrosas debidas a sustancias inflamables en forma de gas o vapor es interesante conocer determinados parámetros que se definen a continuación:

Relacionados con la sensibilidad a la ignición:

- Densidad Relativa de gas o vapor: Relación entre la densidad del gas o vapor y la densidad del aire a idénticas condiciones de temperatura y presión.
- Índice politrópico de expansión adiabática (γ): Relación entre los calores específicos a presión y volumen constantes de la sustancia.

- Punto de destello o de inflamación: Es la temperatura a la que el equilibrio líquido-vapor, en presencia de aire en condiciones atmosféricas alcanza el Límite Inferior de Explosividad (LIE). Por tanto, dicha propiedad sólo podrá ser aplicable a aquellas sustancias que en condiciones atmosféricas sean líquidos. A dicha temperatura el líquido desprende vapores en cantidad suficiente como para originar la formación de una mezcla de vapor/aire inflamable. Esta propiedad se determina, normalmente, por el método en “vaso cerrado”.
- Temperatura de autoignición: es la temperatura más baja de una superficie caliente a la cual, bajo las condiciones especificadas, se produce la ignición de una sustancia inflamable en forma de un gas o vapor mezclado con el aire. No es necesario una fuente de ignición para la combustión.
- Intersticio Experimental Máximo de Seguridad (IEMS): Máximo intersticio de una junta de 25 mm de longitud que impide toda transmisión de una explosión al realizar 10 ensayos en el aparato normalizado de ensayo. Es una medida de la sensibilidad a la inflamación por medio de gases calientes originados por la explosión de la misma mezcla en otra cámara.

5.2.2 Identificación de fuentes de escapes

Se consideran fuentes de escapes todos aquellos puntos de la instalación que puedan tener una fuga de sustancia peligrosa que puede generar una atmósfera explosiva.

Las fuentes de escape pueden ser uniones embridadas de tuberías, de válvulas, de bombas, empaquetaduras de válvulas, vástagos de válvulas, el asiento de las válvulas de seguridad, cuerpos de bombas o de compresores, conexiones de mangueras de carga y descarga desde camiones cisternas, puntos de tomas de muestras.

5.2.3 Tipo y extensión de las zonas

El cálculo de la distancia peligrosa y de su tipo se hace según las fórmulas de la Norma UNE-EN 60079-10-1:2016 [13] y la Norma UNE-EN 12215:2005+A1:2009 [16] (para la cabina de pintura líquida). Esta distancia puede tener diferentes formas según sea la densidad del gas, ligero con formas cónicas o pesado con formas semiesféricas, o igual de denso que el aire con formas cilíndricas.

El tipo de zona peligrosa vendrá dado por el grado de escape, la capacidad de dilución y la disponibilidad de aire del ambiente que lo rodea.

En la tabla 5-4 se especifica la clasificación de las zonas en función del grado de escape.

Tabla 5-4: Clasificación en función del grado de escape

Grado de escape	Duración y probabilidad (P)	Zona	Ejemplos de fuentes de escape
Continuo Constante o durante largos periodos	Más de 1000 h/año $P > 10^{-1}$	Zona 0	Superficie de un líquido inflamable en un tanque de techo fijo con un venteo siempre abierto a la atmósfera. Superficies de un líquido inflamable en un tanque abierto a la atmósfera continuamente o por largos periodos.
Primario Periódico u ocasional en funcionamiento normal	De 10 a 1000 h/año $10^{-1} > P > 10^{-3}$	Zona 1	Sellos de bombas, compresores y válvulas si es previsible que tengan fugas de sustancias inflamables en funcionamiento normal. Puntos de drenaje de agua en recipientes que puedan contener líquidos inflamables. Puntos de toma de muestra donde se prevén fugas de sustancias inflamables en funcionamiento normal. Válvulas de seguridad, puntos de venteo y aberturas donde es previsible el escape de sustancias inflamables en funcionamiento normal.
Secundario¹ No probable en funcionamiento normal, y de corta duración	Menos de 10 h/año $10^{-5} > P > 10^{-3}$	Zona 2	Sellos de bombas, compresores y válvulas donde no se prevén fugas de sustancias inflamables en funcionamiento normal. Bridas, uniones y accesorios de tuberías donde no se prevén fugas de sustancias inflamables en funcionamiento normal. Puntos de toma de muestra donde no se prevén fugas de sustancias inflamables en funcionamiento normal. Válvulas de seguridad, puntos de venteo y aberturas donde no es previsible el escape de sustancias inflamables en funcionamiento normal.
Sin escape²	Menos de 1 h en 10 años $P < 10^{-5}$	-	Tuberías soldadas en buen estado.

Notas:

¹ Dentro del funcionamiento normal pueden considerarse pequeños escapes de sustancias inflamables. Por ejemplo: Fuga en cierres de eje que se sellan con el mismo fluido que se trasvasa.

² Las roturas catastróficas que requieren de una reparación urgente o de una parada de las instalaciones no se consideran parte del funcionamiento normal. Por ejemplo: La rotura de un sello de una bomba o de la junta de una brida, o un gran derrame accidental.

No obstante, aunque el grado de escape proporciona una primera idea de la clasificación de la zona, debe considerarse, además, la influencia de la ventilación en el punto de fuga. La ventilación se clasifica en función de tres parámetros: Su tipo, su grado y su disponibilidad, desarrollados en la tabla 5-5.

Tabla 5-5: Clasificación de la ventilación por tipo, grado y disponibilidad

Parámetro	Clasificación de la ventilación	Descripción
Tipo	Natural	Debida al movimiento del aire y/o a los gradientes de temperatura.
	Artificial	Debida a movimientos mecánicos como pueden ser ventiladores. Puede ser general y/o local.
Grado	Alto	Permite reducir de manera prácticamente instantánea la concentración de la fuente de escape por debajo del LIE. Puede reducir la extensión de la zona clasificada (incluso hasta que sea despreciable) de manera que cuando termina el escape no hay persistencia de la atmósfera explosiva.
	Medio	Permite controlar la dispersión y mantener una situación estable, de manera que la concentración más allá de la zona clasificada es inferior al LIE durante el escape. Cuando el escape termina, la atmósfera no persiste excesivamente.
	Bajo	No permite controlar la concentración mientras hay escape. Cuando este termina hay permanencia de la atmósfera explosiva.
Disponibilidad	Buena	La ventilación es permanente. Por ejemplo, un emplazamiento exterior elevado a los cuatro vientos. Si es artificial debe valorarse la fiabilidad del equipo. Si hay avería debe iniciarse automáticamente una ventilación de emergencia. Si falla la energía dispone de un generador de reserva. También se considera muy buena si hay sistema de interrupción automática en caso de paro de la ventilación.
	Aceptable / Adecuada / Justa	Se espera que exista en funcionamiento normal. Las interrupciones son poco frecuentes y por periodos cortos. Los emplazamientos exteriores están a nivel de suelo y sin obstáculos que formen recintos protegidos del viento. Se espera que la velocidad del viento sea igual o superior a 0,5 m/s de manera casi permanente.
	Pobre	Siempre que no se puede clasificar como disponibilidad buena o muy buena, aunque no se esperan interrupciones prolongadas.

Por tanto, teniendo en cuenta, además del grado de escape, la influencia de la ventilación en el punto de fuga, la clasificación de zonas queda como se indica en la tabla 5-6.

Tabla 5-6: Clasificación de zonas en función del grado de escape y las características de la ventilación

Grado de escape	Ventilación						
	Grado de dilución						
	Alto			Medio			Bajo
	Disponibilidad						
	Buena	Aceptable	Pobre	Buena	Aceptable	Pobre	Buena, Aceptable o Pobre
Continuo	Zona 0 ED	Zona 0 ED + Zona 2	Zona 0 ED + Zona 1	Zona 0	Zona 0 + Zona 2	Zona 0 + Zona 1	Zona 0
Primario	Zona 1 ED	Zona 1 ED + Zona 2	Zona 1 ED + Zona 2	Zona 1	Zona 1 + Zona 2	Zona 1 + Zona 2	Zona 1 o Zona 0
Secundario	Zona 2 ED	Zona 2 ED	Zona 2	Zona 2	Zona 2	Zona 2	Zona 1 o Zona 0
Sin fuga	Zona no clasificada						

***Notas:**

- “zona X + zona Y” significa una zona X rodeada de una zona Y.
- “ED” indica que la zona clasificada tiene teóricamente una Extensión Despreciable, usualmente de unos pocos centímetros, por las características de la ventilación presente en condiciones normales. Se considera por tanto una zona no peligrosa y puede tratarse prácticamente como si fuera una zona no clasificada. No puede olvidarse, sin embargo, que en caso de ausencia de la ventilación normal podría existir una atmósfera explosiva.
- Si existen simultáneamente fuentes continuas, primarias o secundarias, la clasificación final considerará la extensión más grande.
- En caso de grado de ventilación bajo, la disponibilidad es irrelevante (ver última columna de la tabla). Si no hay ventilación, o ésta es muy débil, por ejemplo, en el interior de una arqueta cerrada, una pequeña fuga estructural puede llegar a formar una atmósfera explosiva en el recinto cerrado de manera permanente o por grandes periodos de tiempo.

5.2.4 Zonas clasificadas por líquidos y gases inflamables

Se muestra en la tabla 5-7 el resumen de las zonas clasificadas por líquidos y gases inflamables en el establecimiento.

Tabla 5-7: Zonas clasificadas por líquidos y gases inflamables

1	Fuentes de escape				Sustancia inflamable			Ventilación			Zona peligrosa	
	2	3	4	5	6	7		9			10	11
N°	Descripción	Localización	Línea proceso	Grado escape	Ref.	Temp Op °C	Pres operación Pa	Tipo	Dilución	Disponibilidad	Tipo de zona	Radio m
1	Válvulas d<150mm	ERM	ERM entrada	S	1	20	1 701 325	N	Medio	Buena	2	1,83
2	Juntas espirometálicas	ERM	ERM entrada	S	1	20	1 701 325	N	Alto	Buena	2ed	--
3	Válvulas d<150mm	ERM	ERM salida	S	1	20	351 325	N	Medio	Buena	2	1,83
4	Juntas espirometálicas	ERM	ERM salida	S	1	20	351 325	N	Alto	Buena	2ed	--
5	Válvula escape de seguridad	ERM	ERM	S	1	20	351 325	N	Medio	Buena	2	1,83
6	Válvula entrada	Rampas Gas	Túnel de pintura	S	1	20	351 325	F	Medio	Justa	2	0,52
7	Válvula salida	Rampas Gas	Túnel de pintura	S	1	20	110 125	F	Alto	Justa	2	0,67
6	Cabina pintura líquida	Sala de pintura líquida	Pintado de piezas	C	4/5	18	-	F	-	-	2	Int.
7	Pistola de pintura	Sala de pintura líquida	Pintado de piezas	C	4/5	18	-	F	-	-	2	1,00
8	Limpieza pistola con disolvente	Sala de pintura líquida	Pintado de piezas	C	4	18	101 325	F	Alto	Justa	2	0,07
9	Bañera extractor interno	Soldadura por olas	Soldadura	P	6	75	101 325	F	Alto	Buena	1	Int.
10	Pistola llama propano	Hidráulica - retractilado	Retractilado	P	2	35	451 325	N	Alto	Justa	2	0,31
11	Válvulas de bombona	Hidráulica - retractilado	Botellón	S	2	35	451 325	N	Medio	Justa	2	2,39
12	Barreño disolvente	Hidráulica - Limpieza de bloques	Mesa lavadora	C	4	18	101 325	F	Alto	Justa	2	0,07
13	Baterías	Sala de carga	Recarga	S	3	30	101 325	N	-	-	2	0,5

* Notas:

Ref.: tipo de sustancia peligrosa, correspondencia de número en tabla 4-2.

Ventilación Tipo: "N" natural, "F" forzada.

Tipo de zona: "1ed", "2ed" extensión despreciable emplazamiento no peligroso en condiciones normales de explotación. "X+Y" extensión zona X rodeada por zona Y.

Radio: Distancia peligrosa desde fuente de escape en todas direcciones. **Int.:** Alcance en el interior considerado

6 MEDIDAS EXISTENTES

6.1 Medidas preventivas existentes

El establecimiento objeto de estudio posee unas medidas preventivas acorde con el riesgo de las sustancias peligrosas capaces de generar una atmósfera explosiva. Estas medidas se resumen en las tablas 6-1 y 6-2 que se muestran a continuación, donde se clasifican por instalaciones o zonas existentes que están en funcionamiento (según plano que se adjunta en Anexo A).

De las medidas preventivas existentes actualmente y de la evaluación del riesgo se deberán adoptar una serie de medidas correctoras que aplicarán a:

- Instalaciones
- Medidas organizativas
- Inspecciones y mantenimiento de equipos
- Equipos eléctricos y mecánicos

Estas medidas podrán ser acciones de mejoras en los equipos e instalaciones, así como mejora en la organización, o medidas de sustitución de equipos en caso de no llevarse a cabo las de mejora.

Tabla 6-1: Medidas preventivas existentes para evitar la formación o persistencia de una atmósfera explosiva

Evitar la formación o persistencia de una atmósfera explosiva	
Área o zona	Medida
Puesto de corte y soldadura	Se dispone de extracción localizada en cada puesto de trabajo, con filtros en cada uno de los equipos.
Cabina de pintura líquida	La cabina dispone de extracción posterior, sin embargo, se debe establecer un protocolo que obligue a tener en marcha los extractores antes de empezar la tarea de pintura.
Cortadora láser	Son máquinas que poseen filtros de polvo metálico en el inferior de la máquina, los filtros son absolutos y cada vez que se limpian se aspiran con una aspiradora protegida contra explosiones.
Sala carga baterías de carretillas y limpiadoras	Dispone de ventilación natural.
Hidráulica- Limpieza de bloques	Dispone de extracción de la máquina de lavado.
Hidráulica – Retractilado	No existe ninguna en estos momentos.
Túnel de pintura seca	El sistema de pintura de polvo genera nubes de polvo en el interior que pueden dispersarse por las aberturas.
Soldadura por olas	Tienen un sistema de extracción de gases que evacúa los gases al exterior.
Sala de grabación y serigrafía	El polvo generado en las máquinas de grabación es extraído de forma localizada al exterior de la nave a través de filtros adecuados.
ERM	Está situada en el exterior de la nave, donde una nube inflamable no tiene impedimentos para diluirse en el ambiente.

Tabla 6-2: Medidas Preventivas existentes para evitar la activación de focos de ignición

Evitar la activación de focos de ignición	
Área o zona	Medida
Puesto de corte y soldadura	No aplica
Cabina de pintura líquida	No existen
Cortadora láser	No aplica
Sala carga baterías de carretillas y limpiadoras	No existen
Limpieza de bloques	No existen
Hidráulica	No existen
Túnel de pintura seca	No existen
Soldadura por olas	Extractores de vapores protegidos contra explosiones. Se muestra un listado de equipos en el apartado 9 (Tabla 9-1)
Sala de grabación y serigrafía	No existen
ERM	Equipos de gas natural protegidos contra explosiones

6.2 Medios de protección existentes

En el establecimiento existe un sistema de detección y extinción contra incendios que consiste en un sistema automático con centralita que gestiona el funcionamiento. Además, poseen bocas de incendios equipadas y extintores repartidos por la instalación, a saber:

- Carro extintor 25 Kg polvo ABC
- Extintor 5 Kg CO2 89 B
- Extintor 6 Kg polvo 27A 183B C
- Central de incendios
- Detectores ópticos, térmicos y de barrera
- Pulsadores manuales y sirenas de alarma

7 EVALUACIÓN DEL RIESGO

Para dar cumplimiento al artículo 4 del Real Decreto 681/2003 [1] se estudiarán los siguientes aspectos:

1. La probabilidad de presencia, activación de focos de ignición.
2. Las proporciones de los efectos previsibles o consecuencias de un incendio o explosión.
3. Requisitos legales del empresario.
4. Propuesta y prioridad de medidas correctoras.

Esquemáticamente, el proceso de evaluación puede representarse como se indica en la figura 7-1:



Figura 7-1: Esquema de evaluación del riesgo de explosión

En esta figura se aprecia que, a partir de la clasificación obtenida para cada una de las zonas en las que es probable la formación de una atmósfera explosiva, y de la probabilidad de que en dichas áreas se presenten determinados focos de ignición, se obtendrá la probabilidad de la explosión, que junto con la severidad de la misma, determinarán la evaluación del riesgo de explosión.

Se muestra brevemente el método seguido con un resumen al final del apartado donde se expone la evaluación del riesgo con un valor de la prioridad para acometer las acciones correctoras.

7.1 Probabilidad de presencia y activación de posibles focos de ignición

El siguiente paso, una vez definidas las zonas peligrosas dentro del establecimiento, es identificar los posibles focos de ignición, siguiendo la lista no exhaustiva que indica la norma UNE EN 1127-1:2011 [8]. En la tabla 7-1, se estudia la posible activación de cada foco en los procesos analizados.

Tabla 7-1: Focos de ignición

Fuente de ignición			
Item	Posible foco	Aplicable (Sí/No)	Significativa (razón)
1	Superficies calientes	Sí	Equipos no Ex en túnel de pintura seca, cabina de pintura líquida.
2	Llamas y gases calientes	No	
3	Chispas de origen mecánico	Sí	Equipos no Ex en túnel de pintura seca, cabina de pintura líquida.
4	Equipos eléctricos e instalación eléctrica	Sí	Equipos no Ex en túnel de pintura seca, cabina de pintura líquida e hidráulica.
5	Corrientes eléctricas parásitas	Sí	Uniones equipotenciales deficitarias en equipos que usan disolventes.
6	Electricidad estática	Sí	Descarga de pintura en polvo a tolva de lecho fluido. En el vertido de disolvente desde lata a barreño de plástico en zona de limpieza de bloques. En el llenado de flux desde garrafa hacia depósito de la máquina. Limpieza del interior de cabina de pintura en polvo, con palas y cepillos que pueden generar carga electrostática por roce o chispas por golpes.
7	Rayos	No	
8	Ondas electromagnéticas RF 104 Hz – 3×10^{12} Hz	No	
9	Ondas electromagnéticas 3×10^{11} Hz – 3×10^{15} Hz	No	
10	Radiación ionizante	No	
11	Ultrasonidos	No	
12	Compresión adiabática y ondas de choque	No	
13	Reacciones exotérmicas y autoignición polvo	Sí	Acumulación excesiva de polvo en los interiores de los sistemas de filtrado absoluto.
14	Maquinaria	Sí	Carretillas, transpaletas y limpiadoras a la hora de realizar la carga de las baterías o acercarse a su posición de recarga.

Así mismo, se establece el criterio de probabilidad de activación de dichos focos de ignición según la tabla 7-2.

Tabla 7-2: Probabilidad de activación de los focos de ignición

Probabilidad	Condiciones normales de trabajo	Ejemplos
Alta	Se espera la activación de focos de ignición de manera ocasional	<ul style="list-style-type: none"> Equipos o instalaciones no aptas para ATEX Equipos o instalaciones ATEX deterioradas Inadecuada formación o no seguir procedimientos establecidos para áreas clasificadas
Media	Se espera la activación de focos de ignición en caso de disfuncionamiento previsible	<ul style="list-style-type: none"> Equipos o instalaciones ATEX, pero de categoría inferior a la adecuada a la zona clasificada Incumplimientos previsibles de los procedimientos para áreas clasificadas Procedimientos de trabajo incompletos
Baja	Solo se espera la activación de focos de ignición en caso de disfuncionamiento raro	<ul style="list-style-type: none"> Equipos o instalaciones ATEX adecuadas al tipo de zona clasificada, en buen estado Cumplimiento de los procedimientos para áreas clasificadas

7.2 Probabilidad de explosión

La probabilidad de que ocurra la explosión dependerá por un lado de la posible activación de los focos de ignición y, por otro, del tipo de área clasificada en que se encuentren dichos focos. En la tabla 7-3 se adjunta una propuesta de probabilidad en función de estos parámetros, basada en la indicada en la Nota Técnica de Prevención del INSHT, NTP 876 “Evaluación de los riesgos específicos derivados de las atmósferas explosivas (ATEX) [17].

Tabla 7-3: Frecuencia de explosión

Frecuencia de explosión en condiciones normales		Clasificación de zonas			
		Zona 0/20	Zona 1/21	Zona 2/22	Zonas OED/1ED/2ED
Probabilidad de presencia los focos de ignición	Alta	Frecuente	Probable	Ocasional	Improbable
	Media	Ocasional	Remoto	Improbable	Improbable
	Baja	Remoto	Improbable	Improbable	Improbable

La frecuencia de ocurrencia de la explosión, como se muestra en la siguiente tabla 7-4, se define en el método RASE (The RASE Project (SMT4-CT97-2169). Explosive Atmospheres: Methodology on Risk Assessment of Unit Operations and Equipment. CEN/TC 305 N 273 (2000)) [18].

Tabla 7-4: Definición de la frecuencia de explosión (RASE Project 5.3 [18])

Frecuencia de explosión	Elemento individual específico	Conjunto de instalaciones (inventario)
Frecuente	Probablemente ocurrirá con frecuencia	Observado continuamente
Probable	Ocurrirá varias veces en la duración del elemento	Ocurrirá frecuentemente
Ocasional	Probable que ocurra alguna vez en la duración del elemento	Ocurrirá varias veces
Remoto	Improbable pero posible que ocurra en la vida del elemento	Improbable, pero es razonable esperar que ocurra
Improbable	Tan improbable que puede suponerse que no ocurrirá	Improbable que ocurra, pero posible

7.3 Proporciones de los efectos previsibles

Una vez identificados los focos de ignición, se evalúa el riesgo explosión. Partiendo de la base de que una explosión tendrá una severidad de los efectos al menos importante (grave) o catastrófica (mortal). En la tabla 7-5 se exponen los diferentes niveles de severidad en el daño de una explosión.

Tabla 7-5: Definición del daño (RASE Project 5.3 [18])

Severidad de la explosión	Definición del daño
Catastrófico	Muerte o pérdida total de instalaciones
Importante	Lesión grave, enfermedad profesional grave con efectos irreversibles. Daños graves a las instalaciones
Secundario	Lesión leve, enfermedad profesional leve o daños leves en las instalaciones
Despreciable	Lesión, enfermedad muy leve o incidentes leves en las instalaciones

La guía técnica del RD 681/2003 [19], publicada por el INSHT, comenta sobre el artículo 4 del RD 681/2003 [1] (Evaluación del riesgo de explosión) que “el riesgo de explosión es siempre un riesgo grave ya que las consecuencias, en caso de materializarse son graves o muy graves”. Por este motivo, la severidad siempre se evaluará como mayor o catastrófico, excepto si existen medidas de protección que reduzcan las consecuencias. De manera no exhaustiva se citan algunas de ellas:

- Emplazamiento apartado sin instalaciones críticas alrededor, y que no exista la posibilidad que haya personas en sus alrededores. (Por ejemplo, algunos venteos)
- Emplazamiento aislado de las personas y del entorno mediante muros o cierres de construcción resistentes a la presión de explosión y al choque de la onda expansiva.
- Descarga de la explosión en un lugar seguro: paneles autoexplosivos, discos de ruptura, etc.
- Supresores de explosión, supresores de deflagración, supresores de detonación, etc.
- Apagallamas resistentes a la combustión de larga duración.

