



**Universidad**  
Zaragoza

## Trabajo Fin de Máster

Documento de protección contra explosiones  
durante la carga de baterías

Explosion protection document during battery  
charging

Autor/es

Nerea Fibla Cebrián

Director/es

Eduardo José Sánchez Álvarez

Facultad de Derecho  
Máster Universitario de Prevención de Riesgos Laborales  
Año 2020

## Índice

Resumen .....	4
Abstract.....	5
1. Introducción.....	6
2. Conceptos y terminología.....	10
2.1. Conceptos sobre el fuego .....	10
2.2. Conceptos sobre incendio .....	12
2.2.1. Factores que influyen en la ignición.....	12
2.2.2. Factores que influyen en la combustión .....	12
2.3. Conceptos sobre explosiones .....	13
2.4. Conceptos sobre fuentes de ignición .....	14
2.5. Clasificación de zonas con riesgo de explosión.....	15
2.6. Marcado de equipos para uso en atmósferas explosivas.....	16
2.7. Conceptos sobre la ventilación .....	20
3. Objetivos.....	23
4. Metodología.....	23
5. Documento de protección contra explosiones durante la carga de baterías .....	28
5.1. Determinación y evaluación de los riesgos de explosión .....	28
5.1.1. Descripción de las zonas de carga .....	29
5.1.2. Equipos e instalaciones de carga de baterías .....	30
5.1.3. Características de las sustancias peligrosas .....	34
5.1.4. Identificación de las fuentes de ignición: .....	35
5.1.5. Evaluación del riesgo: .....	36
5.2. Clasificación de la zona .....	36
5.3. Adopción de medidas y elementos de seguridad: .....	44
5.3.1. Planificación de la adopción de medidas.....	45
5. Discusión .....	50
6. Conclusiones.....	50
7. Bibliografía.....	51
Anexo I: Normativa de pararrayos. ....	53
Anexo II: Autorización de trabajo. ....	54
Anexo III: Procedimiento de trabajo. ....	55
Anexo IV: Información para los trabajadores. ....	56
Anexo V: Procedimiento de revisión del estado de los equipos. ....	59

## Índice de figuras

Figura 1: Principios para la prevención de explosión y protección frente a estas.....	7
Figura 2: Obligaciones del empresario .....	7
Figura 3: Proceso a seguir para la evaluación de riesgos de explosión por presencia de ATEX .....	9
Figura 4: Triángulo del fuego .....	11
Figura 5: Tetraedro del fuego .....	11
Figura 6: Rango de explosividad de una sustancia inflamable.....	14
Figura 7: Señal de uso obligatorio de ropa de trabajo .....	57
Figura 8: Señal de uso obligatorio de protección de los pies .....	57
Figura 9: Señal de uso obligatorio de protección de la vista .....	57
Figura 10: Señal de uso obligatorio de protección de las manos.....	57
Figura 11: Señal de materias inflamables.....	57
Figura 12: Señal de prohibido encender fuego.....	57
Figura 13: Señal de atmósferas explosivas.....	58
Figura 14: Señal de entrada prohibida a personas no autorizadas.....	58
Figura 15: Señal de riesgo eléctrico .....	58
Figura 16: Señal de extintor.....	58