- Dispositivos anti-retorno.
- Barreras extintoras.

7.4 Evaluación del riesgo de explosión

Se evalúa el riesgo de explosión utilizando el proyecto titulado Methodology for the Risk Assessment of Unit Operations and Equipment for Use in Potentially Explosive Atmospheres (The RASE Project, EU Project No: SMT4-CT97-2169) [18] elaborado por diversos organismos internacionales de reconocido prestigio en el campo de las atmósferas explosivas. En el proyecto RASE se establecen cuatro niveles de riesgo (A, B, C, y D) para un emplazamiento según la probabilidad de explosión y a las consecuencias esperables. Con la frecuencia y la severidad podemos usar la siguiente matriz que se refleja en la tabla 7-6 para definir el nivel de riesgo de explosión.

Tabla 7-6: Evaluación del riesgo de explosión (RASE Project 5.3)

Definición del nivel de riesgo	Severidad de explosión			
	Catastrófico	Importante	Secundario	Despreciable
Frecuente	A	A	A	C
Probable	A	A	B	C
Ocasional	A	B	B	D
Remota	A	B	C	D
Improbable	B	C	C	D

Estos niveles de riesgo (A, B, C, D) se definen en la tabla 7-7, en la que se pueden ver el alcance de las acciones a tomar. Posteriormente pasaremos a definir una prioridad en la ejecución de las acciones a tomar, ver apartado siguiente.

Tabla 7-7: Definición nivel de riesgo de explosión (RASE Project 5.4 [18])

Nivel	Riesgo de explosión	Definición
A	Intolerable	Se requieren medidas adicionales para reducir el nivel riesgo (sustitución o reparación equipo).
B	Alto	Deben tomarse medidas para reducir el riesgo (inspección y revisión de instalaciones y equipos).
C	Medio	Puede reducirse con medidas organizativas (inspección y mantenimiento equipos, limpieza, vigilancia y aberturas).
D	Aceptable	No se requieren acciones adicionales (seguimiento e inspección equipos e instalaciones).

Con todo esto explicado anteriormente pasamos a mostrar el resultado de la evaluación del riesgo de los focos de ignición identificados en el establecimiento. Para los equipos eléctricos y mecánicos se ha elaborado un listado con todas las acciones que se han de llevar a cabo con respecto a los focos de ignición de superficies calientes, chispas mecánicas y equipos eléctricos. En la tabla 7-8 se expone el valor del nivel de riesgo en general, de los focos de ignición identificados.

Tabla 7-8: Evaluación del riesgo en el establecimiento

Ref.	Descripción del riesgo				Nivel de riesgo		
	Tipo de riesgo	Localización / Línea de proceso	Equipo	Item / Foco ignición	Frecuencia explosión	Severidad explosión	Valor riesgo
1	Capa de polvo depositada en exterior equipos	Exterior cabina de pintura seca	Ver listado apartado 9	1 / superficie caliente	Improbable	Importante	C
2	Nube de vapor en cabina de pintura	En la sala cabina de pintura líquida	Ver listado apartado 9	3 / chispas mecánicas	Improbable	Importante	C
3	Capa de polvo depositada en interior equipos	Exterior cabina de pintura seca	Ver listado apartado 9	3 / chispas mecánicas	Improbable	Importante	C
4	Nube de vapor en cabina de pintura	Cabina de pintura líquida	Ver listado apartado 9	4 / equipos eléctricos	Improbable	Importante	C
5	Capa de polvo depositada en interior equipos	Exterior cabina de pintura seca	Ver listado apartado 9	4 / equipos eléctricos	Improbable	Importante	C
6	Nube de gas en zonas de trabajo	Hidráulica – retractilado	Cuadro eléctrico hidráulica	4 / equipos eléctricos	Improbable	Importante	C
7	Nube de gases en conductos ventilación	Extracción general	Extractores	4 / equipos eléctricos	Improbable	Importante	C
8	Nube de vapor en exterior de equipos o en zonas de trabajo	Hidráulica - Limpieza de bloques	Puertas de la bañera, bomba disolvente.	5 / corrientes eléctricas parásitas	Improbable	Importante	C
9	Nube de polvo en tolva lecho fluido	Descarga de polvo desde saco hacia tolva de lecho fluido	Tolva lecho fluido	6 / electricidad estática	Remoto	Importante	B
10	Nube de polvo interior de cabina pintura seca	En operaciones de limpieza y recogida polvo	Pala, cepillo, paredes cabina	6 / electricidad estática	Remoto	Catastrofico	A
11	Nube de vapor en bañera limpieza bloques	En operaciones de recipiente para limpieza bloques	Pincel y cepillo	6 / electricidad estática	Remoto	Importante	B
12	Nube de vapor en depósito flux	En operaciones de llenado del depósito de flux	Lata y bañera de soldar	6 / electricidad estática	Remoto	Importante	B
13	Capa de polvo depositada en los filtros absolutos	En operaciones de mantenimiento, por falta	Filtros absolutos	13 / reacciones exotérmicas	Improbable	Importante	C
14	Nube de gas hidrógeno en interior de maquinaria	En la colocación de cada máquina en su lugar de recarga con interferencia con otras en recarga.	Carretillas, transpaletas, limpiadoras	14 / maquinaria	Improbable	Importante	C

7.5 Requisitos legales del empresario

En el Real Decreto 681/2003 [1] se establecen una serie de medidas de obligado cumplimiento para el empresario. En la siguiente tabla 7-9 se muestran resumidamente con las observaciones al respecto.

Tabla 7-9: Requisitos legales de obligado cumplimiento

Documentos		Requisitos a cumplir	Observaciones
Permisos de trabajo		Anexo II.A Pto. 1.2 R.D. 681/2003 [1]	Debe establecerse un procedimiento de permisos de trabajo en el que se deben mencionar las medidas para trabajos en zonas ATEX
Plan de señalización		Anexo III RD 681/2003 [1]	Debe señalizarse el riesgo
Plan de coordinación de actividades empresariales		Art. 6 R.D. 681/2003 [1]	El procedimiento de coordinación de actividades empresariales debe incluir la documentación y las medidas para trabajos en zonas ATEX
Plan de revisión del documento		Art. 3 R.D. 681/2003 [1]	Obligatorio cada vez que haya un cambio
Plan de información y formación	Supervisión instalación eléctrica	REBT R.D. 842/2002, ITC-BT-29 (ITC-BT-3; ITC-BT-05) [3] ó competencia 2 a 3 años	Obligatorio antes del inicio de la actividad y periódicamente. Tener los certificados de revisión por la OCA.
	Formación general ATEX	REBT R.D. 842/2002, ITC-BT-29 [3] (UNE-EN 60079-10-1:2016 [13], UNE-EN 60079-10-2:2016 [14], UNE-EN 60079-14:2016 [20])	Debe darse formación al respecto a los trabajadores y guardar los registros.
	Formación inspección y mantenimiento equipos ATEX	REBT R.D. 842/2002, ITC-BT-29 [3] (UNE-EN 60079-17:2014 [21])	
	Formación reparación equipos ATEX	REBT R.D. 842/2002, ITC-BT-29 [3] (UNE-EN 60079-19:2011 [22])	
Nombramientos	Supervisión trabajos en zonas ATEX	Art. 5.B R.D. 681/2003 [3]	Para los trabajos y las tareas que estén afectadas por la posible aparición de atmósferas ATEX por realizarse en zonas clasificadas deben tenerse los nombramientos de las personas encargadas del asunto en cuestión.
	Coordinación de actividades empresariales	Art. 6 R.D. 681/2003 [3]	
	Recurso preventivo	Art. 22 R.D. 39/1997 RSP [23]	
	Expedición de permisos de trabajo	Anexo II.A.1.2. RD 681/2003 [1]	
	Verificación de la seguridad del entorno de trabajo antes de ser utilizados por primera vez los equipos	Anexo II.A.2.8. RD 681/2003 [1]	
Desconexión de los sistemas de seguridad y protección, de los procesos automáticos que se desvíen de su uso previsto	Anexo II.A.2.9. RD 681/2003 [1]		
Principios básicos	Evitar ATEX	Art. 3 RD 681/2003 [1]	Ver apartado de clasificación
	Evitar foco ignición	Art. 3 RD 681/2003 [1]	Ver la evaluación de riesgos
	Atenuar efectos incendio/explosión	Art. 3 RD 681/2003 [1]	Ver la evaluación de riesgos
Medidas protección	Evitar propagación	Art. 3 RD 681/2003 [1]	Ver la evaluación de riesgos

7.6 Prioridad y propuesta de las medidas correctoras

Finalmente, con todo lo anteriormente estudiado, analizado y con el nivel de riesgo establecido se establecen prioridades para la adopción de las medidas correctoras, en las que los riesgos con una severidad de los efectos catastrófico y una misma frecuencia de explosión, serán las primeras en ejecutar. Para ello usaremos la matriz de prioridades de la tabla 7-10, teniendo en cuenta los plazos establecidos para cada nivel de prioridad que se reflejan en la tabla 7-11.

Tabla 7-10: Matriz de priorización de acciones

Matriz de priorización de acciones			Severidad de la explosión (número de personas afectadas)			
			Despreciable	Secundario	Importante	Catastrófico
			0	1	2	3
Frecuencia del foco de ignición	1 vez al año (A)	3	0	3	4	4
	1 vez cada 10 años (B)	2	0	2	3	4
	1 vez cada 25 años (C)	1	0	1	2	3
	1 vez en la vida de la planta (D)	0	0	1	1	2

Tabla 7-11: Plazos de ejecución de las acciones

Valor	Prioridad	Interpretación
4	1ª	Se debe parar la actividad hasta reducir el riesgo.
3	2ª	Se deben tomar medidas para reducir el riesgo en un plazo inmediato.
2	3ª	Se deben tomar medidas para reducir el riesgo en un corto plazo inmediato.
1	4ª	Se deben planificar medidas para reducir el riesgo y adoptarlas a medio plazo.
0	5ª	No se requieren acciones adicionales, si bien aún puede reducirse más el riesgo con medidas técnicas y/o organizativas.

En la tabla 7-12 se muestra el resumen de las prioridades según el nivel de riesgo obtenido.

Tabla 7-12: Prioridad de las acciones

Ref.	Descripción del riesgo				Nivel de riesgo	Prioridad		
	Tipo de riesgo	Localización / Línea de proceso	Equipo	Item / Foco ignición	Valor riesgo	Magnitud explosión	Frecuencia foco de ignición	Valor prioridad
1	Capa de polvo depositada en exterior de equipos	Exterior cabina de pintura seca	Ver listado apartado 9	1 / superficie caliente	C	2	2	3
2	Nube de vapor en cabina de pintura	En la sala cabina de pintura líquida	Ver listado apartado 9	3 / chispas mecánicas	C	2	2	3
3	Capa de polvo depositada en exterior de equipos	Exterior cabina de pintura seca	Ver listado apartado 9	3 / chispas mecánicas	C	2	2	3
4	Nube de vapor en cabina de pintura	Cabina de pintura líquida	Ver listado apartado 9	4 / equipos eléctricos	C	2	2	3
5	Capa de polvo depositada en exterior de equipos	Exterior cabina de pintura seca	Ver listado apartado 9	4 / equipos eléctricos	C	2	2	3
6	Nube de gas en zonas de trabajo	Hidráulica – retractilado	Cuadro eléctrico hidráulica	4 / equipos eléctricos	C	2	2	3
7	Nube de gases en conductos de ventilación	Extracción general	Extractores	4 / equipos eléctricos	C	2	1	2
8	Nube de vapor en exterior de equipos o en zonas de trabajo	Hidráulica - Limpieza de bloques	Puertas de la bañera, bomba disolvente.	5 / corrientes eléctricas parásitas	C	2	1	2
9	Nube de polvo en tolva lecho fluido	Descarga de polvo desde saco hacia tolva de lecho fluido	Tolva lecho fluido	6 / electricidad estática	B	2	1	2
10	Nube de polvo interior de cabina pintura seca	En operaciones de limpieza de polvo	Pala, cepillo, paredes cabina	6 / electricidad estática	A	3	1	3
11	Nube de vapor en bañera limpieza bloques	En operaciones de llenado recipiente para limpieza bloques	Pincel y cepillo	6 / electricidad estática	B	2	1	2
12	Nube de vapor en depósito flux	En operaciones de llenado del depósito de flux	Lata y bañera de soldar	6 / electricidad estática	B	2	1	2
13	Capa de polvo depositada en los filtros absolutos	En operaciones de mantenimiento, por falta	Filtros absolutos	13 / reacciones exotérmicas	C	2	1	2
14	Nube de gas hidrógeno en interior de maquinaria	En la colocación de cada máquina en su lugar de recarga con interferencia con otras en recarga.	Carretillas, transpaletas, limpiadoras	14 / maquinaria	C	2	2	3

Una vez definidos los niveles de riesgo y las prioridades, en el siguiente apartado se verán las medidas correctoras que deben ejecutarse para que el lugar de trabajo con riesgo de formación de una atmósfera potencialmente explosiva sea seguro para los trabajadores.

8 RESULTADOS

Como resumen del estudio realizado al establecimiento se presentan una serie de medidas correctoras que se consideran necesarias para aumentar la seguridad de la instalación y cumplir con el Real Decreto 681/2003 [1], disminuyendo el nivel de riesgo. De la evaluación de riesgos realizada y para el nivel de riesgo obtenido se tiene que se deberá reducir el nivel de riesgo obtenido a aceptable. Para reducir el riesgo a un nivel aceptable habrá que intervenir en varios aspectos, que son los siguientes.

- Limpieza: Debe asegurarse el procedimiento limpieza de forma que se evite la formación incontrolada de capas de polvo que pueden generar una atmósfera explosiva.
- Instalaciones: los conductos de ventilación deben tener dispositivos antichispas al final de los mismos.
- Equipos: las medidas de corrección aplicables serán:
 - a) sustitución de los equipos, cuya puesta en uso fue después de junio del año 2003 y no disponen del marcado ATEX adecuado.
- Señalización: Los lugares, instalaciones o equipos, en los que el riesgo de formación de atmósfera explosiva no haya podido ser eliminado deberán ser señalizados al menos con señal similar a la representada en la figura 8-1, sin menoscabo de incluir otras indicaciones y paneles informativos, como se indica en el artículo 7 y anexo III del R.D. 681/2003 [1].



Figura 8-1: Señal de peligro por posible atmósfera explosiva

De este tipo de medidas correctoras que se pueden llevar a cabo se muestran en la tabla 8-1 las que se deben llevar a cabo para mejorar el nivel de seguridad.

En cuanto a las medidas correctoras de los equipos eléctricos y mecánicos, vienen definidas en el apartado 9, "Listado de equipos".

Tabla 8-1: Medidas correctoras y priorización

Ref	Descripción del riesgo						Medida correctora
	Tipo de riesgo	Localización / Línea de proceso	Equipo	Item / Foco ignición	Nivel de riesgo	Prioridad	
1	Capa de polvo depositada en exterior equipos	Exterior cabina de pintura seca	Ver listado apartado 9	1 / superficie caliente	C	3	Están descritas en apartado 9 "Listado de equipos"; y complementariamente la siguiente. Debe mantenerse el procedimiento de limpieza de equipos y suelo al finalizar cada turno de trabajo de manera que no puedan persistir capas de polvo, y para ello deberán utilizarse equipos de limpieza adecuados (cepillos antichispa, aspirador con marcado ATEX adecuado, Ex II 3G)
2	Nube de vapor en cabina de pintura	En la sala cabina de pintura líquida	Ver listado apartado 9	3 / chispas mecánicas	C	3	Están descritas en apartado 9 "Listado de equipos"
3	Capa de polvo depositada en interior equipos	Exterior cabina de pintura seca	Ver listado apartado 9	3 / chispas mecánicas	C	3	Descrita en referencia 1
4	Nube de vapor en cabina de pintura	Cabina de pintura líquida	Ver listado apartado 9	4 / equipos eléctricos	C	3	Están descritas en apartado 9 "Listado de equipos"
5	Capa de polvo depositada en interior equipos	Exterior cabina de pintura seca	Ver listado apartado 9	4 / equipos eléctricos	C	3	Descrita en referencia 1.
6	Nube de gas en zonas de trabajo	Hidráulica - retractilado	Cuadro eléctrico hidráulica	4 / equipos eléctricos	C	3	Establecer dentro de la nave una zona habilitada para esta operación, donde no haya equipos eléctricos o posibles focos de ignición en la cercanía, ya sea por la pistola o por las bombonas almacenadas, cumpliendo para su almacenamiento con la APQ10. También se recomienda la posibilidad del cambio del propano (más pesado que el aire) por gas natural (menos pesado que el aire).
7	Nube de gases en conductos ventilación	Extracción en general de gases / vapores inflamables	Extractores	4 / equipos eléctricos	C	2	El conducto de extracción de gases o vapores inflamables debe ser dirigido hacia fuera de la nave, aislado del resto de otros conductos de ventilación y la terminación del conducto debe tener un antichispa para evitar que cualquier chispa del exterior entre al conducto.
8	Nube de vapor en exterior de equipos o en zonas de trabajo	Hidráulica - Limpieza de bloques	Puertas de la bañera, bomba disolvente.	5 / corrientes eléctricas parásitas	C	2	Disponer de un barreño metálico, que esté unido mediante una pinza y trenza metálica, a la bañera (que estará puesta a tierra). Así mismo las latas desde donde se trasvasan deberán tener una pinza y trenza metálica que se una al barreño metálico.

Tabla 8-1: Medidas correctoras y priorización (continuación)

Ref	Descripción del riesgo						Medida correctora
	Tipo de riesgo	Localización / Línea de proceso	Equipo	Item / Foco ignición	Nivel de riesgo	Prioridad	
9	Nube de polvo en tolva lecho fluido	Descarga de polvo desde saco hacia tolva de lecho fluido	Tolva lecho fluido	6 / electricidad estática	B	2	El producto es sensible a la electricidad estática, en el vertido desde el saco puede generarse una chispa por acumulación de energía electrostática en el saco y por la diferencia de potencial entre las diferentes partes como son, trabajador, saco, compuerta y tolva. Por lo que debería interponerse un dispositivo de cierre intermedio o bien trasvasar a un recipiente de metal (respetar un tiempo de relajación de 1 minuto) en una parte separada del túnel, en un sala adecuada y aislada de la nave, para después hacer la descarga mediante una pinza y trenza metálica que se una al recipiente metálico.
10	Nube de polvo interior de cabina pintura seca	En operaciones de limpieza y recogida polvo	Pala, cepillo, paredes cabina	6 / electricidad estática	A	3	La cabina en su interior se debe mantener de tal forma que no se acumulen capas de polvo en las superficies de la misma. Así mismo se debe asegurar que los equipos de limpieza no generen chispas o se carguen con electricidad estática. Usando arrastradores que disipen la energía acumulada, en vez de cepillos (que pueden generar acumulación de estática por frotación) o palas de metal que pueden generar chispas al chocar con la superficie. También se puede aspirar el polvo mediante un sistema que lo devuelva al recuperador de polvo.
11	Nube de vapor en bañera limpieza bloques	En operaciones de llenado recipiente para limpieza bloques en hidráulica	Pincel y cepillo	6 / electricidad estática	B	2	En los casos que se necesite reparar las piezas con disolvente, se debe disponer de un barreño metálico unido mediante trenzas y pinzas metálicas tanto a la lata como a la máquina lavadora.
12	Nube de vapor en depósito flux	En operaciones de llenado del depósito de flux	Lata y bañera de soldar	6 / electricidad estática	B	2	Para el trasvase de flux desde lata a contenedor de bañera soldadora usar trenzas y pinzas metálicas para unir entre sí la lata y la máquina.
13	Capa de polvo depositada en los filtros absolutos	En operaciones de mantenimiento, por falta	Filtros absolutos	13 / reacciones exotérmicas	C	2	Los filtros absolutos deben limpiarse según las instrucciones del fabricante, en caso de necesitar limpiarse, se deberá hacer mediante la aspiradora que está disponible en el área de cortadora láser.
14	Nube de gas hidrógeno en interior de maquinaria	En la colocación de cada máquina en su lugar de recarga con interferencia con otras en recarga.	Carretillas, transpaletas, limpiadoras	14 / maquinaria	C	3	La colocación correcta de las carretillas, transpaletas y limpiadoras es un método eficaz para evitar que una posible chispa en la conexión y desconexión del cableado de recarga de las baterías provoque un incendio o explosión de la nube de hidrógeno que se genera a través de las válvulas de seguridad de las baterías. Se debe mantener la distancia de seguridad de 0,5 m a ambos lados evitando fuentes de ignición en la zona.

9 LISTADO DE EQUIPOS

En la tabla 9-1 se muestran las medidas que deben adoptarse en determinados equipos mecánicos y eléctricos, e incluso en vestuario y equipos de protección individual que deben utilizar los trabajadores en su caso, para minimizar los riesgos de explosión. En el apartado 11 se profundiza sobre el marcado de equipos para atmósferas ATEX, que aparecen en el apartado observaciones de la tabla en algunos casos.

Tabla 9-1: Listado de equipos

Tag DPCE	Sistema	Lugar	Equipo	Partes equipo	Marca / Modelo	ATEX	Observaciones
1	Cabina pintura líquida	Cabina	Extractores vapores	Palas			Las palas y el reductor deben ser Ex II 2G c T85°C
2	Cabina pintura líquida	Cabina	Polipasto	Equipo entero			Debe ser Ex II 2G EEx e IIAT2 IP67
3	Cabina pintura líquida	Cabina	Luminarias	Equipo entero			Deben ser Ex II 2G EEx e IIAT2 IP67
4	Cabina pintura líquida	Cabina	Focos	Equipo entero			Debe ser Ex II 2G EEx e IIAT2 IP67
5	Cabina pintura líquida	Cabina	Mesas metálicas	Equipo entero			Deben tener trenza y pinza metálica unida a cabina y puestos a tierra
6	Túnel pintura seca	Túnel pintura	Ropa	Equipo entero			Antiestático
7	Túnel pintura seca	Túnel pintura	Guantes	Equipo entero			Antiestático
8	Túnel pintura seca	Túnel pintura	Aspiradora	Equipo entero			Debe ser Ex II 3D
9	Túnel pintura seca	Túnel pintura	Luminarias de interior	Equipo entero			Debe ser Ex III 2D EEx tD A21 IIIB T250°C IP 67
10	Túnel pintura seca	Túnel pintura	Pala	Equipo entero			Pala antichispa
11	Túnel pintura seca	Túnel pintura	Equipos de control	Equipo entero			Debe ser Ex III 3D EEx tD A22 IIIB T250°C IP 67
12	Túnel pintura seca	Túnel pintura	Cuadros eléctricos	Equipo entero			Debe ser Ex III 3D EEx tD A22 IIIB T250°C IP 67
13	Túnel pintura seca	Túnel pintura	Motor agitador lecho recuperador	Equipo entero			Debe ser Ex III 3D EEx tD A22 IIIB T250°C IP 67
14	Túnel pintura seca	Túnel pintura	PC	Equipo entero			Debe ser Ex III 3D EEx tD A22 IIIB T250°C IP 67

10 JUSTIFICACIÓN DE CÁLCULOS

En este apartado, se justifican, mediante cálculos basados en las Normas de aplicación, las distancias susceptibles de explosión derivadas de las diferentes fugas o escapes que pueden producirse en las áreas en las que se ha analizado la posible formación de atmósferas explosivas por gases o líquidos, bien debidas a fallo de los elementos, como pueden ser válvulas, o bien por el propio proceso, como es el caso de la carga de baterías de las carretillas de mantenimiento.

En el caso de las atmósferas explosivas debidas a polvo, se justificarán las zonas peligrosas establecidas en base a las Normas de aplicación.

10.1 Magnitudes y coeficientes relevantes para los cálculos

En los siguientes puntos se analizan cada uno de los casos significativos presentes en la fábrica, para ello es necesario conocer las diferentes magnitudes que aparecen en las fórmulas utilizadas y que se reflejan a continuación, en la tabla 10-1.

Tabla 10-1: Magnitudes y coeficientes relevantes para cálculos

Magnitud	Símbolo	Unidades	Observaciones
Presión atmosférica	P_a	Pa	Valor habitual: 101 325 Pa
Presión crítica	P_c	Pa	Valor límite de la presión para el bloqueo sónico en descargas de gases compresibles
Presión de funcionamiento	P	Pa	Valor de presión a la que se encuentra el fluido
Diferencia de presión a través de la abertura de escape	ΔP	Pa	
Presión o tensión de vapor	P_v	kPa	
Temperatura ambiente	T_a	K	Valor habitual: 293 K
Temperatura de funcionamiento	T	K	Temperatura absoluta del fluido
Temperatura de ebullición	T_b	K	
Coefficiente adiabático o politrópico o de expansión	γ	-	Cociente de las capacidades caloríficas a presión (c_p) y volumen (c_v) constantes
Tasa de escape de gas	W_g	kg/s	Es el gasto de gas debido al escape
Tasa de escape para líquidos	W	kg/s	
Tasa de escape de charcos de evaporación (velocidad de evaporación del líquido)	W_e	kg/s	

Tabla 10-1: Magnitudes y coeficientes relevantes para cálculos (continuación)

Magnitud	Símbolo	Unidades	Observaciones
Caudal de escape o evaporación (Tasa específica de escape o evaporación volumétrica)	Q_g	m ³ /s	Según se refiera a fugas de gas o charcos de evaporación de líquidos
Densidad del gas	ρ_g	kg/m ³	
Densidad del líquido	ρ	kg/m ³	
Masa molar del fluido	M	kg/Kmol	
Fracción molar del componente de la mezcla	y_i		En tanto por uno
Constante de los gases	R	J/(kmol·K)	R= 8 314 J/(kmol·K)
Coefficiente de descarga	C_d	-	Factor para tener en cuenta el flujo turbulento y la viscosidad, tomando valores entre 0,50 y 0,75 para orificios de escape afilados y valores entre 0,95 y 0,99 para orificios redondeados (Norma UNE-EN 60079-10-1:2016 Anexo B [13])
Factor de compresibilidad	Z	-	Z=1 para gases ideales. Para presiones bajas a medias puede utilizarse este valor hasta P=50 bar. Para valores por encima debe utilizarse el valor Z correspondiente. (Norma UNE-EN 60079-10-1:2016 Anexo B [13])
Límite inferior de inflamabilidad	LII	% o vol/vol	
Sección de la abertura de escape	S	m ²	
Superficie del charco	A_p	m ²	
Límite inferior de inflamabilidad másico	LII _m	kg/m ³	
Factor de seguridad atribuido al LII	k	-	Expresa la fiabilidad del dato del LII para el gas del proceso. Habitualmente $0,5 \leq k \leq 1$
Velocidad del viento	u_w	m/s	
Concentración de fondo del ambiente	X_b	% o vol/vol	Concentración media de la sustancia inflamable en el lugar después del periodo transitorio
Concentración crítica	X_{crit}	% o vol/vol	Valor de concentración en el lugar a partir del cual no puede asegurarse que la ventilación diluye la atmósfera peligrosa generada por el escape y debe considerarse que el grado de dilución es bajo. Se toma como valor habitual: $X_{crit} = 0,25 \cdot LII$
Caudal de ventilación de entrada	Q_1	m ³ /s	Caudal de aire que entra en el local
Caudal de salida	Q_2	m ³ /s	Caudal de mezcla de gas/aire que sale del local. $Q_2=Q_1+Q_g$
Volumen del lugar en estudio	V ₀	m ³	

Tabla 10-1: Magnitudes y coeficientes relevantes para cálculos (continuación)

Magnitud	Símbolo	Unidades	Observaciones
Factor de ineficiencia de la mezcla	f	-	Refleja la mezcla del gas de la envolvente exterior del escape con el aire y, por tanto, la uniformidad de la concentración de fondo. Toma valores entre 1 (uniforme) y 5 (mezcla muy ineficiente)
Frecuencia de renovación de aire	C	s ⁻¹	Indica el número de veces que se renueva el aire en el volumen considerado por unidad de tiempo
Caudal de aire	Q _a	m ³ /s	
Coefficiente de descarga para aberturas de ventilación	C _d	-	Tiene en cuenta turbulencia y viscosidad. Valor típico entre 0,5 y 0,75
Área efectiva contra el viento o abertura inferior	A ₁	m ²	
Área efectiva a favor del viento o abertura superior	A ₂	m ²	
Área efectiva equivalente	A _e	m ²	
Coefficiente de presión característico del edificio	ΔC _p	-	Valores típicos Norma UNE 202007:2006 IN [12]: 0,9 Viento perpendicular a las aberturas de entrada 0,4 Viento a 45° o más de las aberturas de entrada de aire o edificio parcialmente protegido 0,2 Viento a menos de 45° de las aberturas de entrada de aire. 0,1 Edificio protegido por otras estructuras
Temperatura interior	T _{in}	K	Temperatura interior del local (a efectos de cálculo de ventilación)
Temperatura exterior	T _{out}	K	Temperatura exterior del local (a efectos de cálculo de ventilación)
Tiempo de dilución	t _d	s	Tiempo requerido para diluir un escape desde la concentración de fondo al valor crítico
Distancia peligrosa	d _z	m	Extensión del emplazamiento peligroso desde la fuente de escape
Generación de hidrógeno en carga de baterías	q	m ³ /Ah	A 0 °C se genera q = 0,42·10 ⁻³ m ³ /h (UNE-EN 62485-3:2014)
Caudal de aire de ventilación para dilución de hidrógeno generado en carga de baterías	Q	m ³ /h	
Disolución de hidrógeno necesaria en la ventilación	v	---	
Corriente de emisión de gas en carga de baterías	I _{gas}	A	Para cargadores no regulados y cuando se desconoce la intensidad final de carga: I _{gas} = 0,4 · I _n (UNE-EN 62485-3:2015 [24])
Área libre mínima de aberturas para ventilación natural de hidrógeno generado en carga de baterías	A	m ²	La velocidad del aire debe ser mínimo 0,1 m/s. (UNE-EN 62485-3:2015 6.3 [24])

10.2 Resumen del procedimiento para la clasificación de zonas

Como se ha ido desarrollando en este trabajo, para llegar a la clasificación de las zonas peligrosas por atmósferas explosivas se requiere seguir una serie de pasos, que de forma general se pueden resumir en:

1. Identificación de los emplazamientos
2. Identificación de las sustancias inflamables (gases, vapores, líquidos, nieblas o polvos)
3. Identificación de las fuentes de escape
4. Grado de escape
5. Influencia de la concentración de los escapes o de las capas de polvo
6. Cálculo de la tasa de escape en zonas para gases y vapores
7. Características de la ventilación (disponibilidad, grado de dilución, efectividad)
8. Determinación del tipo de zona peligrosa (zonas 0, 1 ó 2 para gases; 20, 21 ó 22 para polvos)
9. Cálculo o estimación de la extensión de la zona
10. Clasificación del lugar o emplazamiento peligroso

A continuación, se justifican, para los diferentes emplazamientos significativos de la fábrica, los criterios y cálculos realizados para llegar a las clasificaciones obtenidas.

10.3 Expresiones de cálculo utilizadas

Las normas UNE 60079-10-1:2016 [13] y UNE 202007:2006 IN [12] proporcionan expresiones y gráficas para estimar diversos parámetros relevantes en el estudio del riesgo de formación de atmósfera explosiva. Debe observarse que en la selección de valores para los que el centro no disponga de datos conocidos es recomendable realizar hipótesis conservadoras en favor de la seguridad. Se indican algunas de las expresiones más utilizadas en la práctica y que han sido aplicadas en este trabajo clasificadas según su uso:

- Cálculo de propiedades de las sustancias líquidas o gaseosas (ecuaciones 10-1 a 10-5).
- Cálculo del escape en fase gas o líquido (ecuaciones 10-6 a 10-14).
- Ventilación. Ecuaciones (10-15) a (10-23).
- Cabinas de pulverización de pintura en polvo. Ecuaciones (10-24) a (10-25).
- Cabinas de pulverización de pintura líquida. Ecuaciones (10-26) a (10-27).
- Gráficas de zonas peligrosas por gases o vapores inflamables para el cálculo del grado de dilución (figura 10-1) y la distancia peligrosa (figura 10-2).

Ecuaciones relacionadas con las propiedades de las sustancias líquidas o gaseosas:

- Densidad del gas:

$$\rho_g = \frac{P_a \cdot M}{R \cdot T_a} \quad (10-1)$$

- Ley de Chatelier:

Para el cálculo del límite de inflamabilidad de una mezcla

$$LII_{mezcla} = \frac{1}{\left[\sum_{i=1}^n \frac{y_i}{LII_i} \right]} = \left[\sum_{i=1}^n \frac{y_i}{LII_i} \right]^{-1} \quad (10-2)$$

- Límite inferior de inflamabilidad másico (para $T_a=20^\circ\text{C}$):

$$LII_m = 0,416 \cdot 10^{-3} \cdot M \cdot LII \cdot \frac{P_a}{101325} \quad (10-3)$$

- Ecuación de Antoine:

Para el cálculo de presiones de vapor a diferentes temperaturas

$$\log P = A - \frac{B}{C + T} \quad (10-4)$$

(A,B,C parámetros empíricos)

- Ecuación de August (simplificación de la ecuación de Antoine con $C=0$):

$$P = 10^{A - \frac{B}{T}} \quad (10-5)$$

(Con 2 pares de P y T se puede obtener P a cualquier T. Útil para cálculo de P_v a T determinada)

Ecuaciones para el cálculo de escape de las sustancias líquidas o gaseosas inflamables:

- Tasa de escape para líquidos:

$$W = C_d \cdot S \cdot \sqrt{2 \cdot \rho \cdot \Delta P} \quad (10-6)$$

- Tasa de escape de charcos de evaporación (velocidad de evaporación del líquido):

$$W_e = \frac{6,55 \cdot u_w^{0,78} \cdot A_p \cdot P_v \cdot M^{0,667}}{R \cdot T} \quad (10-7)$$

- Caudal de evaporación en charcos (Tasa específica de evaporación volumétrica):

$$Q_g = \frac{6,5 \cdot u_w^{0,78} \cdot A_p \cdot P_v \cdot T_a}{10^5 \cdot M^{0,333} \cdot T} \quad (10-8)$$

- Presión crítica en gases:

$$P_c = P_a \cdot \left(\frac{\gamma + 1}{2}\right)^{\frac{\gamma}{\gamma - 1}} \quad (10-9)$$

$$\begin{cases} P > P_c & \text{Bloqueo sónico} \\ P < P_c & \text{Desbloqueado} \end{cases}$$

- Tasa de escape de gas. Bloqueo sónico:

$$W_g = C_d \cdot S \cdot P \cdot \sqrt{\frac{\gamma \cdot M}{Z \cdot R \cdot T} \cdot \left(\frac{2}{\gamma + 1}\right)^{\frac{\gamma + 1}{\gamma - 1}}} \quad (10-10)$$

- Tasa de escape de gas. Desbloqueado:

$$W_g = C_d \cdot S \cdot P \cdot \sqrt{\frac{M}{Z \cdot R \cdot T} \cdot \frac{2 \cdot \gamma}{\gamma - 1} \cdot \left[1 - \left(\frac{P_a}{P}\right)^{\frac{\gamma - 1}{\gamma}}\right] \cdot \left(\frac{P_a}{P}\right)^{\frac{1}{\gamma}}} \quad (10-11)$$

- Caudal de escape de gas:

$$Q_g = \frac{W_g}{\rho_g} \quad (10-12)$$

- Característica de escape de gas:

$$\text{Característica Escape} = \frac{W_g}{\rho_g \cdot k \cdot LII} = \frac{Q_g}{k \cdot LII} \quad (10-13)$$

- Generación de Hidrógeno en carga de baterías a T (°C):

$$q = 0,42 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{T + 273}{T} \quad [T(^{\circ}\text{C})] \quad (10-14)$$

Ecuaciones para cálculos relacionados con la ventilación:

- Concentración de fondo de gas:

$$X_b = \frac{f \cdot Q_g}{Q_g + Q_1} = \frac{f \cdot Q_g}{Q_2} \quad (10-15)$$

- Caudal de salida:

$$Q_2 = C \cdot V_0 \quad (10-16)$$

- Tiempo requerido para la diluir un escape:

$$t_d = \frac{1}{C} \cdot \ln\left(\frac{X_b}{X_{crit}}\right) \quad (10-17)$$

- Caudal de aire de ventilación mínimo teórico necesario para la dilución:

$$Q_{a \min} = \frac{W_g}{k \cdot LII_m} \cdot \frac{T_a}{293} \quad (10-18)$$

- Caudal de aire de ventilación por viento:

$$Q_a = c_d \cdot A_e \cdot u_w \cdot \sqrt{\frac{\Delta C_p}{2}} \quad (10-19)$$

- Caudal de aire de ventilación por flotabilidad (diferencia de temperatura):

$$Q_a = c_d \cdot A_e \cdot \sqrt{\frac{\Delta T}{(T_{in} + T_{out})} \cdot g \cdot H} \quad (10-20)$$

$$\Delta T = T_{in} - T_{out} \quad (\text{Para: } T_{in} > T_{out})$$

- Área efectiva:

$$A_e = \sqrt{\frac{2 \cdot A_1^2 \cdot A_2^2}{A_1^2 + A_2^2}} \quad (10-21)$$

- Caudal de aire de ventilación para dilución de hidrógeno de baterías:

$$Q = v \cdot q \cdot s \cdot n \cdot I_{gas} \quad (10-22)$$

$$v = \frac{100\% - 4\%}{4\%} = 24$$

$$s = 5 \quad (\text{factor de seguridad})$$

- Área libre mínima de ventilación para carga de baterías:

$$A = 28 \cdot Q \quad (10-23)$$

Ecuaciones para cálculos en cabinas de pulverización de materiales de recubrimiento orgánicos líquidos:

- Concentración de disolventes inflamables en términos de LII:

$$C_{LII}(\%LII) = \frac{100 \cdot \bar{C}}{LII} \quad (10-24)$$

Siendo:

\bar{C} la concentración media de disolventes inflamables en aire dentro de la cabina en g/m³

LII el límite inferior de inflamabilidad medido en g/m³

- Concentración media de disolventes inflamables en aire en la cabina:

$$\bar{C} = \frac{M_{max} \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3}{Q_{min}} \quad (10-25)$$

$$Q_{min} = v \cdot w \cdot l$$

Siendo:

M_{max} cantidad máxima de material pulverizado en una hora, en g/h

k_1 porcentaje en masa de disolventes en el material de recubrimiento

k_2 porcentaje estimado de disolventes evaporados en la cabina

k_3 factor de seguridad que tiene en cuenta la heterogeneidad de la concentración de disolventes y, en particular, la alta concentración entre la pistola de pulverización y la pieza de trabajo y su proximidad

Q_{min} caudal mínimo de aire fresco en la cabina para diluir los disolventes al nivel establecido, en m³/h

v velocidad del aire, en m/s.

w, l anchura y longitud de la sección transversal al caudal de aire, en m.

Ecuaciones para cálculos en cabinas de pulverización para aplicación de materiales de recubrimiento orgánicos en polvo:

- Concentración de polvo orgánico en términos de porcentaje de LII:

$$C_{LII}(\%LII) = \frac{100 \cdot \bar{C}}{LII} \quad (10-26)$$

Siendo:

\bar{C} la concentración media de polvo orgánico en aire dentro de la cabina en g/m³

LII el límite inferior de inflamabilidad de la mezcla polvo aire, medido en g/m³

- Concentración media de disolventes inflamables en aire en la cabina:

$$\bar{C} = \frac{M_{max}}{Q_{min}} \quad (10-27)$$

$$Q_{min} = v \cdot A \cdot 3600$$

Siendo:

M_{max} cantidad máxima de polvo de recubrimiento pulverizado en una hora, en g/h

Q_{min} caudal mínimo de aire fresco introducido en la cabina para diluir el polvo a la concentración establecida, en m³/h

v velocidad del aire, en m/s.

A sección transversal de todas las aberturas de la cabina, en m².

Gráficas necesarias para los cálculos de zonas peligrosas por gases o vapores

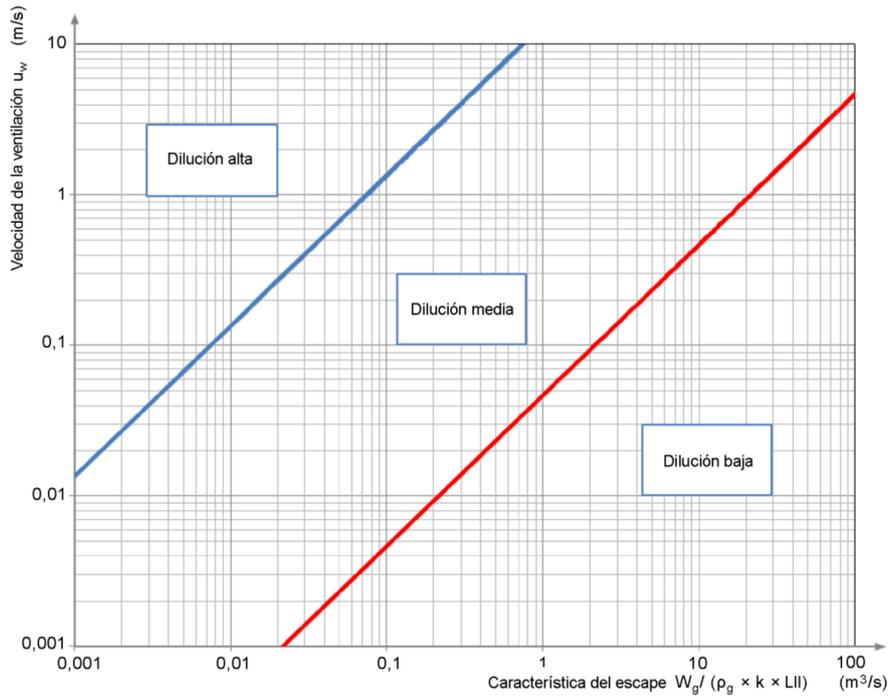


Figura 10-1: Gráfica para evaluar el grado de dilución (UNE-EN 60079-10-1:2016 Figura C.1 [13])

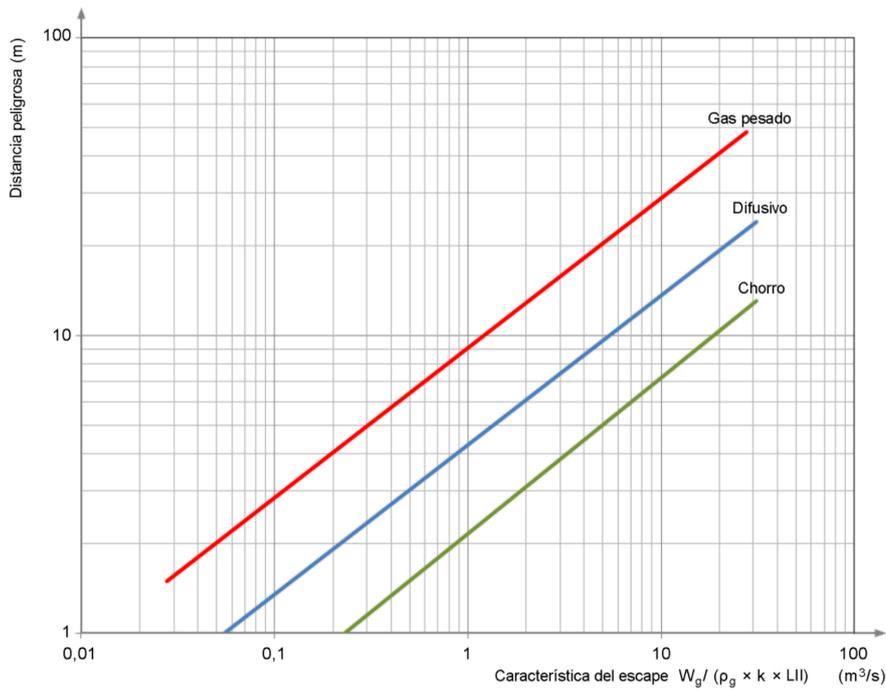


Figura 10-2: Gráfica para evaluar la distancia peligrosa (UNE-EN 60079-10-1:2016 Figura D.1 [13])

10.4 Formas de las zonas peligrosas

La norma UNE 60079-10-1:2016 [13] en su Anexo A sugiere las formas que adoptan las zonas peligrosas en función del tipo de escape. De ellas, se representan a continuación las que aparecen en este estudio relativas a zonas debidas a escapes de gas a baja presión o alta presión sin dirección determinada (figura 10-3), a gases a alta presión en una dirección específica (figura 10-4) y a la evaporación de charcos de líquidos inflamables (figura 10-5).