## Índice de tablas

Tabla 1: Velocidad de reacción .....	10
Tabla 2: Clasificación de zonas en función de la frecuencia y duración de la ATEX ...	16
Tabla 3: Categoría de equipos admisibles para atmósferas de gases y vapores. ....	17
Tabla 4: Marcado de equipos eléctricos en atmósferas gaseosas y con presencia de polvo. ....	18
Tabla 5: Correlación entre el tipo de certificación y el grupo de gases en los que se puede utilizar. ....	18
Tabla 6: Temperatura Superficial Máxima Permitida para la clase térmica. ....	19
Tabla 7: Grado de protección de los equipos eléctricos. ....	19
Tabla 8: Marcado de equipos no eléctricos en atmósferas gaseosas y con presencia de polvo. ....	20
Tabla 9: Marcado de los equipos utilizados en ATEX. ....	20
Tabla 10: Zonas según el grado de escape y la efectividad de la ventilación. ....	22
Tabla 11: Frecuencia de ocurrencia. ....	23
Tabla 12: Gravedad del daño. ....	23
Tabla 13: Frecuencia de materialización por la gravedad de las consecuencias. ....	24
Tabla 14: Actuaciones que se deben realizar en función del nivel de riesgo. ....	24
Tabla 15: Factor $f_v$ para ambientes abiertos con ventilación natural. ....	27
Tabla 16: Factor $f_v$ para ambientes abiertos con ventilación artificial. ....	28
Tabla 17: Características de las zonas de carga de baterías. ....	31
Tabla 18: Características del hidrógeno .....	34
Tabla 19: Identificación de fuentes de ignición en la empresa. ....	35
Tabla 20: Nivel de riesgo en la empresa. ....	36
Tabla 21: Extensión de la ATEX en la nave principal de producción. ....	38
Tabla 22: Extensión de la ATEX en la nave de almacén. ....	39
Tabla 23: Extensión de la ATEX en la zona exterior. ....	40
Tabla 24: Ventilación mínima en cada zona de riesgo con ATEX. ....	42
Tabla 25: Medidas adoptadas por la empresa. ....	44
Tabla 26: Planificación de medidas adoptadas en la empresa. ....	47
Tabla 27: Modelo permiso para efectuar trabajos en emplazamientos con ATEX. ....	54

## Resumen

El documento de protección contra explosiones recoge todas las medidas adoptadas en la empresa para garantizar la seguridad y salud de los trabajadores ante el riesgo de explosión. En este trabajo se redacta dicho documento para una empresa que fabrica sistemas de ventilación y climatización. El principal riesgo de explosión en esta empresa se da durante la carga de baterías de las transpaletas, apiladores y carretillas elevadoras eléctricas, en este proceso se libera hidrógeno que es un gas muy inflamable.

En la evaluación de riesgos se ha considerado que hay un riesgo medio de que se produzca una explosión durante la carga de las baterías, producido por la ignición del material eléctrico.

La clasificación de los diferentes emplazamientos de la empresa, donde se puede formar una ATEX, se han considerado como zona 0 ó 0 + 2, con una extensión de 0,50 metros.

Las medidas que se deben adoptar son: delimitar una zona de aparcamiento, realizar procedimientos de revisión de los equipos utilizados en la carga, establecer permisos de trabajo para empresas externas, redactar una instrucción de trabajo, dar formación e información a los trabajadores, e incluir en el plan de emergencias contra incendios como actuar en caso de explosión.

Palabras clave: ATEX, Seguridad, Prevención, Evaluación, Riesgos.

## **Abstract**

The document of protection against explosions includes all the measures adopted in the company to guarantee the security and health of the workers before the risk of explosion. This document is written for a company that manufactures ventilation and air conditioning systems. The main risk of explosion in this company occurs during the charging of batteries of pallet trucks, stackers and electric forklifts, in this process hydrogen is released which is a highly flammable gas.

In the risk assessment it has been considered that there is an average risk of an explosion during the charging of the batteries, produced by the ignition of the electrical material.

The classification of the different sites of the company, where an ATEX can be formed, have been considered as zone 0 or 0 + 2, with an extension of 0.50 meters.

The measures to be adopted are: delimiting a parking area, carrying out procedures to check the equipment used in the load, establishing work permits for external companies, writing a work instruction, training and informing workers, and including in the fire emergency plan how to act in case of an explosion.

Keywords: ATEX, Safety, Prevention, Evaluation, Risks.

## 1. Introducción

Las atmósferas explosivas (ATEX) se regulan en el Real Decreto (RD) 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.

Se entiende como 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.