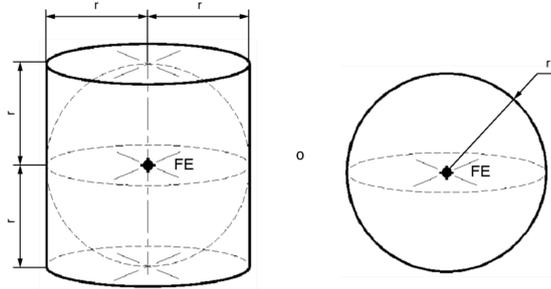


Figura 10-3: Zona por gas/vapor a baja presión o alta presión con dirección indeterminada (UNE-EN 60079-10-1:2016 Figura A.2)

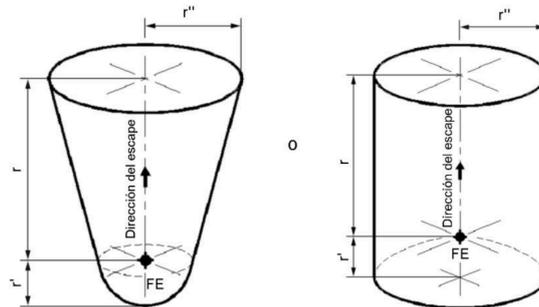


Figura 10-4: Zona por gas/vapor a alta presión (UNE-EN 60079-10-1:2016 Figura A.3)

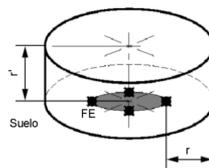


Figura 10-5: Zona por evaporación de charco de líquido inflamable (UNE-EN 60079-10-1:2016 Figura A.5)

Siendo:

FE: Fuente de escape

r: Extensión principal del emplazamiento peligroso a definir teniendo en cuenta la distancia peligrosa estimada

r',r'': Extensiones secundarias del emplazamiento peligroso a definir teniendo en cuenta el comportamiento del escape

h: Distancia entre la fuente de escape y el nivel del suelo o superficie por debajo del escape

Como se indica en el manual práctico de clasificación de zonas en atmósferas peligrosas [25], en el caso de líquido proyectado, por ejemplo, en el caso de fugas de líquido inflamable por orificio en tubería, hay que tener en cuenta que el charco se forma en el suelo a una distancia del punto de escape (“Recorrido del chorro” en la figura 10-6) que hay que considerar como parte del área peligrosa además de la extensión alrededor y por encima del propio charco generada por la evaporación.

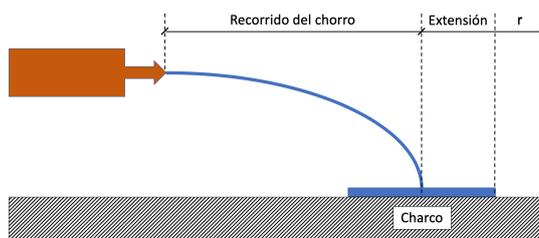


Figura 10-6: Proyección de sustancia líquida inflamable

10.5 Justificación de la clasificación de zonas por sustancias líquidas o gaseosas

En los siguientes subapartados se justificarán los resultados obtenidos para las principales zonas clasificadas en la fábrica, bien como consecuencia de cálculos según las fórmulas anteriores, bien derivado de indicaciones de diferentes normas UNE específicas de algunos equipos.

10.5.1 Estación reguladora de gas natural (ERM)

La estación reguladora de gas está proyectada por empresa especialista para Gas Natural Andalucía. En este proyecto de instalación consta expresamente que el armario de ERM está considerado en su interior como zona 2 y todos los equipos son compatibles con esta clasificación.

En el exterior del armario se dispone de válvula de entrada de gas de la red de distribución, válvula Wofer DN25 PN40 16 bar, y de válvula de salida a consumo, válvula de bola 1 ½" PN20 2,5 bar. Además, sobre el armario se encuentra una válvula de escape de seguridad (VES) situada del lado del usuario (baja presión), VES APQ VS-44, con capacidad de evacuación del 5% del caudal máximo establecido por proyecto en 140 m³/h, con diámetro mínimo de 15 mm.

La temperatura máxima previsible del gas, según proyecto, es de 20 °C.

Datos de la sustancia necesarios (obtenidos de la ficha de datos de seguridad (FDS) y de las tablas de datos de la tabla A.1 de la norma UNE 202007:2006 IN [12]):

Gas Natural:

Masa Molar (kg/kmol):	16,04	(UNE 202007:2006 IN Tabla A.1 [12])
Densidad relativa gas/aire:	0,554	(UNE 202007:2006 IN Tabla A.1 [12])
Índice politrópico de expansión adiabática:	1,31	(UNE 202007:2006 IN Tabla A.1 [12])
LII (%vol):	4,14	(FDS)
Grupo de material:	IIA	(FDS)
Clase de temperatura:	T1	(FDS)

Datos relativos a las fuentes de escape:

Se consideran como posibles fuentes de escape tanto las propias válvulas, por defectos en el sellado o cierre de las mismas, como las bridas de unión de las mismas. Estos escapes no están previstos en funcionamiento normal por lo que todos ellos se consideran secundarios y, por tanto, como indica la norma UNE-EN 60079-10-1:2016 B.4 [13] se considera a efectos de clasificación el mayor de los escapes y no la suma de cada uno de ellos. En la tabla 10-2 se resumen las características de estos escapes.

Tabla 10-2: Características escapes en ERM

Fuente de escape			Sustancia inflamable			Ventilación		Observaciones
Descripción	Grado	Sección escape *	Temperatura funcionamiento	Presión funcionamiento	Estado	Tipo	Disponibilidad	
Válvula de entrada	Secundario	2,5 mm ²	20 °C	16 barG 1 701 325 Pa	Gas	Natural	Buena	* La sección de escape se obtiene de la tabla B.1 de la UNE-EN 60079-10-1:2016 [13]
Junta espirometálica de válvula de entrada	Secundario	0,25 mm ²	20 °C	16 barG 1 701 325 Pa	Gas	Natural	Buena	
Válvula de salida	Secundario	2,5 mm ²	20 °C	2,5 barG 351 325 Pa	Gas	Natural	Buena	
Junta espirometálica de válvula de entrada	Secundario	0,25 mm ²	20 °C	2,5 barG 351 325 Pa	Gas	Natural	Buena	
Válvula de seguridad	Secundario	0,1x15 mm ²	20 °C	2,5 barG 351 325 Pa	Gas	Natural	Buena	

Se considera para los cálculos una temperatura ambiente de 40 °C y presión atmosférica 101 325 Pa, para obtener resultados del lado de la seguridad.

Con los datos disponibles se obtiene la presión crítica aplicando la fórmula (10-9):

$$P_c = 186\,284 \text{ Pa}$$

Por tanto, para:

$$P (16 \text{ bar}) = 1\,701\,325 \text{ Pa} \quad P > P_c \quad \text{Bloqueo sónico}$$

$$P (2,5 \text{ bar}) = 351\,325 \text{ Pa} \quad P > P_c \quad \text{Bloqueo sónico}$$

Lo que indica que los escapes son a alta velocidad y que para el cálculo de la tasa de escape se utilizará la fórmula (10-10) en todos estos casos.

En cuanto al coeficiente de descarga se consideran que los orificios de los escapes adoptan formas redondeadas con lo que se estima: $C_d = 0,99$.

El factor de compresibilidad Z, tal y como se indica en las observaciones de la tabla 10-1: Magnitudes y coeficientes relevantes para cálculos, adopta la unidad como valor.

En la tabla 10-3 se presentan los resultados de los cálculos realizados para llegar a establecer la clasificación de la zona y la extensión de la misma.

Tabla 10-3: Resumen cálculo zonas peligrosas ERM

	Entrada (16 bar)		Salida (2,5 bar)		VES (2,5 bar)	Observaciones
	Válvula	Junta	Válvula	Junta	Válvula	
W_g	$7,229 \cdot 10^{-3}$	$7,23 \cdot 10^{-4}$	$1,493 \cdot 10^{-3}$	$1,49 \cdot 10^{-4}$	$8,96 \cdot 10^{-4}$	Ecuación (10-10)
ρ_g	0,6245	0,6245	0,6245	0,6245	0,6245	Ecuación (10-1)
Q_g	$1,158 \cdot 10^{-2}$	$1,158 \cdot 10^{-3}$	$2,39 \cdot 10^{-3}$	$2,39 \cdot 10^{-4}$	$1,434 \cdot 10^{-3}$	Ecuación (10-12)
Característica de escape	0,5592	0,0559	0,1155	0,0115	0,0693	Ecuación (10-13) Se considera el factor de seguridad relativo al LI, $k = 0,5$ basado en el ejemplo nº 5 del Anexo E de la UNE-EN 60079-10-1:2016 [13]
u_w	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	Para espacios abiertos con gas menos pesado que el aire (densidad relativa menor de 0,8) se puede estimar $u_w \geq 0,5$ m/s y disponibilidad buena (UNE-EN 60079-10-1:2016 C.3.4 [13])
Disponibilidad	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	(Ver observación anterior)
Grado de dilución	Media	Media	Media	Alta	Media	Figura 10-1: Gráfica para evaluar el grado de dilución (UNE-EN 60079-10-1:2016 Figura C.1 [13])
Zona	2	2	2	2 ED	2	UNE-EN 60079-10-1:2016 Tabla D.1 [13]
Tipo de escape	Chorro	Chorro	Chorro	Chorro	Chorro	
d_z	1,56	$0,46 < 1$	$0,68 < 1$	---	$0,52 < 1$	Figura 10-2: Gráfica para evaluar la distancia peligrosa (UNE-EN 60079-10-1:2016 Figura D.1 [13])

A continuación, se representan los puntos de los diferentes escapes en las gráficas de Grado de Dilución (figura 10-7) y Distancia Peligrosa (figura 10-8) según los valores de la tabla anterior:

Escape	Característica	Velocidad de ventilación u_w (m/s)
Valv. Entrada	0,559185848	0,5
Brida Entrada	0,055918585	0,5
Valv. Salida	0,115472334	0,5
Brida Salida	0,011547233	0,5
VES	0,0692834	0,5

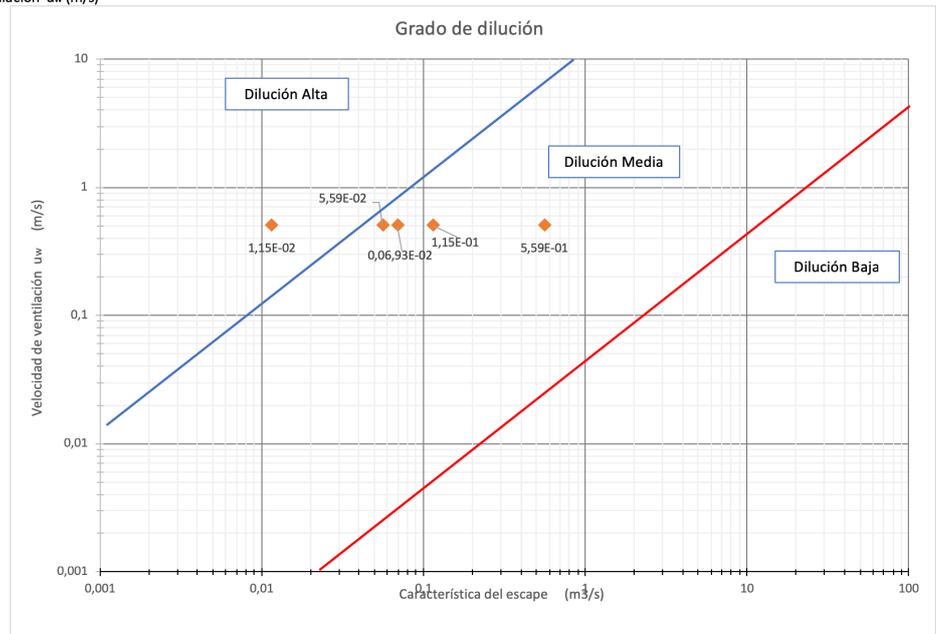


Figura 10-7: Gráfica Grado de Dilución para escapes en ERM

Escape	Tipo	Característica	Distancia peligrosa (m)
Valv. Entrada	Chorro	0,559185848	1,562714519
Brida Entrada	Chorro	0,055918585	0,460251987
Valv. Salida	Chorro	0,115472334	0,676367286
Brida Salida	Chorro	0,011547233	0,199204259
VES	Chorro	0,0692834	0,5157113

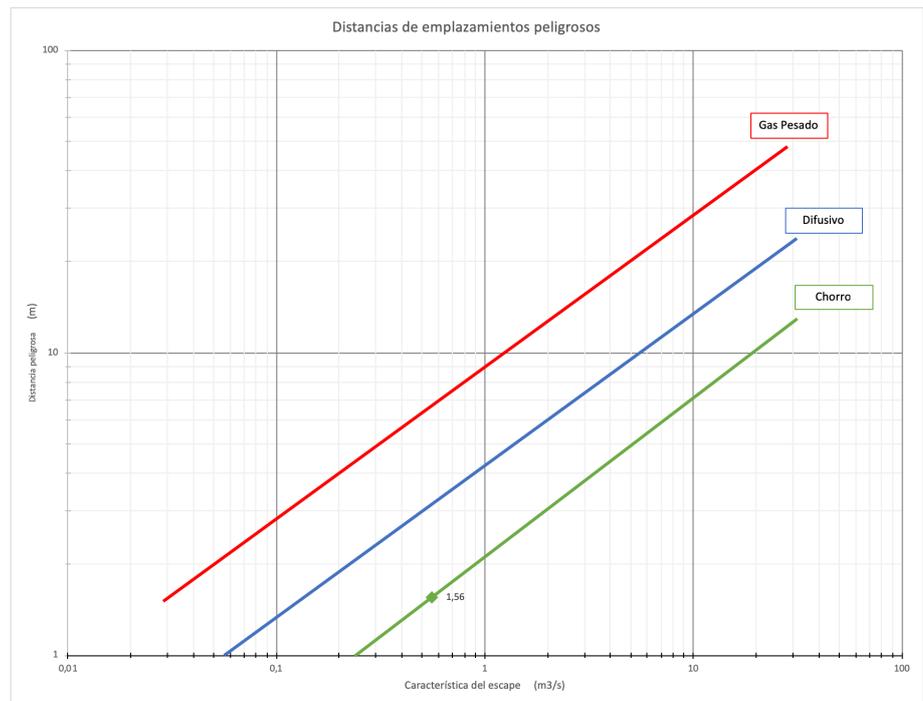


Figura 10-8: Gráfica Distancia Peligrosa para escapes en ERM

10.5.2 Rampas de gas en túnel de pintura seca (Quemadores)

La estación reguladora de gas del apartado anterior da servicio a los quemadores instalados en los hornos de secado y para calentamiento de los baños de limpieza de piezas del túnel de pintura en polvo. Los cálculos referentes a estas rampas se encuentran en el proyecto redactado para la ERM por técnico competente de empresa instaladora de gas.

La temperatura máxima previsible del gas, según proyecto, es de 20 °C.

Datos de la sustancia necesarios (obtenidos de la ficha de datos de seguridad (FDS) y de las tablas de datos de la tabla A.1 de la norma UNE 202007:2006 IN [12]):

Gas Natural:

Masa Molar (kg/kmol):	16,04	(UNE 202007:2006 IN Tabla A.1 [12])
Densidad relativa gas/aire:	0,554	(UNE 202007:2006 IN Tabla A.1 [12])
Índice politrópico de expansión adiabática:	1,31	(UNE 202007:2006 IN Tabla A.1 [12])
LII (%vol):	4,14	(FDS)
Grupo de material:	IIA	(FDS)
Clase de temperatura:	T1	(FDS)

Datos relativos a las fuentes de escape:

Según el proyecto, la alimentación de gas es a una presión de 2,5 bar procedente de la salida del ERM, y la salida a quemador es a una presión de 88 mbar. Por tanto, al igual que para el caso de la ERM, las fuentes de escape previsible serán las válvulas y uniones, de tipo secundario y considerando el peor de los casos, se realizarán los cálculos para las fugas por las válvulas donde, al igual que en el caso anterior, se estimará una sección de 2,5 mm² del orificio de escape.

En la tabla 10-4 se resumen las características de estos escapes.

Tabla 10-4: Características escapes rampas de gas

Fuente de escape			Sustancia inflamable			Ventilación		Observaciones
Descripción	Grado	Sección escape *	Temperatura funcionamiento	Presión funcionamiento	Estado	Tipo	Disponibilidad	* La sección de escape se obtiene de la tabla B.1 de la UNE-EN 60079-10-1:2016 [13]
Válvula de entrada	Secundario	2,5 mm ²	20 °C	2,5 barG 351 325 Pa	Gas	Artificial	Justa	
Válvula de salida	Secundario	2,5 mm ²	20 °C	88 mbarG 110 125 Pa	Gas	Artificial	Justa	

Se considera para los cálculos una temperatura ambiente de 35 °C y presión atmosférica 101 325 Pa, para obtener resultados del lado de la seguridad.

Con los datos disponibles se obtiene la presión crítica aplicando la fórmula (10-9):

$$P_c = 186\,284 \text{ Pa}$$

Por tanto, para:

$$P(2,5 \text{ bar}) = 351\,325 \text{ Pa} \quad P > P_c \quad \text{Bloqueo sónico}$$

$$P(88 \text{ mbar}) = 110\,125 \text{ Pa} \quad P > P_c \quad \text{Desbloqueo}$$

Lo que indica que para el cálculo de la tasa de escape se utilizará la fórmula (10-10) en el caso de entrada (2,5 bar) y la fórmula (10-11) para el caso de salida (88 mbar).

En cuanto al coeficiente de descarga se consideran que los orificios de los escapes adoptan formas redondeadas con lo que se estima: $C_d = 0,99$.

El factor de compresibilidad Z , tal y como se indica en las observaciones de la tabla 10-1: Magnitudes y coeficientes relevantes para cálculos, adopta la unidad como valor.

En la tabla 10-5 se presentan los resultados de los cálculos realizados para llegar a establecer la clasificación de la zona y la extensión de la misma.

Tabla 10-5: resumen cálculo zonas peligrosas en rampas de gas

	Válvula Entrada (2,5 bar)	Válvula Salida (88 mbar)	Observaciones
W_g	$1,92 \cdot 10^{-3}$ *	$2,7 \cdot 10^{-4}$ **	* Ecuación (10-10) Flujo sónico ** Ecuación (10-11) Flujo subsónico
ρ_g	0,6347	0,6347	Ecuación (10-1)
Q_g	$3,02 \cdot 10^{-3}$	$4,2 \cdot 10^{-4}$	Ecuación (10-12)
Característica de escape	0,146	0,02	Ecuación (10-13) Se considera el factor de seguridad relativo al LII, $k = 0,5$ basado en el ejemplo nº 5 del Anexo E de la UNE-EN 60079-10-1:2016 [13]
u_w	0,5	0,5	En interiores u_w mínima 0,5 m/s (UNE-EN 60079-10-1:2016 Tabla C.1) [13]
Disponibilidad	Justa	Justa	Escape en forma de chorro en un gran edificio (UNE-EN 60079-10-1:2016 C.4.2) [13]
f	4	4	Número de obstáculos elevados y cerca del suelo, lo que dificulta la mezcla
Q_2	24,4	24,4	Instalados 2 extractores en lucernario de techo de 44 000 m ³ /h cada uno
X_b	$4,94 \cdot 10^{-4}$	$6,87 \cdot 10^{-5}$	Ecuación (10-15)
X_{crit}	$1,035 \cdot 10^{-2}$	$1,035 \cdot 10^{-2}$	$X_b \ll X_{crit}$
Grado de dilución	Media	Alta	Figura 10-1: Gráfica para evaluar el grado de dilución (UNE-EN 60079-10-1:2016 Figura C.1 [13])
Zona	2	2 ED	UNE-EN 60079-10-1:2016 Tabla D.1 [13]
Tipo de escape	Chorro	Chorro	
d_z	$0,67 < 1$	---	Figura 10-2: Gráfica para evaluar la distancia peligrosa (UNE-EN 60079-10-1:2016 Figura D.1 [13])

A continuación, se representan los puntos de los diferentes escapes en las gráficas de Grado de Dilución (figura 10-9) y Distancia Peligrosa (figura 10-10) según los valores de la tabla anterior:

	Característica	Velocidad de ventilación u_w (m/s)
Entrada 2,5bar	0,146	0,5
Salida 88mbar	0,02	0,5

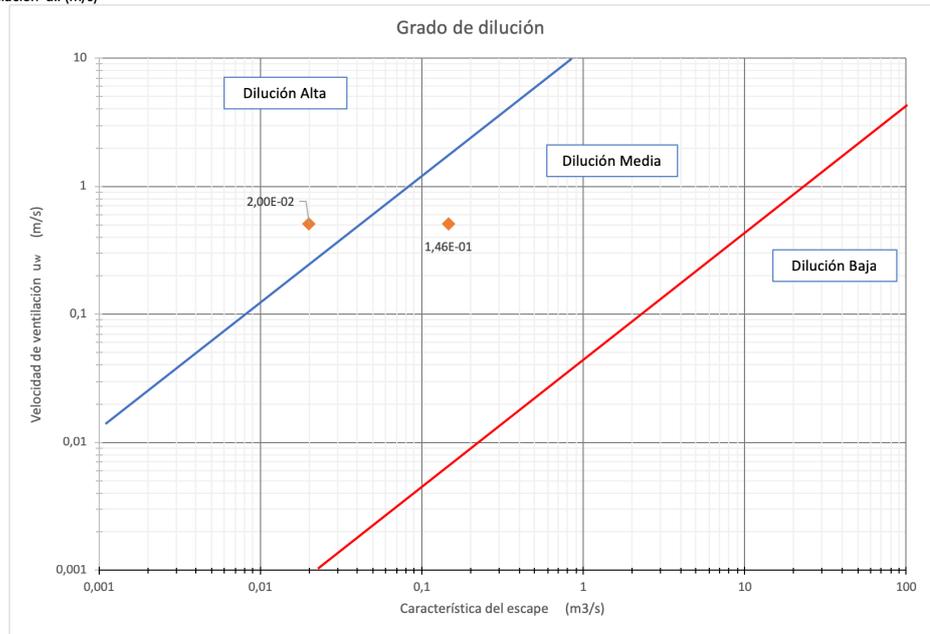


Figura 10-9: Gráfica Grado de Dilución para escapes en rampas de gas

	Característica	Distancia peligrosa (m)
Entrada 2,5bar Chorro	0,113627728	0,670609641

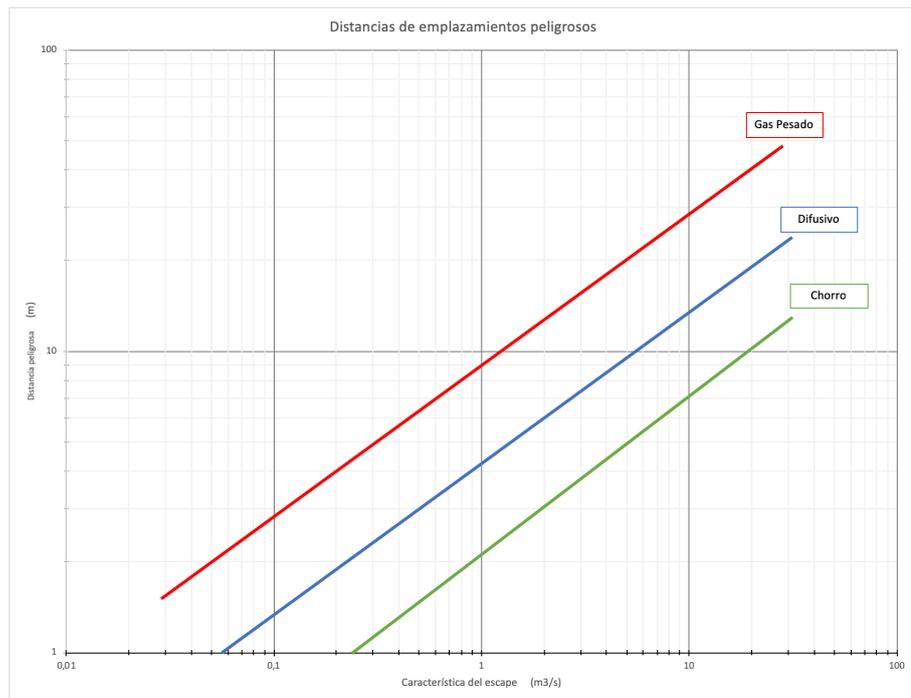


Figura 10-10: Gráfica Distancia Peligrosa para escapes en rampas de gas

10.5.3 Retractilado con gas propano

El proceso de retractorilado se realiza mediante una pistola de retractorilado Ripack 2000 con alimentación de gas propano a 3,5 bar y consumo máximo de 4 020 g/h ($1,12 \cdot 10^{-3}$ kg/s).

El gas se encuentra en la botella a la temperatura ambiente aproximadamente, que se va a estimar en 35 °C del lado de la seguridad.

El área donde se realiza el retractorilado dispone, al igual que el resto de la nave, de extractores de 1 825 m³/h repartidos para cumplir con las exigencias relativas a las renovaciones de aire para la ocupación del local por personas, 6 en este caso. Por tanto, tal y como indica el apartado C.4.4 de la norma UNE-EN 60079-10-1:2016 [13], aunque exista ventilación artificial, al no ser localizada, no es probable que el posible escape se diluya de forma inmediata por lo que no debe considerarse la disponibilidad como buena y, por tanto, se establece que la disponibilidad es justa.

Datos de la sustancia necesarios (obtenidos de la ficha de datos de seguridad (FDS) y de las tablas de datos de la tabla A.1 de la norma UNE 202007:2006 IN [12]):

Propano:

Masa Molar (kg/kmol):	44,1	(UNE 202007:2006 IN Tabla A.1 [12])
Densidad relativa gas/aire:	1,5	(FDS)
Índice politrópico de expansión adiabática:	1,14	(UNE 202007:2006 IN Tabla A.1 [12])
LII (%vol):	2,37	(FDS)
Grupo de material:	IIA	(FDS)
Clase de temperatura:	T1	(FDS)

Datos relativos a las fuentes de escape:

Se consideran como fuentes de escape:

- Escape primario en la fuga de gas que se produce en el encendido de la pistola
- Escape secundario por fugas en válvula, que al igual que los apartados anteriores se estima $S = 2,5 \text{ mm}^2$

En la tabla 10-6 se resumen las características de estos escapes.

Tabla 10-6: Características de escape en retráctilado con propano

Fuente de escape			Sustancia inflamable			Ventilación		Observaciones
Descripción	Grado	Sección escape *	Temperatura funcionamiento	Presión funcionamiento	Estado	Tipo	Disponibilidad	
Pistola	Primario		35 °C	3,5 barG 451 325 Pa	Gas	Natural	Justa	* La sección de escape se obtiene de la tabla B.1 de la UNE-EN 60079-10-1:2016 [13]
Válvula	Secundario	2,5 mm ²	35 °C	3,5 barG 451 325 Pa	Gas	Natural	Justa	Se conoce tasa máxima: 8 kg/h (2,22·10 ⁻³ kg/s)

Se considera para los cálculos una temperatura ambiente de 35 °C y presión atmosférica 101 325 Pa, para obtener resultados del lado de la seguridad.

Con los datos disponibles se obtiene la presión crítica aplicando la fórmula (10-9):

$$P_c = 175\,786 \text{ Pa}$$

Por tanto, para:

$$P (3,5 \text{ bar}) = 451\,325 \text{ Pa} \quad P > P_c \quad \text{Bloqueo sónico}$$

Lo que indica que para el cálculo de la tasa de escape se utilizará la fórmula (10-10).

En cuanto al coeficiente de descarga se consideran que los orificios de los escapes adoptan formas redondeadas con lo que se estima: $C_d = 0,99$.

El factor de compresibilidad Z, tal y como se indica en las observaciones de la tabla 10-1: Magnitudes y coeficientes relevantes para cálculos, adopta la unidad como valor.

En la tabla 10-7 se presentan los resultados de los cálculos realizados para llegar a establecer la clasificación de la zona y la extensión de la misma.

Tabla 10-7: Resumen cálculo de zonas peligrosas en retráctilado con gas propano

	Pistola (3,5 bar)	Válvula (3,5 bar)	Observaciones
W_g	$1,12 \cdot 10^{-3}$ *	$2,951 \cdot 10^{-3}$ **	* Dato conocido del fabricante ** Ecuación (10-10) Flujo sónico
ρ_g	1,745	1,745	Ecuación (10-1)
Q_g	$6,4 \cdot 10^{-4}$ *	$1,691 \cdot 10^{-3}$ **	* Calculado como el cociente entre tasa de escape conocida y densidad del gas ** Ecuación (10-12)
Característica de escape	0,02708	0,07136	Ecuación (10-13) Se considera el factor de seguridad relativo al LII, $k = 1$ dado que el valor de LII es aportado por la FDS y se entiende fiable.
u_w	0,5	0,5	En interiores u_w mínima 0,5 m/s (UNE-EN 60079-10-1:2016 Tabla C.1) [13]
Disponibilidad	Justa	Justa	Escape en forma de chorro en un gran edificio (UNE-EN 60079-10-1:20015 C.4.2 [13])
f	4	4	El área exacta donde se realiza el no presenta dificultades especiales a la circulación del aire, pero la extracción se encuentra repartida en los dientes de sierra de la zona y se encuentra obstáculos como estanterías, acopios, equipos y máquinas que pueden disminuir la eficacia de la ventilación.
Q_2	3,042	3,042	6 extractores de 1 825 m ³ /h
X_b	$8,42 \cdot 10^{-4}$	$2,22 \cdot 10^{-3}$	Ecuación (10-15)
X_{crit}	$5,925 \cdot 10^{-3}$	$5,925 \cdot 10^{-3}$	$X_b \ll X_{crit}$
Grado de dilución	Alta	Media	UNE-EN 60079-10-1:2016 C.4.2 [13] Confirmado por Figura 10-1: Gráfica para evaluar el grado de dilución (UNE-EN 60079-10-1:2016 Figura C.1 [13])
Zona	2 (1 ED)	2	UNE-EN 60079-10-1:2016 Tabla D.1 [13]
Tipo de escape	Chorro	Chorro	
d_z	0,31 < 1	0,52 < 1	Figura 10-2: Gráfica para evaluar la distancia peligrosa (UNE-EN 60079-10-1:2016 Figura D.1 [13])
Tipo de escape	Gas pesado	Gas pesado	Se valora esta opción, dado que en el caso de escape por válvula X_b no es mucho mayor que X_{crit}
d_z	1,47	2,39	Figura 10-2: Gráfica para evaluar la distancia peligrosa (UNE-EN 60079-10-1:2016 Figura D.1 [13])

A continuación, se representan los puntos de los diferentes escapes en las gráficas de Grado de Dilución (figura 10-11) y Distancia Peligrosa (figura 10-12) según los valores de la tabla anterior:

	Característica	Velocidad de ventilación u_w (m/s)
Pistola	2,71E-02	0,5
Válvula	7,14E-02	0,5

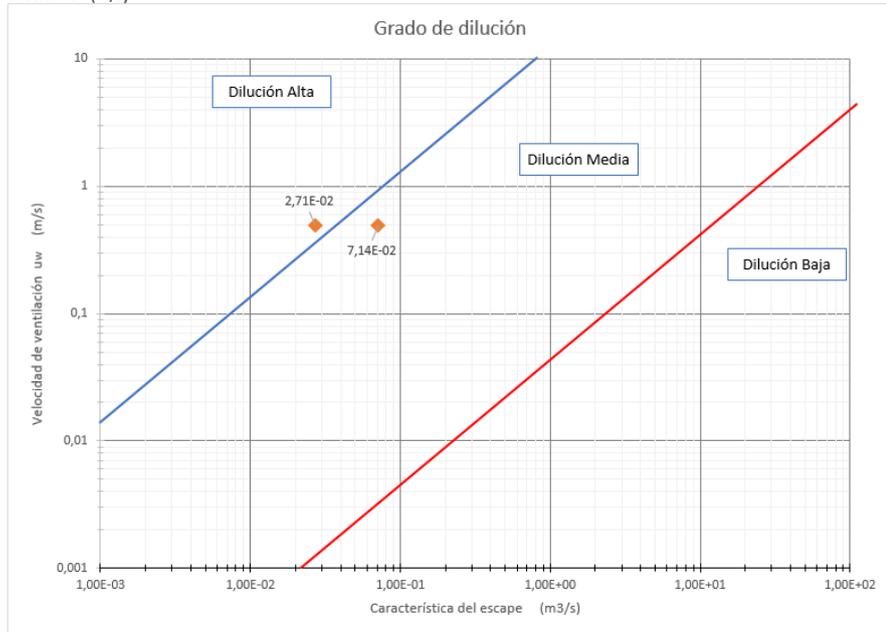


Figura 10-11: Gráfica Grado de Dilución para escapes en retráctilado

		Característica	Distancia peligrosa (m)
Pistola	Chorro	2,71E-02	0,313196
Válvula	Chorro	7,14E-02	0,52386
Pistola	Gas Pesado	2,71E-02	1,469999
Válvula	Gas Pesado	7,14E-02	2,391072

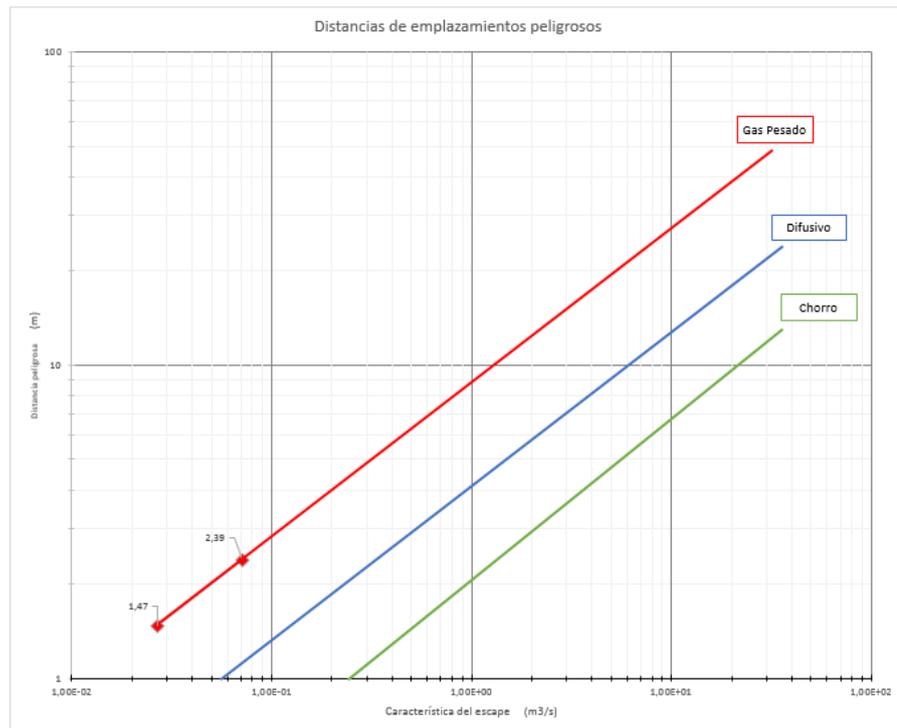
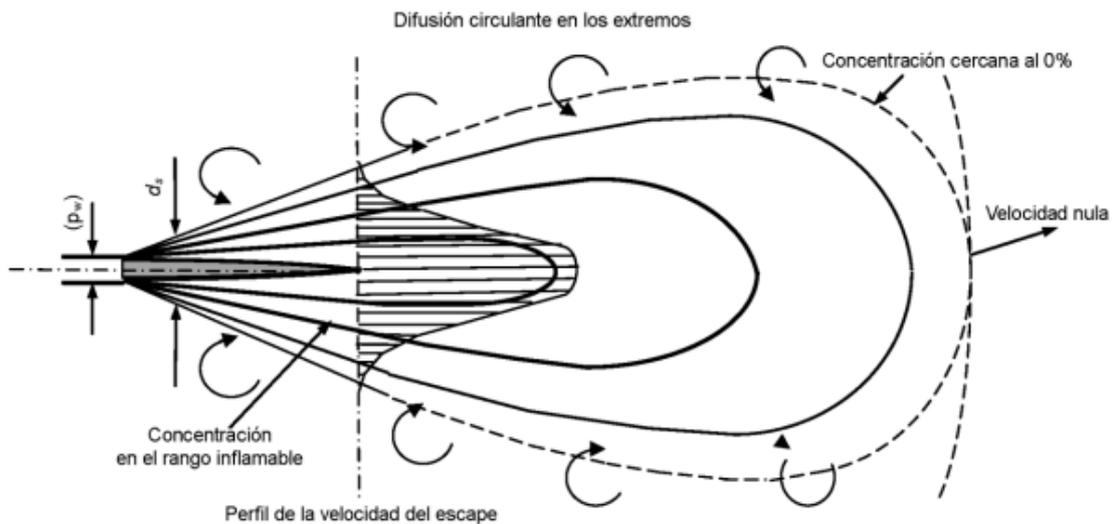


Figura 10-12: Gráfica Distancia Peligrosa para escapes en retráctilado

En este caso, como se ha podido observar, se han valorado dos escenarios para establecer la distancia peligrosa, resultado de suponer un escape en forma de chorro a alta velocidad, en el primer caso, y como gas pesado en el segundo.

En el caso del escape producido por el retardo en el encendido de la pistola, como se indica en el apartado C.4.2 de la Norma UNE-EN 60079-10-1:2016 [13] relativo a escape en forma de chorro en un gran edificio, es de esperar que al ser un escape de pequeño volumen producido por el tiempo que la pistola podría estar suministrando propano hasta que el encendido automático encendiera la llama, que aun estableciendo un fallo que provocara retardo sería de pequeño volumen, se autodiluiría incluso sin mucho movimiento de aire (véase figura 10-13).



NOTA d_s es el radio de la pseudo fuente, es decir, el radio del chorro aguas abajo de la sección en la que se convierte en isobárico (reducido a la presión atmosférica).

Figura 10-13: Autodifusión de un escape de chorro a alta velocidad sin escapes (Figura C.2 Norma UNE-EN 60079-10-1:2016 [13])

Sin embargo, en el caso de escape por la válvula de la bombona de propano, dado que no puede establecerse la duración del mismo, para estar del lado de la seguridad puede suponerse que, al ser el propano más pesado que el aire, si la mezcla no es eficiente podría propagarse por el suelo hasta su dilución, extendiendo la zona peligrosa. Se adjunta a continuación la figura 10-14, de dispersión de gases o vapores en el aire, incluida en el apartado B.2 la Norma UNE 202007:2006 IN [12], para mejor comprensión.

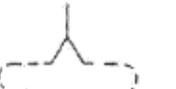
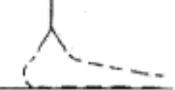
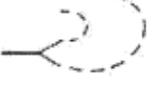
CASOS CONSIDERADOS	Dirección del viento	Gases pesados Densidad > 1,2	Gases intermedios Densidad 0,8 – 1,2	Gases ligeros Densidad < 0,8
(a) Escape hacia arriba, ausencia de viento	○			
(b) Escape hacia arriba, presencia de viento	→			
(c) Escape hacia abajo, ausencia de viento	○			
(d) Escape hacia abajo, presencia de viento	→			
(e) Escape horizontal, ausencia de viento	○			
(f) Escape horizontal, presencia de viento en la dirección del escape	→			
(g) Escape horizontal, presencia de viento en la dirección opuesta al escape.	←			

Figura 10-14: Dispersión de gases o vapores en aire (Aptdo. B.2 Norma UNE 2002007:2006 IN [12])

10.5.4 Hidrógeno en carga de baterías

En fábrica se hace uso de carretillas elevadoras y apiladores eléctricos. Para realizar la carga de las baterías de dichos equipos, se dispone de una sala destinada para ese uso.

En el proceso de carga de las baterías se producen, en mayor o menor grado, reacciones catódicas no deseadas que liberan hidrógeno gas. La cantidad de hidrógeno que puede formarse depende del grado o nivel de carga que haya alcanzado la batería. Al final del proceso de recarga, cuando están prácticamente completas las reacciones de transformación de compuestos de plomo, pueden ocurrir otras reacciones catódicas, como la transformación de los hidrogeniones (H+) en gas hidrógeno. En la figura 10-15 se presentan las reacciones químicas en carga y descarga.

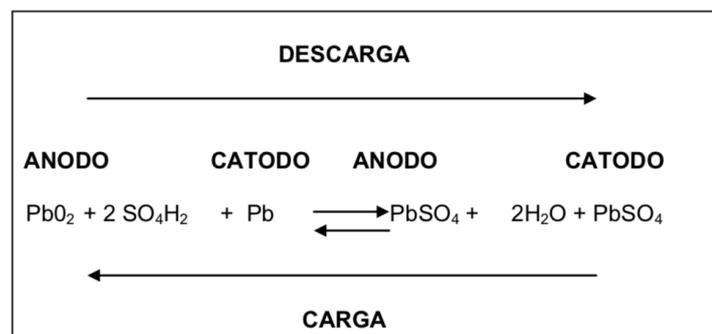


Figura 10-15: Reacción de carga y descarga de baterías de plomo ácido

La “polarización catódica” que se produce por el envejecimiento de las baterías, hace que las reacciones de reducción de los compuestos de plomo, tengan lugar cada vez a potenciales algo más electronegativos, lo cual propicia que, en paralelo, puedan ocurrir otras reacciones catódicas como la formación de hidrógeno. Así mismo, las densidades de corriente elevadas (intensidad por unidad de superficie de electrodo) pueden dar lugar a polarizaciones catódicas más intensas, que a su vez favorecen la formación de hidrógeno. El hidrógeno formado en el seno del electrolito que llena la batería produce burbujas de gas, que estallan en cuanto alcanzan la superficie, formando aerosoles constituidos por gotículas del electrolito.

Las baterías tienen los vasos cerrados con tapones que permiten el paso del gas a través de un laberinto que retiene gran parte de los aerosoles ácidos. No obstante, aún así, parte de los aerosoles puede alcanzar el ambiente de la sala de carga. Debido a ello, dicha liberación de hidrógeno se considera una fuente de escape de tipo secundario.

Al emitirse al ambiente circundante se puede crear una mezcla explosiva si la concentración de hidrógeno en el aire sobrepasa el 4% del volumen.

Para establecer la clasificación de zonas de la sala de carga de baterías, se siguen los criterios establecidos en la Norma UNE-EN 62485-3:2014 [24], en la que se determina el caudal mínimo de ventilación (Q) que debe existir en la sala para garantizar que no se generen atmósferas explosivas durante el proceso de carga.

Datos de la sustancia (obtenidos de la ficha de datos de seguridad (FDS) y de las tablas de datos de la tabla A.1 de la norma UNE 202007:2006 IN [12]):

Hidrógeno:

Masa Molar (kg/kmol):	2,016	(UNE 202007:2006 IN Tabla A.1 [12])
Densidad relativa gas/aire:	0,07	(UNE 202007:2006 IN Tabla A.1 [12])
Índice politrópico de expansión adiabática:	1,41	(UNE 202007:2006 IN Tabla A.1 [12])
LII (%vol):	4,00	(UNE 202007:2006 IN Tabla A.1 [12])
Grupo de material:	IIC	(UNE 202007:2006 IN Tabla A.1 [12])
Clase de temperatura:	T1	(UNE 202007:2006 IN Tabla A.1 [12])

En la instalación se dispone de 9 carretillas y 8 apiladores eléctricos. Aunque hay alguna variación en sus especificaciones, se puede considerar que como valor medio disponen de vasos de 500 Ah y 2 V y con cargadores de 80 A de salida (I_n). El número total de vasos, n , asciende a 408 vasos.

El caudal de aire necesario se determina mediante la ecuación (10-22) obteniéndose: $Q = 658,02 \text{ m}^3/\text{h}$

Siendo $I_{\text{gas}} = 0,4 \cdot I_n = 0,4 \cdot 80 = 32 \text{ A}$

El área de ventilación natural necesaria se calcula mediante la expresión (10-23):

$$A = 18\,424,63 \text{ cm}^2$$

La sala dispone de una puerta que está abierta durante la carga de 2,35 m x 2,90 m, y de ventana abierta de 4,90 m x 1,90 m. El total de área de ventilación de puerta más ventana es de $16,25 \text{ m}^2 = 161\,250 \text{ cm}^2$, por encima del área A necesaria.

Por ello, la sala de carga de baterías recibe la consideración de ZONA NO CLASIFICADA. No obstante, la Norma UNE EN 62485-3:2015 [24] establece en el punto “6.5 Proximidad” de la batería que “debe respetarse una **distancia de seguridad mínima $d_z = 0,5 \text{ metros}$** que se extiende a través del aire sin llamas, descargas electrostáticas, chispas, arcos u objetos incandescentes (máxima temperatura superficial 300 °C)”.

10.5.5 Recipientes abiertos con disolvente para limpieza

En este apartado se van a estudiar los recipientes que se utilizan para la limpieza de bloques de centrales hidráulicas, pistolas de pulverización de pintura y pinceles de pintura. Todos ellos tienen las mismas características, siendo recipientes abiertos a la atmósfera con extracción artificial de 360 m³/h, por lo que el resultado será el mismo para todos ellos.

Para esta limpieza los elementos se sumergen en disolvente universal cuyo componente principal es Tolueno.

Datos de la sustancia necesarios (obtenidos de la ficha de datos de seguridad (FDS) y de las tablas de datos de la tabla A.1 de la norma UNE 202007:2006 IN [12]):

Tolueno:

Masa Molar (kg/kmol):	92,14	(UNE 202007:2006 IN Tabla A.1 [12])
Densidad relativa gas/aire:	3,18	(UNE 202007:2006 IN Tabla A.1 [12])
Densidad líquido (kg/m ³):	0,866	(UNE 202007:2006 IN Tabla A.1 [12])
Índice politrópico de expansión adiabática:	1,10	(UNE 202007:2006 IN Tabla A.1 [12])
LII (%vol):	1,1	(UNE 202007:2006 IN Tabla A.1 [12])
Presión de vapor a 20 °C, P _v (20°C)	1,830	(UNE 202007:2006 IN Tabla A.1 [12])
Presión de vapor a 40 °C, P _v (40°C)	6,650	(UNE 202007:2006 IN Tabla A.1 [12])
Temperatura de ebullición (°C)	111	(UNE 202007:2006 IN Tabla A.1 [12])
Grupo de material:	IIA	(UNE 202007:2006 IN Tabla A.1 [12])
Clase de temperatura:	T1	(UNE 202007:2006 IN Tabla A.1 [12])

Datos relativos a las fuentes de escape:

Se considera como fuentes de escape:

- Escape continuo por evaporación de disolvente

En la tabla 10-8 se resumen las características de estos escapes.

Tabla 10-8: Características escape en recipientes abiertos con disolvente

Fuente de escape			Sustancia inflamable			Ventilación		Observaciones
Descripción	Grado	Sección escape (A _p)	Temperatura funcionamiento	Presión funcionamiento	Estado	Tipo	Disponibilidad	
Recipiente abierto	Continuo	0,120 m ²	18 °C (temperatura fluido)	101 325 Pa	Líquido	Forzada	Justa	

Se considera para los cálculos una temperatura ambiente de 35 °C y presión atmosférica 101 325 Pa, para obtener resultados del lado de la seguridad.

Con los datos disponibles se obtiene la presión de vapor a la temperatura de funcionamiento, mediante la ecuación de August (10-5), para lo que con los dos valores conocidos de P_v se calculan los parámetros A y B, obteniéndose:

$$A = 12,03225$$

$$B = 2569,551 \quad P_v(T) = 10^{12,03225 - \frac{2569,551}{T}} \text{ [Pa]}$$

En la tabla 10-9 se presentan los resultados de los cálculos realizados para llegar a establecer la clasificación de la zona y la extensión de la misma.

Tabla 10-9: Resumen cálculo zonas peligrosas por recipientes abiertos con disolvente

	Recipiente	Observaciones
P_v	1,59286	Calculada con la ecuación de August anterior para 18 °C
We	$2,41 \cdot 10^{-6}$	Ecuación (10-7)
ρ_g	3,646	Ecuación (10-1)
Q_g	$6,64 \cdot 10^{-7}$	Ecuación (10-8)
Característica de escape	$6,00 \cdot 10^{-5}$	Ecuación (10-13) Se considera el factor de seguridad relativo al LII, $k = 1$
u_w	0,15	Aunque se dispone de ventilación artificial, no se dispone del dato de velocidad con lo que se estima según norma, teniendo en cuenta que el tolueno es más pesado que el aire y los escapes están situados a menos de 2 m de altura (UNE-EN 60079-10-1:2016 Tabla C.1 [13]), con esta hipótesis se está del lado de la seguridad.
Disponibilidad	Justa	Se dispone de ventilación que se espera esté presente durante el funcionamiento normal (UNE-EN 60079-10-1:2016 aptdo. C.3.7.1 [13])
f	1	La zona no presenta dificultades especiales a la circulación del aire
Q_2	0,1	Corresponde a 360 m ³ /h
X_b	$6,64 \cdot 10^{-6}$	Ecuación (10-15)
X_{crit}	$2,75 \cdot 10^{-3}$	$X_b \ll X_{crit}$
Grado de dilución	Alta	Figura 10-1: Gráfica para evaluar el grado de dilución (UNE-EN 60079-10-1:2016 Figura C.1 [13])
Zona	2	UNE-EN 60079-10-1:2016 Tabla D.1 [13]
Tipo de escape	Gas Pesado	
d_z	$0,07 < 1$	Figura 10-2: Gráfica para evaluar la distancia peligrosa (UNE-EN 60079-10-1:2016 Figura D.1 [13])

A continuación, se representan los puntos de los diferentes escapes en las gráficas de Grado de Dilución (figura 10-16) y Distancia Peligrosa (figura 10-17) según los valores de la tabla anterior:

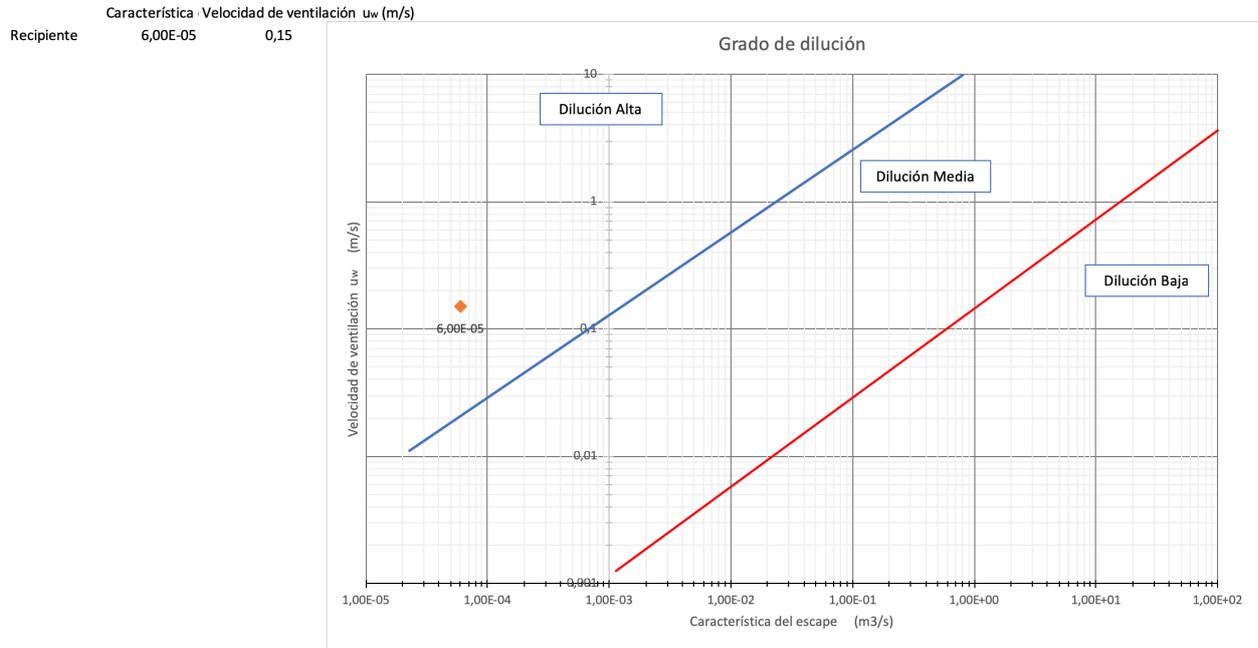


Figura 10-16: Gráfica Distancia Peligrosa para escapes en recipiente con disolvente

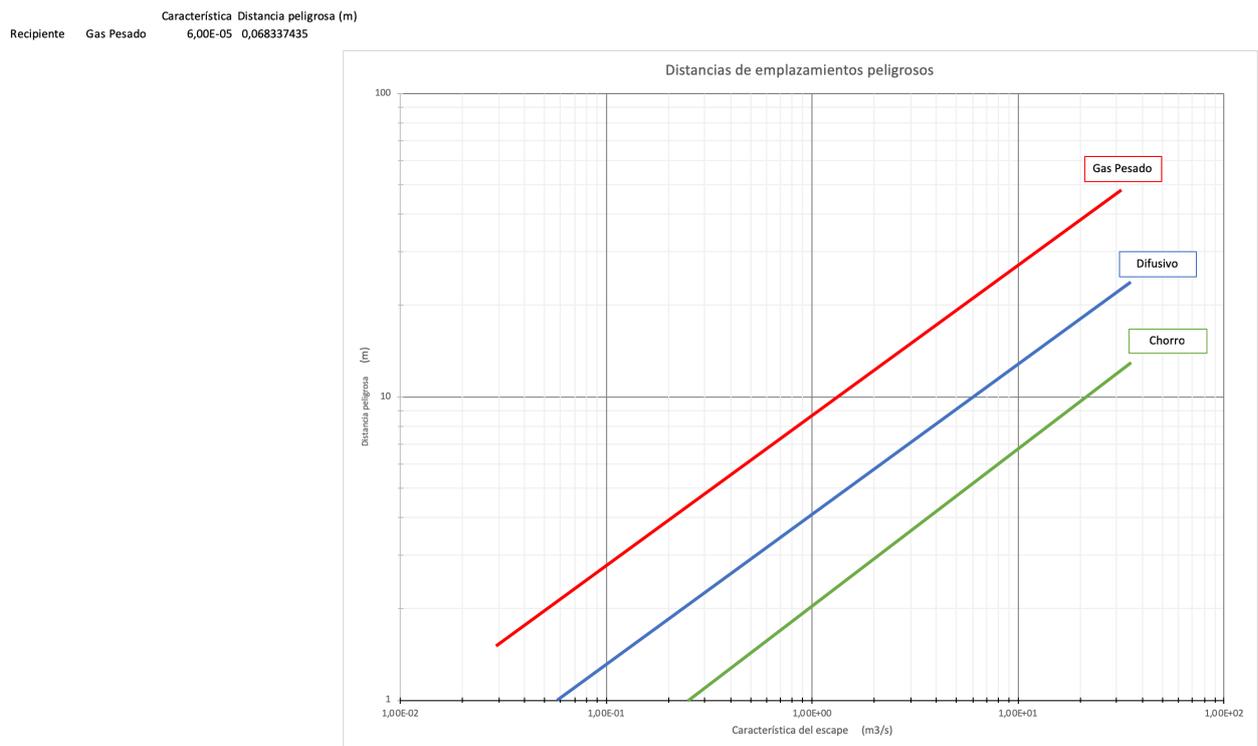


Figura 10-17: Gráfica Grado de Dilución para escapes en recipiente con disolvente

10.5.6 Cabina de pintura líquida

En este punto se va a estudiar la clasificación de zonas en el proceso de pintado con pistola de pulverización en cabina de pintura líquida con parte frontal abierta. Para ello, se van a verificar, mediante los cálculos correspondientes, los requisitos impuestos por la norma UNE-EN 12215:2005+A1:2009 [16].

Dicha norma especifica las siguientes condiciones:

- La velocidad del aire deber ser mayor de 0,5 m/s (Aptdo. 5.6.2.3)
- La concentración de inflamables para cabinas con operador debe estar limitada a valores del 25% del LII (Aptdo. 5.7.2.2)
- Con estas condiciones, el volumen interno de la cabina, incluyendo los conductos y el volumen externo a una distancia de 1 m de la frontal abierta se clasifica como Zona 2 (véase figura 10-18).

En el anexo A se representa gráficamente la zona clasificada en la figura A.1.

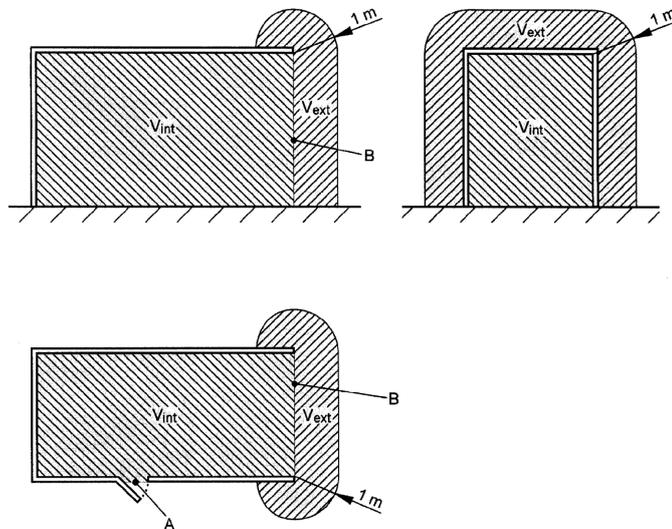


Figura 10-18: Clasificación de zonas en cabina según norma UNE-EN 12215:2005+A1:2009 [16]

En su anexo B expone las fórmulas para el cálculo de la concentración de inflamables, C_{LI} y \bar{C} , y caudal de ventilación.

En el caso en estudio, se dispone de una cabina de dimensiones:

- Alto: 2,33 m
- Fondo: 0,83 m (hasta filtro) + 0,82 m (hasta fondo) = 1,65 m
- Ancho: 4 m

Dispone de dos extractores helicoidales marca SODECA modelo HPX de 20 300 m³/h cada uno.

La pistola de pulverización es de la marca SAGOLA con boquilla de la serie 3300 EPA y sus características principales:

- Presión de trabajo en la entrada: 2 bar

- Transferencia mínima de producto: 65%
- Consumo de aire: 335 l/min
- Caudal: 179 g/min
- Abanico: 275 mm

En cuanto a la pintura utilizada se trata de Nitromix GNS01_PB diluida entre el 15% y el 20% con disolvente universal con base Tolueno. Si bien, del lado de la seguridad, se va a utilizar el límite inferior de inflamabilidad del Tolueno, dado que las proporciones son variables, sin embargo, a modo de ejemplo, va a aplicarse la Ley de Chatelier para el cálculo del LII de la mezcla, justificando así que al tomar el del Tolueno se está del lado de la seguridad.

Para ello, en la tabla 10-10 se reflejan la proporción de cada sustancia inflamable en el producto, extraído de de la ficha de datos de seguridad y los valores respectivos del LII, obtenidos de la tabla A.1 de la norma UNE 202007:2006 IN [12].

Tabla 10-10: Proporción y LII de sustancias inflamables en pintura líquida

Sustancia	Proporción	LII
Acetato de isobutilo	25% - 30%	1,30%
Xileno	7% - 10%	1,10%
n-butanol	5% - 7%	1,40%
Alcohol de diacetona	3% - 5%	1,80%
Isobutanol	1% - 3%	1,80%
Tolueno	15% - 20%	1,10%

Aplicando la fórmula (10-2) teniendo en cuenta la proporción molar de inflamables, considerando la proporción máxima de cada uno de ellos:

$$LII_{mezcla\%} = \frac{1}{\frac{30/75}{1,30} + \frac{10/75}{1,10} + \frac{7/75}{1,40} + \frac{5/75}{1,80} + \frac{3/75}{1,80} + \frac{20/75}{1,10}} = 1,25\%$$

Con lo que se evidencia que tomando LII = 1,10% del Tolueno se está del lado de la seguridad. El LII del Tolueno expresado en kg/m³ es igual a 0,435 kg/m³.

Datos:

- $M_{max} = 179 \text{ g/min} = 10\,740 \text{ g/h}$
- $C_{LII,max} = 25\%$
- $Q_{extractores} = 40\,600 \text{ m}^3/\text{h} = 11,28 \text{ m}^3/\text{s}$
- $k_1 = 75\%$
- $k_2 = 100\%$ (Suponemos el caso más desfavorable)
- $k_3 = 3$ (Coeficiente de seguridad adoptado en todos los ejemplos de la norma)

Utilizando la ecuación (10-24) despejando \bar{C}_{max} se obtiene:

$$\bar{C}_{max} = \frac{C_{LII} \cdot LII}{100} = 10,875 \frac{g}{m^3}$$

Despejando ahora el caudal necesario en la ecuación (10-25):

$$Q_{min} = \frac{M_{max} \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3}{\bar{C}_{max}} = \frac{10\,740 \frac{g}{h} \cdot 0,75 \cdot 1 \cdot 3}{10,875 \frac{g}{m^3}} = 2\,222,07 \frac{m^3}{h}$$

Los extractores de la cabina tienen $Q_{extractores} = 40\,600 \text{ m}^3/\text{h} \gg 2\,222 \text{ m}^3/\text{h}$ requerido, por lo que se puede establecer que las zonas se corresponden a lo indicado en el anexo A de la Norma UNE-EN 12215:2005+A1:2009 [16].

Además, se puede comprobar que la velocidad media de aire en la cabina:

$$v = \frac{Q_{extractores}}{w \cdot l} = \frac{11,28 \frac{m^3}{s}}{4 \text{ m} \cdot 2,3 \text{ m}} = 1,23 \frac{m}{s} > 0,5 \frac{m}{s}$$

Por tanto, cumple la condición de velocidad mínima de aire en la cabina.

10.5.7 Túnel de pintura en polvo

De forma similar al punto anterior, en este punto se va a estudiar la clasificación de zonas en el proceso de pintado de piezas metálicas mediante pulverización de pintura en polvo. Para ello, se van a verificar, mediante los cálculos correspondientes, los requisitos impuestos por la norma UNE-EN 12981:2006+A1:2009 [15].

Dicha norma especifica las siguientes condiciones:

- La velocidad del aire a través de cada abertura deber ser mayor de 0,4 m/s y valor mínimo de 0,3 m/s (Aptdo. 5.5.2.3)
- La concentración de inflamables para cabinas sin operador en el interior debe estar limitada a valores del 50% del LII (Aptdo. 5.6.2.2)
- Con estas condiciones, el volumen interno de la cabina, incluyendo los conductos y el volumen externo a una distancia de 1 m de la frontal abierta se clasificado como Zona 2 (véase figura 10-19).

En el anexo A se representa gráficamente la zona clasificada en la figura A.2.

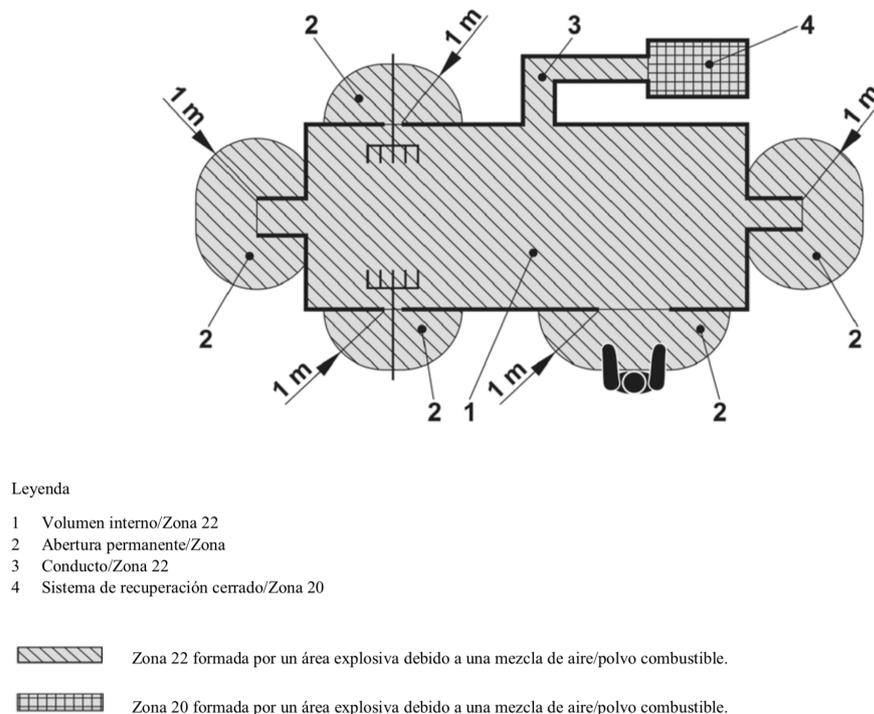


Figura 10-19: Clasificación de zonas en cabina de pulverización de pintura en polvo con operador fuera y sistema de recuperación cerrado según norma UNE-EN 12981:2006+A1:2009 [15]

En su anexo B expone las fórmulas para el cálculo de la concentración de inflamables, C_{LII} y \bar{C} , y caudal de ventilación.

En el caso en estudio, se dispone de una cabina de marca Nordson CFP/A-600 de dimensiones:

- Ancho: 1 500 mm
- Altura total: 3400 mm
- Longitud útil: 5 000 mm
- Longitud total: 3 400 mm

Datos de diseño y configuración:

- Velocidad media de aire en cabina: 0,5 m/s
- Caudal aspiración: 10 000 m³/h
- Consumo diario de pintura en polvo: 80 kg en 6 horas

En cuanto a la pintura utilizada se trata de Titanester 700. Dado que la ficha del producto no suministra los datos necesarios para la clasificación de zonas peligrosas por formación de atmósferas explosivas, estos valores se obtienen de la base de datos del Instituto Alemán para la Seguridad y Salud en el Trabajo [11], para epoxy poliester paint:

- Tamaño de partícula: 37 μ m
- Límite inferior de inflamabilidad (g/m³): 30
- K_{ST} (bar·m/s): 202
- Explosividad: St2

Del valor de consumo diario obtenemos M_{max} :

$$M_{max} = \frac{80 \text{ kg}}{6 \text{ h}} = 13,3333 \frac{\text{kg}}{\text{h}} = 13\,333,33 \frac{\text{g}}{\text{h}}$$

Utilizando la ecuación (10-24) despejando \bar{C}_{max} se obtiene:

$$\bar{C} = \frac{C_{LII} \cdot LII}{100} = \frac{0,5 \cdot 30 \frac{\text{g}}{\text{m}^3}}{100} = 15 \frac{\text{g}}{\text{m}^3}$$

Despejando ahora el caudal necesario en la ecuación (10-25):

$$Q_{min} = \frac{M_{max}}{\bar{C}} = \frac{13\,333,33 \frac{\text{g}}{\text{h}}}{15 \frac{\text{g}}{\text{m}^3}} = 888,89 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Los extractores de la cabina tienen $Q_{extractores} = 10\,000 \text{ m}^3/\text{h} \gg 888,89 \text{ m}^3/\text{h}$ requerido, por lo que se puede establecer que las zonas se corresponden a lo indicado en el anexo A de la Norma UNE-EN 12981:2006+A1:2009 [15], según la figura A.2.

10.5.8 Soldadura por olas

El equipo utilizado para la soldadura de componentes a placas mediante el sistema de soldadura por olas es ERS A ETS 330. En este equipo se generan vapores del flux utilizado para ayuda a la soldadura y cuyo componente principal es etanol. El equipo dispone de extracción localizada mediante dos extractores ATEX de $400 \text{ m}^3/\text{h}$, enclavados al funcionamiento del equipo, como indica el manual de instrucciones del equipo, con lo que no es de esperar que se produzca atmósfera peligrosa fuera del equipo, con lo que la clasificación podría restringirse a una Zona 1 en el interior del equipo, por posibles fallos en el funcionamiento.

11 MARCADO DE EQUIPOS

Los equipos destinados a su uso en atmósferas potencialmente explosivas disponen de un marcado compuesto por diversos códigos que aportan datos sobre su aptitud para diferentes tipos de atmósferas explosivas. En este apartado se describe cada uno de estos códigos.

A modo de resumen el marcado de un equipo eléctrico contiene la información indicada en la figura 11-1.

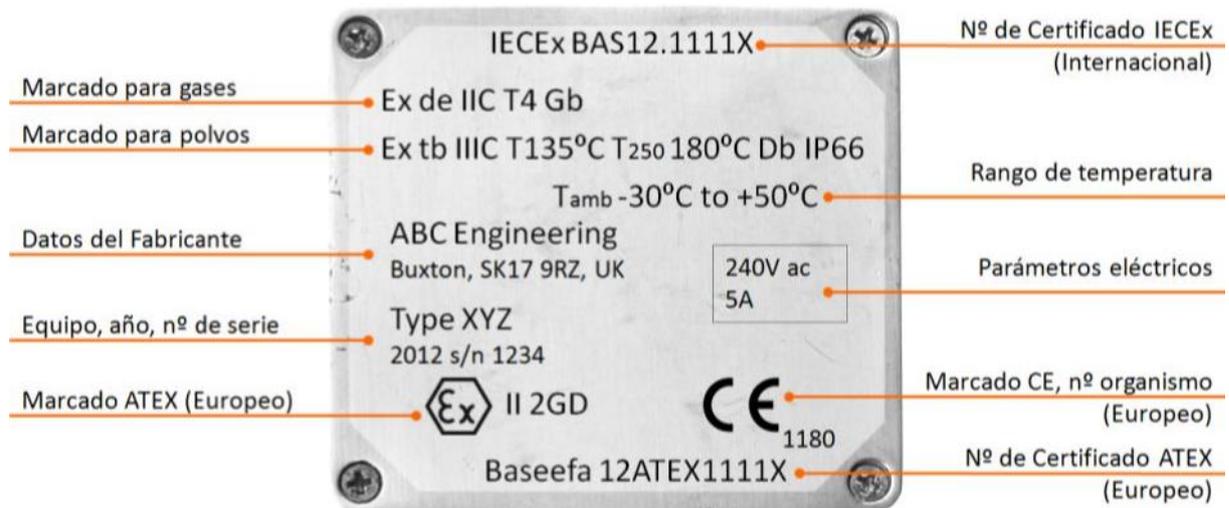


Figura 11-1: Ejemplo de marcado de un equipo eléctrico

Y en la figura 11-2, se indica la información del marcado de un equipo no eléctrico:

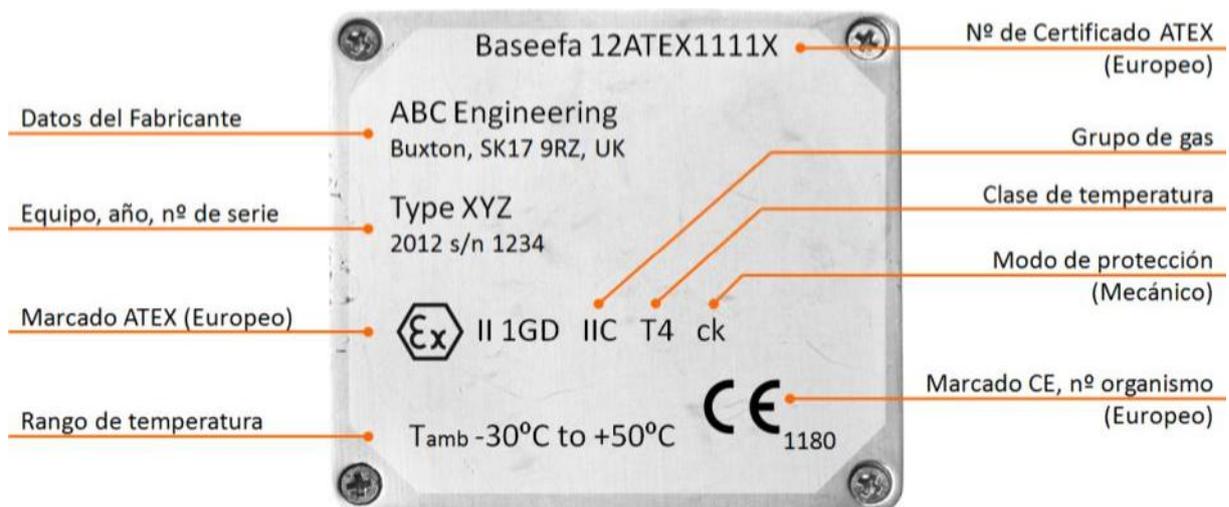


Figura 11-2: Ejemplo de marcado de un equipo no eléctrico

11.1 Certificado IECEx y Certificado ATEX

El nº de certificado IECEx identifica que un determinado equipo eléctrico es apto para el uso en atmósferas explosivas, tras superar las pruebas realizadas por un organismo de aprobación, de acuerdo a los estándares del IEC (Comité Electrotécnico Internacional). Todos los equipos que disponen de esta certificación se pueden consultar en la siguiente web del IEC: <http://iecex.iec.ch>. El marcado está compuesto por los elementos identificados en la figura 11-3.

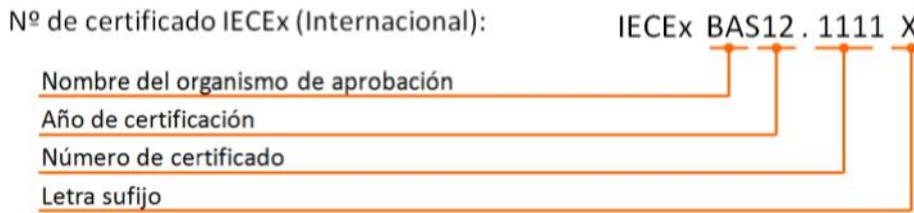


Figura 11-3: Campos del nº de certificado IECEx

El nº de certificado ATEX identifica que un determinado equipo, eléctrico o mecánico, es apto para el uso en atmósferas explosivas, tras superar las pruebas realizadas por un organismo notificado, de acuerdo a la Directiva 94/9/EC [26]. Para comercializar en Europa un equipo destinado al uso en atmósferas explosivas es obligatorio que tenga este certificado. El certificado ATEX está compuesto por los campos reflejados en la figura 11-4.



Figura 11-4: Campos del nº de certificado ATEX

Cabe observar que además del certificado IECEx y el certificado ATEX existen algunos otros estándares nacionales de obligado cumplimiento en ciertos países. En Europa el certificado ATEX es obligatorio para cualquier equipo instalado en un lugar con posible formación de atmósferas explosivas. Su validez sólo es reconocida en Europa. Sin embargo, el marcado IECEx tiene validez internacional, pero es voluntario. Es común que los equipos modernos dispongan de ambos certificados, ya que las pruebas que deben superar en laboratorio son muy similares y, con mucha frecuencia, los organismos notificados para certificar equipos ATEX y los organismos de aprobación para certificar equipos IECEx son las mismas entidades.

En cualquiera de los dos certificados es importante remarcar que la letra sufijo aporta información importante. Existen las posibilidades que se enumeran en la tabla 11-1.

Tabla 11-1: Sufijos de los certificados IECEx y ATEX

Sufijo	Significado
X	Indica que el equipo posee condiciones especiales de funcionamiento y que se deben garantizar determinados parámetros descritos en la certificación. Por ejemplo: Parámetros de instalación o mantenimiento, comprobaciones que deben realizarse tras la instalación inicial, o verificaciones que deben realizarse periódicamente. Es imprescindible la lectura completa del certificado, o bien debe contactarse al fabricante, para determinar los requisitos adicionales de uso.
B	Indica que el equipo ha sido certificado respecto a un estándar más antiguo, no respecto al estándar más vigente en el momento de emisión del certificado.
U	Indica que es un componente, no un equipo completo.
S	Indica que el equipo está bajo consideración. Es imprescindible la lectura completa del certificado, o bien debe contactarse al fabricante, para determinar los casos especiales a considerar.

11.2 Mercado ATEX

El RD 400/1996 [27] dicta las disposiciones de aplicación de la Directiva 94/9/CE [26], sobre los aparatos y sistemas de protección para uso en atmósferas potencialmente explosivas. Dicha Directiva tiene por objetivos la libre circulación productos en la UE afectados por la Directiva y el establecimiento de los Requisitos Esenciales de Seguridad y Salud sobre:

- Fuentes de ignición potenciales en equipos destinados a ser utilizados en el interior de atmósferas potencialmente explosivas.
- Sistemas de protección autónomos previstos para actuar tras una explosión con objeto de detener la explosión inmediatamente y/o limitar los efectos de las llamas y ondas de presión.
- Dispositivos de seguridad y control que contribuyan al funcionamiento seguro de los aparatos y sistemas de protección, aunque estén situados fuera de atmósferas explosivas.

A partir del 1 de Julio de 2003, estos equipos, sean eléctricos o mecánicos, sólo pueden ser comercializados en territorio de la Unión Europea si cumplen las disposiciones de la Directiva 94/9/CE [26] y deberán tener el marcado ATEX, el cual está compuesto por la marca Ex dentro de un hexágono seguida de tres campos. Esta Directiva es reemplazada por la Directiva 2014/34/UE [28] transpuesta al ordenamiento jurídico español mediante el R.D. 144/2016 [5].

La Norma UNE-EN 60079-0:2013 [7] en su apartado 14 desarrolla el sistema de marcado. En la figura 11-5, se muestra la situación habitual de los campos en el marcado.



Figura 11-5: Marcado ATEX

En la tabla 11-2 se refleja la interpretación de cada elemento del marcado.

Tabla 11-2: Interpretación del marcado ATEX

Grupo	Categoría	Protección	Ámbito de aplicación	Letra	Zonas admisibles					
					0	1	2	20	21	22
I <i>Minería</i>	M1	Muy alto	Trabajos subterráneos en minas y en partes de sus instalaciones de superficie en las que exista peligro por grisú y/o polvos explosivos.	-	-	-	-	-	-	-
	M2	Alto	Trabajos subterráneos en minas y en partes de sus instalaciones de superficie en las que pueda haber peligro por grisú o polvos	-	-	-	-	-	-	-
II <i>No minería</i>	1	Muy alto	Presencia de atmósfera explosiva de forma constante, duradera o frecuente.	G	✓	✓	✓	-	-	-
				D	-	-	-	✓	✓	✓
	2	Alto	Ambiente en el que sea probable la formación de ATEX	G	-	✓	✓	-	-	-
				D	-	-	-	-	✓	✓
	3	Normal	Ambiente en el que sea poco probable la formación de ATEX, infrecuente y de corta duración.	G	-	-	✓	-	-	-
				D	-	-	-	-	-	✓

Las letras G y D indican la validez para atmósferas de gases y vapores, y de atmósferas por polvo, respectivamente.

Se debe observar que un equipo en que se indique GD es apto para atmósferas de gas o de polvo, pero no necesariamente para ambos tipos de atmósferas simultáneamente.

El marcado ATEX por sí solo no permite determinar la idoneidad de un equipo para un determinado tipo de zona, es necesario verificar el marcado normativo para gases y para polvos que se describe a continuación.

11.3 Mercado normativo

El marcado normativo indica diversas características de seguridad de los equipos muy relacionadas con el tipo de zona y con las propiedades químicas de las sustancias que pueden generar la posible atmósfera explosiva dónde se ubicará el equipo. A modo de resumen, los marcados están compuestos por los campos que se indican en la figura 11-6, a continuación.

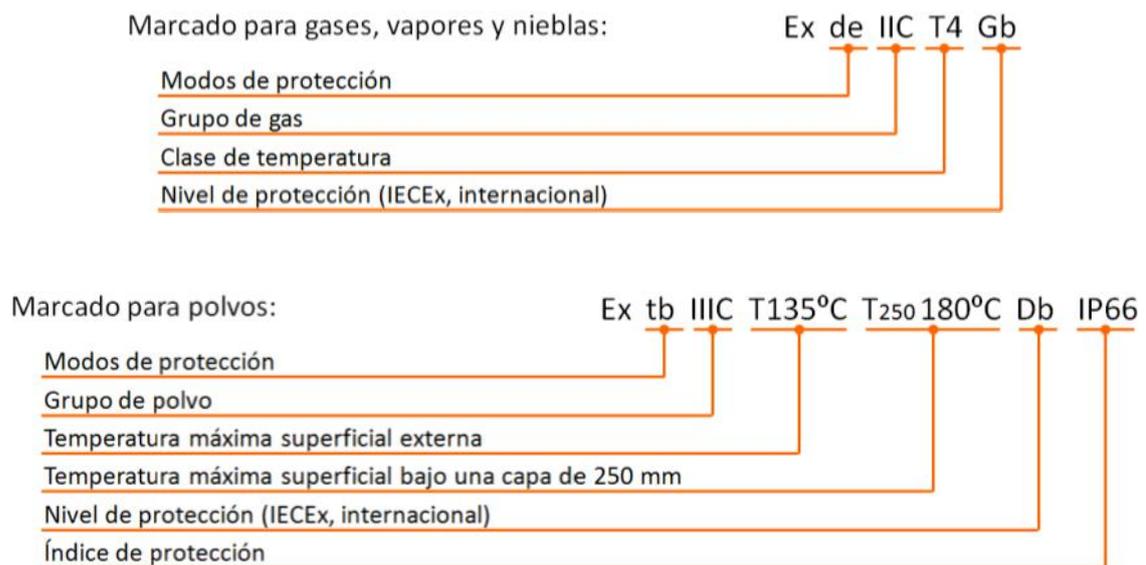


Figura 11-6: Marcados normativos

Algunas observaciones:

- En equipos modernos el marcado normativo para gases aparece separado del marcado normativo para polvo, pero en equipos antiguos pueden aparecer juntos.
- Los equipos eléctricos tienen un marcado normativo precedido por las letras Ex o EEx. Los equipos no eléctricos omiten estas letras.
- El nivel de protección según el estándar IECEx no es obligatorio en el territorio de la Unión Europea, pero los equipos modernos suelen disponer de esta información.

11.4 Modos de protección

Se indican en la tabla 11-3 los modos de protección y su validez según el tipo zona. Un equipo puede tener varios modos de protección simultáneamente. Los requisitos de mantenimiento varían significativamente entre modos de protección, por lo que el criterio de selección no debe ser únicamente el tipo de zona y el coste inicial de la adquisición, se debe consultar al fabricante acerca del mantenimiento y reparación del equipo.

Tabla 11-3: Resumen de los modos de protección admisibles según tipo de zona

Principio de protección	Modo de protección	Zonas admisibles					
		0	1	2	20	21	22
Modos de protección eléctricos							
Seguridad intrínseca	ia	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	ib	-	✓	✓	-	✓	✓
	ic	-	-	✓	-	-	✓
Encapsulado	ma	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	mb	-	✓	✓	-	✓	✓
	mc	-	-	✓	-	-	✓
Protección por envoltente	ta	-	-	-	✓	✓	✓
	tb	-	-	-	-	✓	✓
	tc	-	-	-	-	-	✓
Presurizado	px b	-	-	-	-	-	-
	pyb	-	-	-	-	-	-
	pzc	-	-	-	-	-	-
	pD	-	-	-	-	✓	✓
Envoltente antideflagrante	d	-	✓	✓	-	-	-
Relleno pulverulento	q	-	✓	✓	-	-	-
Relleno de aceite	o	-	✓	✓	-	-	-
Seguridad aumentada	e	-	✓	✓	-	-	-
Simplificado: Antichispas	nA	-	-	✓	-	-	-
Simplificado: Respiración restringida	nR	-	-	✓	-	-	-
Simplificado: Energía limitada	nC	-	-	✓	-	-	-
Modos de protección mecánicos							
Envoltente antideflagrante	d	-	✓	✓	-	✓	✓
Seguridad estructural	c	-	✓	✓	-	✓	✓
Control de los focos de ignición	b	-	✓	✓	-	✓	✓
Inmersión en líquido	k	-	✓	✓	-	✓	✓
Envoltente de respiración restringida	fr	-	-	✓	-	-	✓

11.5 Grupo de gas

El grupo de gas está relacionado con la energía mínima de ignición (EMI) a la cual un gas puede incendiarse. Existen tres grupos de gas, indicados en la tabla 11-4.

Tabla 11-4: Grupos de gas

Grupo de gas	Energía mínima de ignición de para cada grupo
IIA	$EMI > 250 \mu\text{J}$
IIB	$96 \mu\text{J} < EMI \leq 250 \mu\text{J}$
IIC	$EMI \leq 96 \mu\text{J}$

11.6 Grupo de polvo

La norma UNE-EN 60079-10-2:2016 [14] introdujo el concepto de grupo de polvo. Existen tres grupos que se reflejan en la tabla 11-5.

Tabla 11-5: Grupos de polvo

Grupo de polvo	Descripción del grupo	Observaciones
IIIA	Partículas combustibles en suspensión	Partículas sólidas combustibles, incluyendo fibras, mayores de $500 \mu\text{m}$ de tamaño nominal.
IIIB	Polvo combustible no conductor	Partículas sólidas combustibles, incluyendo fibras, de tamaño nominal a $500 \mu\text{m}$ o menos, y una resistividad eléctrica mayor de $10^3 \Omega\cdot\text{m}$
IIIC	Polvo combustible conductor	Partículas sólidas combustibles, incluyendo fibras, de tamaño nominal a $500 \mu\text{m}$ o menos, y una resistividad eléctrica menor o igual a $10^3 \Omega\cdot\text{m}$

La norma cita como ejemplo del grupo IIIA el rayón, el algodón, el sisal, el yute, el cáñamo, la fibra de caco, estopa y residuos embalados de kapoc. Para determinar el grupo de polvo del equipo a seleccionar deben verificarse las propiedades del polvo.

11.7 Clases de temperatura

La clase de temperatura indica la temperatura superficial máxima que puede alcanzar un equipo. Se deben seleccionar los equipos de manera que la temperatura de autoignición de la atmósfera explosiva alrededor del equipo no sea rebasada por la temperatura superficial máxima. La tabla 11-6 indica seis clases de temperatura existentes.

Tabla 11-6: Clases de Temperatura

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

Es práctica habitual en muchas industrias establecer internamente un margen de seguridad, por ejemplo, establecer que la temperatura superficial máxima tiene que ser como máximo un 80% de la temperatura de autoignición.

11.8 Temperatura superficial máxima y temperatura de capa

En el mercado de polvo puede aparecer la temperatura superficial máxima sin la indicación de la clase de temperatura. También aparece la temperatura superficial máxima que alcanza el equipo bajo una capa de polvo de 250 mm obtenida por ensayo de laboratorio. Se debe seleccionar el equipo de manera que se garantice lo siguiente:

Si el equipo puede tener capas de polvo de hasta 5 mm se toma el más restrictivo entre:

- $T_{MAX} \leq 2/3 TMI_{nube}$ (TMI_{nube} es la temperatura de ignición de nube)
- $T_{MAX} \leq TMI_{capa} - 75$ (TMI_{capa} es la temperatura de ignición de una capa de 5 mm)

Si el equipo puede tener capas de entre de 5 mm y 50 mm se calcula la temperatura máxima admisible aplicando un factor de reducción sobre la temperatura de ignición de una capa de polvo de 250 mm. Los fabricantes deberían aportar esta información. A modo de guía semicuantitativa la versión derogada del año 2010 de la Norma UNE-EN 60079-10-2:2016 [14] incluye un gráfico donde puede calcularse dicha reducción.

11.9 Nivel de protección

Existen seis niveles de protección. Son equivalentes a las categorías y letras del marcado EX, como se muestra en la tabla 11-7. Son utilizados en ámbito internacional.

Tabla 11-7: Niveles de protección

Nivel de protección	Descripción	Zonas admisibles					
		0	1	2	20	21	22
Ga	Equipo para atmósferas explosivas gaseosas con un nivel de protección muy alto que no es fuente de ignición en funcionamiento normal, durante fallos esperados o durante fallos raros.	✓	✓	✓	-	-	-
Gb	Equipo para atmósferas explosivas gaseosas con un nivel de protección alto que no es fuente de ignición en funcionamiento normal o durante fallos esperados.	-	✓	✓	-	-	-
Gc	Equipo para atmósferas explosivas gaseosas con un nivel de protección alto que no es fuente de ignición en funcionamiento normal.	-	-	✓	-	-	-
Da	Equipo para atmósferas explosivas de polvo con un nivel de protección muy alto que no es fuente de ignición en funcionamiento normal, durante fallos esperados o durante fallos raros.	-	-	-	✓	✓	✓
Db	Equipo para atmósferas explosivas de polvo con un nivel de protección alto que no es fuente de ignición en funcionamiento normal o durante fallos esperados.	-	-	-	-	✓	✓
Dc	Equipo para atmósferas explosivas de polvo con un nivel de protección alto que no es fuente de ignición en funcionamiento normal.	-	-	-	-	-	✓

11.10 Grado de protección IP

El grado de protección IP (siglas de International Protection) indica el nivel de protección de un equipo a la entrada de materiales extraños. Se encuentra desarrollado en la norma UNE-EN 60529:2018 [29].

El primer dígito indica el nivel de protección contra la entrada de polvo. El segundo nivel indica el nivel de protección contra la entrada de líquidos. Se muestran en la tabla 11-8 los posibles valores y su significado.

Tabla 11-8: Grados de protección IP

IP *X	Protección contra polvo	IP X*	Protección contra líquido
IP 0X	Sin protección	IP X0	Sin protección
IP 1X	Tamaño del objeto entrante < 50 mm	IP X1	Protección contra goteo de agua
IP 2X	Tamaño del objeto entrante < 12,5 mm	IP X2	Protección elevada contra goteo de agua
IP 3X	Tamaño del objeto entrante < 2,5 mm	IP X3	Protección contra agua nebulizada
IP 4X	Tamaño del objeto entrante < 1 mm	IP X4	Protección contra chorros de agua
IP 5X	Protección contra polvo	IP X5	Protección elevada contra chorros de agua
IP 6X	Protección elevada contra polvo	IP X6	Protección elevada contra chorros de agua a alta presión
		IP X7	Inmersión temporal en agua
		IP X8	Inmersión continuada en agua

A modo de ejemplo, un equipo con grado de protección IP54 tendría protección contra polvo y protección contra chorros de agua.

Para equipos en atmósferas explosivas de polvo son exigibles los siguientes grados IP:

- IP5X para Zona 22 si es un polvo combustible no conductor
- IP6X para Zona 22 si es un polvo combustible conductor
- IP6X para Zona 21

Para equipos situados en áreas donde pueden estar sometidos a chorros o salpicaduras de líquidos, se exige por lo menos un grado IPX4.

12 CONCLUSIONES

El documento de protección contra explosiones es un análisis del riesgo de explosión cualitativo y cuantitativo en las instalaciones debido a las sustancias existentes, los equipos, los procesos y procedimientos de trabajo.

Además de la necesidad y utilidad práctica que tiene para la empresa su elaboración con el fin de poder adoptar las medidas preventivas necesarias para evitar posibles daños personales o a las instalaciones, es importante destacar que, además al disponer del mismo, da cumplimiento legal al requisito establecido por el artículo 8 del R.D. 681/2003 [1].

Si bien en estas instalaciones no se conoce que se hayan dado situaciones de explosión por falta de control de estas atmósferas, si es cierto que su control, y la adopción de las medidas para evitar su formación, puede evitar no solo explosiones sino otras situaciones como incendios o conatos. Por ejemplo, establecer procedimientos y rutinas controladas de limpieza y mantenimiento de los equipos e instalaciones imposibilita la aparición de situaciones, que con anterioridad se han producido en alguna ocasión, por ejemplo, conatos de incendio en filtros de extracción de humos, por saturación de polvo de los mismos en trabajos de soldadura.

El DCPE es un documento que debe permanecer vivo, actualizándose conforme se adopten las medidas correctoras, o bien se modifiquen procesos, equipos o sustancias que puedan variar la clasificación de las áreas peligrosas. Siguiendo los principios de la acción preventiva, la tendencia debe ser a eliminar en la medida de lo posible el riesgo de aparición de las atmósferas explosivas, actuando sobre los procesos, sustancias o fuentes de ignición.

Otro aspecto importante a considerar es que, en el transcurso de este estudio, ha podido comprobarse como el conocimiento, la apreciación, y la experiencia del autor es necesario para la adopción de decisiones en pro de la seguridad, dado que, habitualmente, la industria no dispone de todos los datos necesarios para la obtención de resultados exactos en cuanto a distancias o volúmenes peligrosos.

Hay que destacar como se unen disciplinas ingenieriles como mecánica de fluidos, termodinámica, electricidad y química para establecer de forma conjunta las zonas de riesgo y las medidas necesarias para evitar su materialización.

13 TRABAJOS FUTUROS

Como se adelantaba en el apartado de conclusiones, para la elaboración de este trabajo se requiere la adopción de diversas decisiones, en muchos casos, por la falta de información del establecimiento, más aún si cabe, cuando el establecimiento se encuentra en funcionamiento y no en fase de diseño como sería deseable.

Es por esto que, como trabajos futuros para la mejora de este documento, se puede plantear trabajar en varias líneas de actuación referentes a procesos, sustancias o condiciones ambientales:

- PROCESOS: Realización de análisis de riesgos de los procesos industriales mediante metodologías contrastadas, como pueden ser:
 - o What if ...?
 - o Análisis funcional de operabilidad (HAZOP)
 - o Análisis de modo, efecto y criticidad de fallos (FMECA)
- SUSTANCIAS: Caracterización de las mismas, obteniendo los datos específicos de las realmente usadas, especialmente en sustancias en polvo que están muy poco caracterizadas y con poca información por parte de los proveedores.
- CONDICIONES AMBIENTALES: Estudio profundo de la ventilación del establecimiento, incluso llegando al uso de software de modelización de dinámica de fluidos computacional (CFD) lo que daría una precisión mucho mayor en el estudio de los volúmenes peligrosos.

Y, por supuesto, el trabajo futuro más inmediato sería la revisión del propio documento de protección contra explosiones con las modificaciones asociadas a las medidas correctoras adoptadas.

14 REFERENCIAS

- [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.
- [2] Directiva 1999/92/CEE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre de 1999, 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.
- [3] Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento electrotécnico para baja tensión. ITC-BT-29, prescripciones particulares para las instalaciones eléctricas de los locales con riesgo de incendio o explosión. ITC-BT-03 Instaladores autorizados en baja tensión. ITC-BT-05 Verificaciones e inspecciones.
- [4] Real Decreto 1215/1997, de 18 de julio, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo.
- [5] Real Decreto 144/2016, de 8 de abril, por el que se establecen los requisitos esenciales de salud y seguridad exigibles a los aparatos y sistemas de protección para su uso en atmósferas potencialmente explosivas y por el que se modifica el Real Decreto 455/2012, de 5 de marzo, por el que se establecen las medidas destinadas a reducir la cantidad de vapores de gasolina emitidos a la atmósfera durante el repostaje de los vehículos de motor en las estaciones de servicio.
- [6] Norma UNE-EN ISO 16852:2017 Apagallamas. Requisitos de funcionamiento, métodos de ensayo y límites de utilización. (ISO 16852:2016).
- [7] Norma UNE-EN 60079-0:2013 Atmósferas explosivas. Parte 0: Equipo. Requisitos generales.
- [8] Norma UNE-EN 1127-1:2012 Atmósferas explosivas. Prevención y protección contra la explosión. Parte 1: Conceptos básicos y metodología.
- [9] UNE-EN 13237:2012 Atmósferas potencialmente explosivas. Términos y definiciones para equipos y sistemas de protección destinados a utilizarse en atmósferas potencialmente explosivas (Ratificada por AENOR en abril de 2015.)
- [10] INSHT, NTP 887 Calzado de protección “antiestáticos”, 2010.
- [11] Instituto Alemán para la Seguridad y Salud en el Trabajo (Institut fuer Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA)), [GESTIS-DUST-EX database](#) .
- [12] Norma UNE 202007:2006 IN Guía de aplicación de la Norma UNE-EN 60079-10. Material eléctrico para atmósferas de gas explosivas. Clasificación de emplazamientos peligrosos.
- [13] Norma UNE-EN 60079-10-1:2016 Atmósferas explosivas. Parte 10-1: Clasificación de emplazamientos. Atmósferas explosivas gaseosas.
- [14] Norma UNE-EN 60079-10-2:2016 Atmósferas explosivas. Parte 10-2: Clasificación de emplazamientos. Atmósferas explosivas de polvo.
- [15] Norma UNE-EN 12981:2006+A1:2009 Instalaciones de recubrimiento. Cabinas de pulverización para la aplicación de materiales de recubrimiento orgánico en polvo. Requisitos de seguridad.

- [16] Norma UNE-EN 12215:2005+A1:2009 Instalaciones de recubrimiento. Cabinas de pulverización para la aplicación de materiales de recubrimiento orgánicos líquidos. Requisitos de seguridad.
- [17] INSHT, NTP 876 "Evaluación de los riesgos específicos derivados de las atmósferas explosivas (ATEX). 2010.
- [18] Comité Europeo de Normalización. CEN/TC 305 N 273. The RASE Project (SMT4-CT97-2169). Explosive Atmospheres: Methodology on Risk Assessment of Unit Operations and Equipment. 2000.
- [19] INSHT. Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos derivados de atmósferas explosivas en el lugar de trabajo (Real Decreto 681/2003, de 12 de junio, BOE nº 145, de 18 de junio).
- [20] Norma UNE-EN 60079-14:2016 Atmósferas explosivas. Parte 14: Diseño, elección y realización de las instalaciones eléctricas.
- [21] Norma UNE-EN 60079-17:2014 Atmósferas explosivas. Parte 17: Inspección y mantenimiento de instalaciones eléctricas.
- [22] Norma UNE-EN 60079-19:2011 Atmósferas explosivas. Parte 19: Reparación, revisión y reconstrucción de material.
- [23] Real Decreto 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención.
- [24] Norma UNE-EN 62485-3:2015 Requisitos de seguridad para las baterías e instalaciones de baterías. Parte 3: Baterías de tracción.
- [25] Francesc Escuer Ibars y Javier Garcia Torrent (CETIB). Manual práctico Clasificación de zonas en atmósferas peligrosas. 2005.
- [26] Directiva 94/9/CE del Parlamento Europeo y 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. (Derogado)
- [27] 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, relativo a los aparatos y sistemas de protección para uso en atmósferas potencialmente explosivas. (Derogado)
- [28] Directiva 2014/34/UE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 26 de febrero de 2014 sobre la armonización de las legislaciones de los Estados miembros en materia de aparatos y sistemas de protección para uso en atmósferas potencialmente explosivas.
- [29] Norma UNE-EN 60529:2018 Grados de protección proporcionados por las envolventes (Código IP).

15 ANEXOS

Listado de anexos:

ANEXO A. Planos e imágenes de la instalación

ANEXO B: Representación gráfica de las zonas clasificadas en la planta

ANEXO A: Planos e imágenes de la instalación

Se adjuntan en este anexo diferentes imágenes, fotografías, planos aclaratorios de las instalaciones.

- Ubicación en planta de fábrica de los diferentes procesos productivos (Figura A-1)

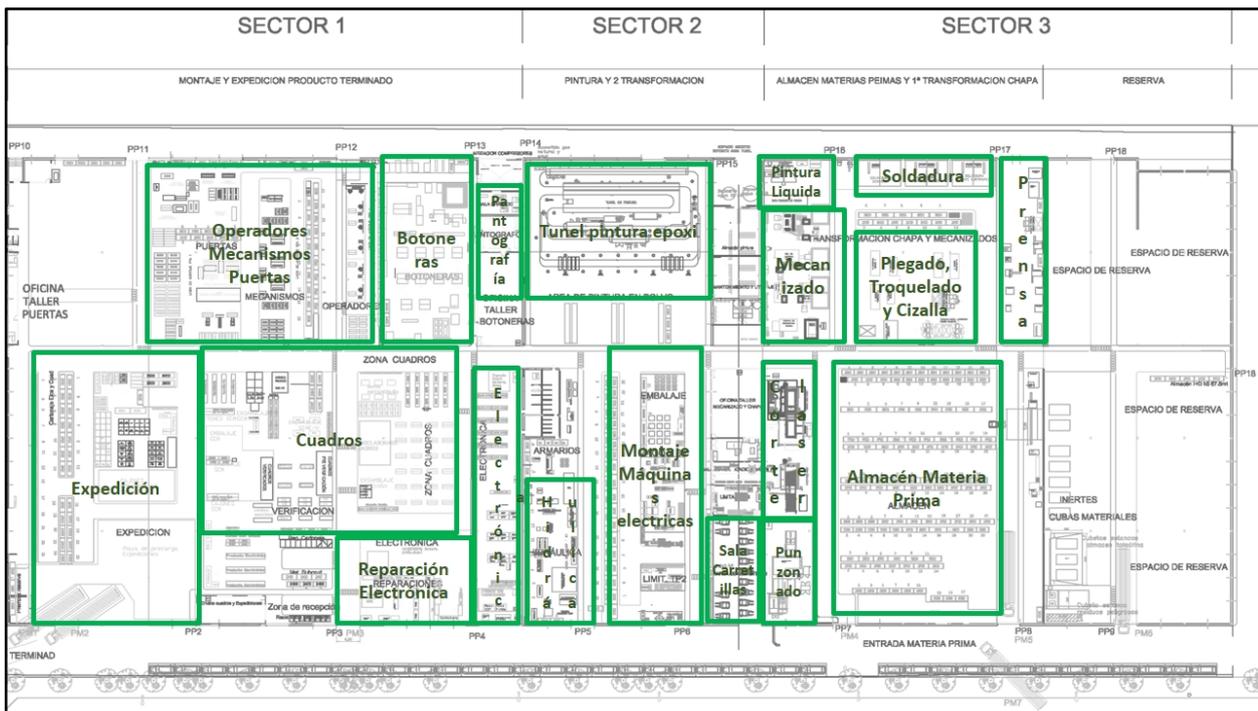


Figura A-1: Plano de ubicación de los diferentes procesos en fábrica

- En la figura A-2 se presentan algunas imágenes de detalle de las áreas, puestos, equipos o procesos en los que existe posibilidad de formación de atmósferas explosivas



Puestos de soldadura



Cabina de pintura líquida



Máquina de corte por laser



Tunel de pintura epoxi



Sala de carga de carretillas



Pistola llama para retratillado



Soldadura por olas



ERM

Figura A-2: Detalles de áreas con posible formación de atmósferas explosivas

ANEXO B: Representación gráfica de las zonas clasificadas en la planta

En este anexo se van a representar gráficamente sobre la planta de la instalación las zonas clasificadas peligrosas calculadas en apartados anteriores. Para ello se va a utilizar la simbología de la norma UNE-EN 60079-10-1:2016 [13] para zonas de gases y vapores inflamables, zonas 0, 1 y 2, y de la norma UNE-EN 60079-10-2:2016 [14] para zonas de polvos combustibles, zonas 20, 21 y 22. En la figura B-1 se refleja la dicha simbología.

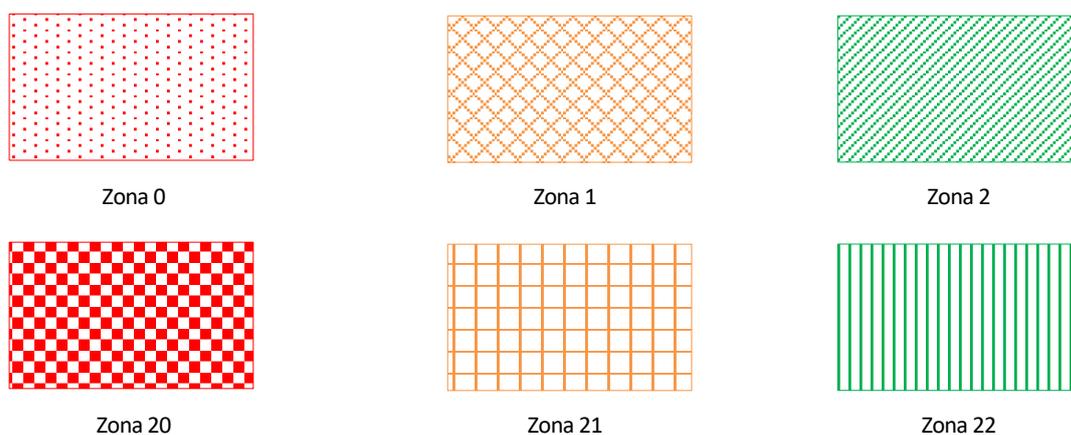


Figura B-1: Representación gráfica de zonas clasificadas

Zonas clasificadas en la planta

Se presentan, según los cálculos realizados en este estudio, para las siguientes zonas clasificadas en los diferentes procesos de la fábrica indicando el tipo de zona, mediante la simbología indicada anteriormente, y las distancias correspondientes a cada zona:

- Área de pintura orgánica en polvo (Figura B-2)
- Área de centrales hidráulicas: Retractilado y limpieza de bloques (Figura B-3)
- Sala de carga de carretillas (Figura B-4)
- Sala de serigrafía y grabación de botoneras (Figura B-5)
- Máquinas de corte de chapa por laser (Figura B-6)
- Área de cabina de pulverización de pintura líquida (Figura B-7)
- Máquina de soldadura por olas de componentes en placas electrónicas (Figura B-8)
- Estación de regulación y medida de gas natural, ERM (Figura B-9)

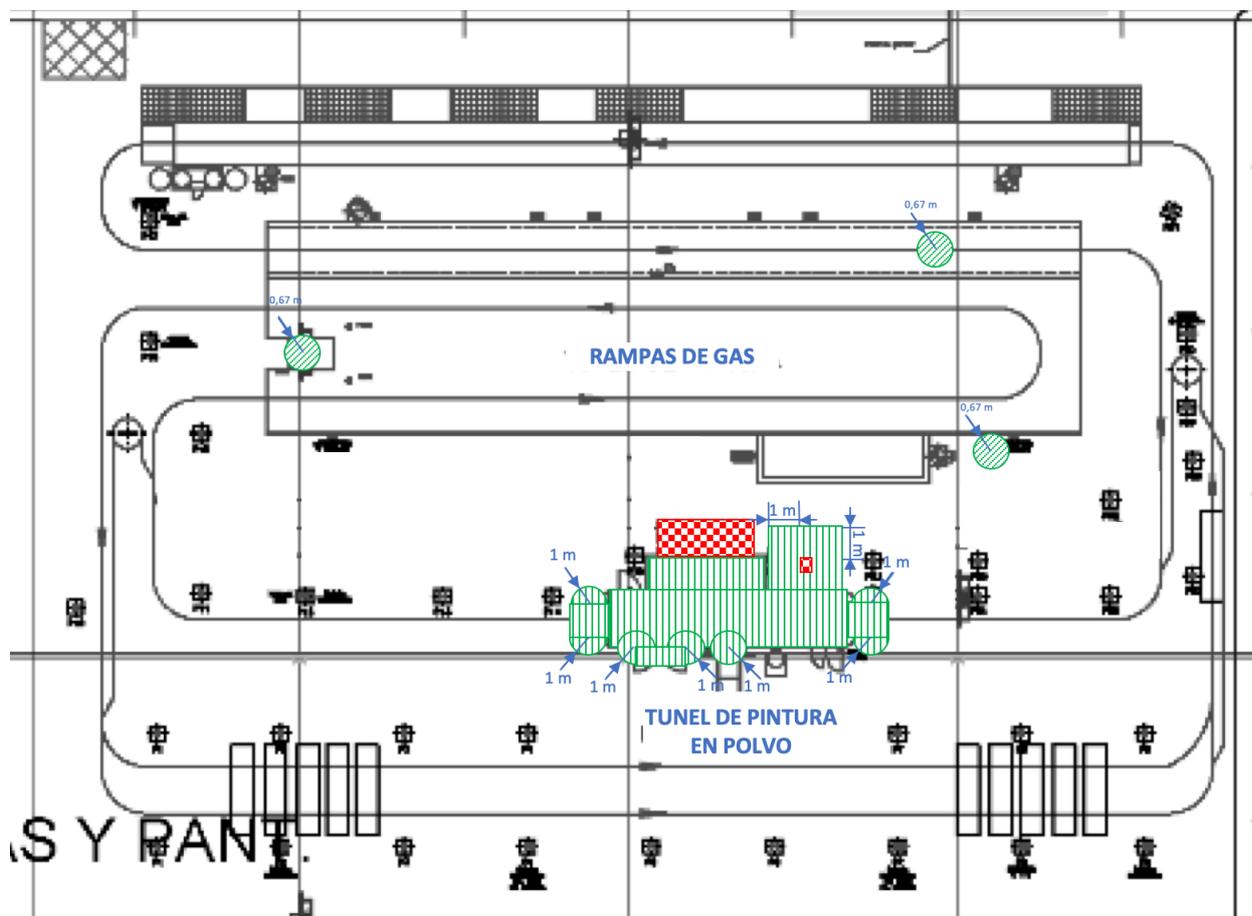


Figura B-2: Zonas clasificadas en túnel de pintura epoxi en polvo. Cabina de pintura (polvo) y rampas de gas

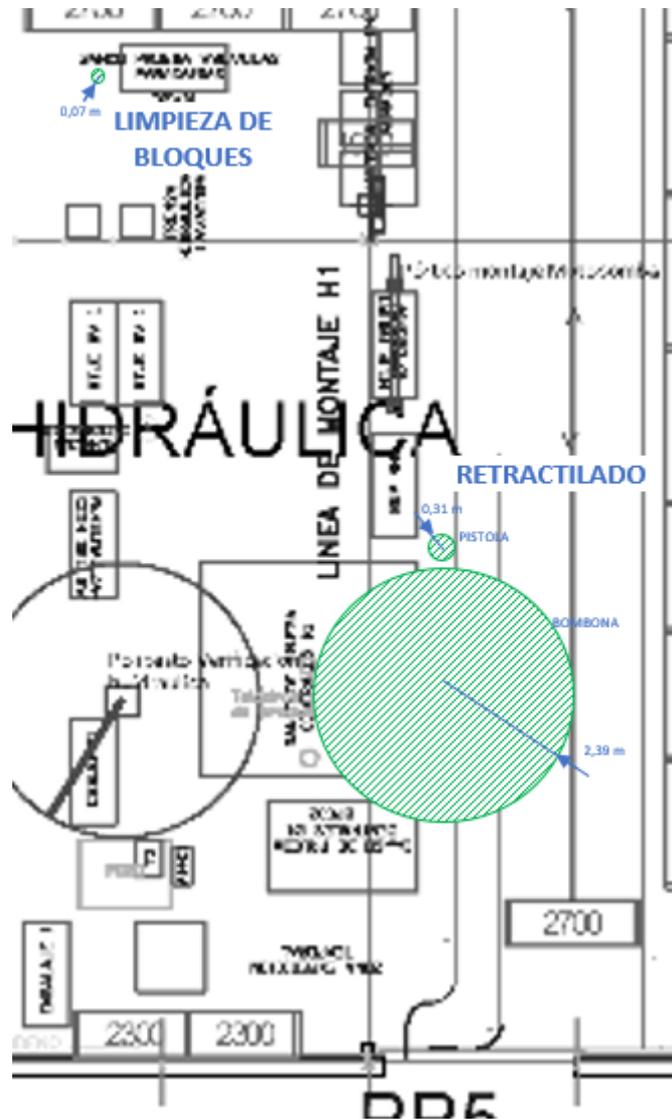


Figura B-3: Zonas clasificadas en procesos de hidráulica. Limpieza de bloques y retractilado.

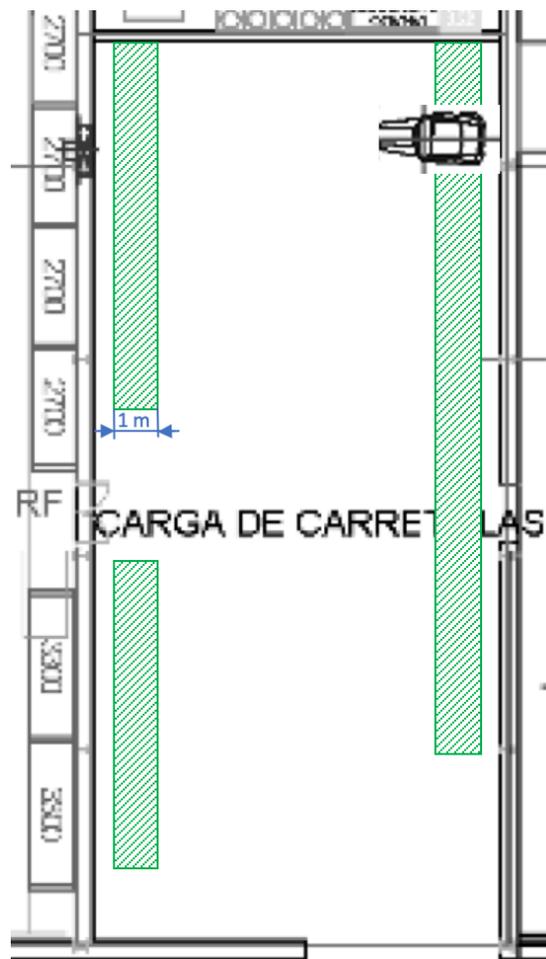


Figura B-4: Zonas clasificadas en sala de carga de carretillas



Figura B-5: Zonas clasificadas en proceso de grabación de placas. Filtros.



Figura B-6: Zonas classificadas em máquinas de corte por laser (Filtros)

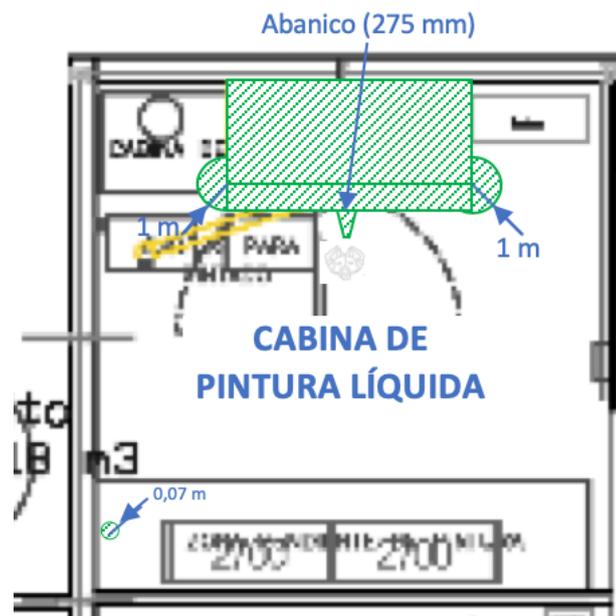


Figura B-7: Zonas clasificadas en proceso de pintura líquida por pulverización. Cabina y limpieza de pistola con disolvente



Figura B-8: Zonas clasificadas en proceso de soldadura por olas. Interior de máquina y conductos

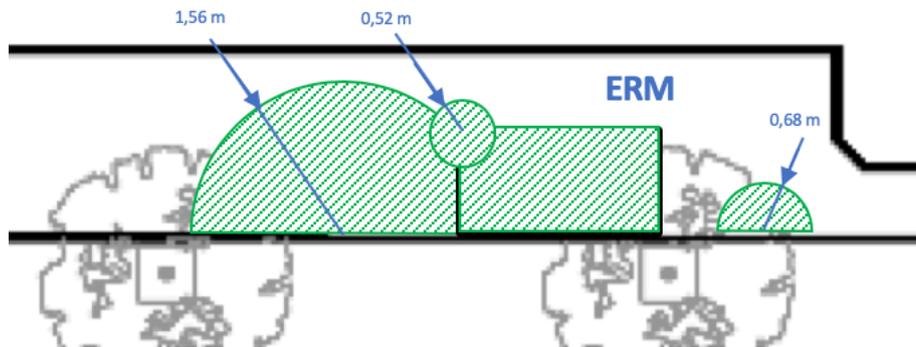


Figura B-9: Zonas clasificadas en estación de regulación y medida de gas natural (ERM)