El RD 681/2003, establece las disposiciones mínimas para la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores expuestos a los riesgos derivados de atmósferas explosivas. En su capítulo II, indica las obligaciones que debe cumplir el empresario y son las siguientes:

- Evaluar los riesgos de explosión.
- Tomar las medidas necesarias para eliminarlas o evitar que se produzcan.
- Coordinar los trabajos con las empresas externas.
- Señalizar las zonas en las que puedan formarse atmósferas explosivas.
- Elaborar un documento de protección contra explosiones.

En su artículo 4, indica que la evaluación de riesgos de atmósferas explosivas debe incluir al menos los siguientes aspectos:

- La probabilidad de formación y la duración de atmósferas explosivas.
- La probabilidad de la presencia y activación de focos de ignición, incluida las descargas electrostáticas.
- Las instalaciones, las sustancias empleadas, los procesos industriales y sus posibles interacciones (mantenimiento y limpieza).
- Las proporciones de los efectos previsibles.

La Ley 31/1995, en su artículo 15, indica que el empresario debe aplicar las medidas que integran el deber general de prevención. Por lo tanto, el empresario tiene la obligación de tomar medidas técnicas y/o organizativas en función de la actividad que desarrolle y siguiendo un orden de prioridades. En el caso de las atmósferas explosivas se puede seguir el siguiente esquema (Figura 1).

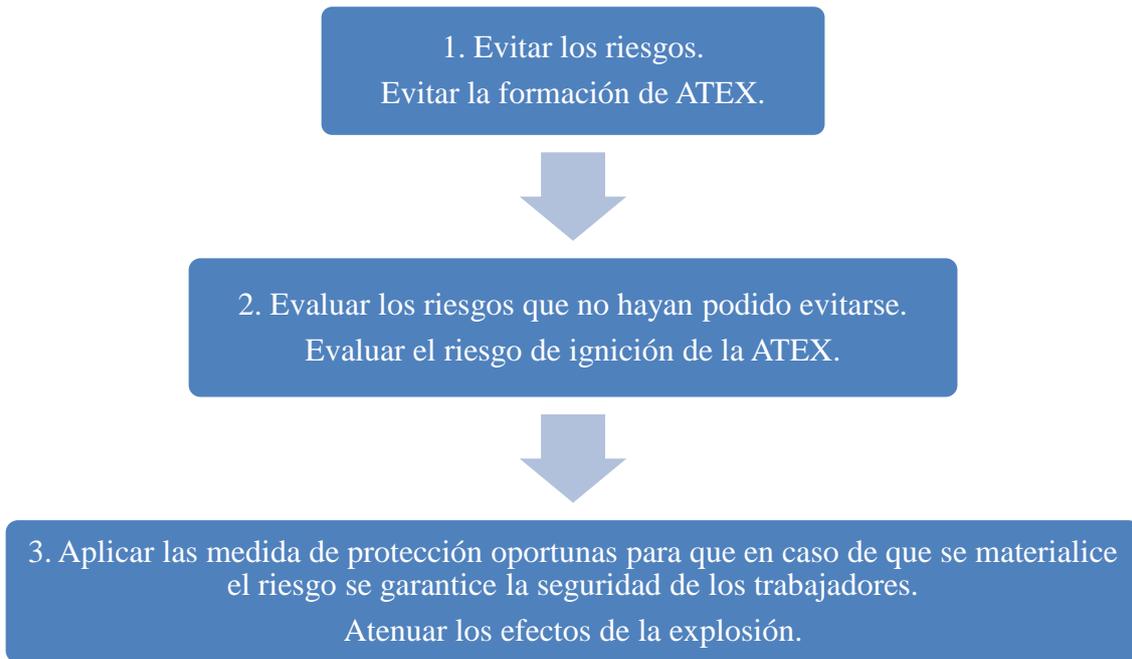


Figura 1: Principios para la prevención de explosión y protección frente a estas (INSHT, 2008).

La Ley 31/1995, en su artículo 24, indica que el empresario tiene la obligación de coordinar las activadas empresariales cuando en un mismo centro de trabajo se encuentre trabajadores de varias empresas. Tomando las medidas que sean necesarias para la protección de la salud y seguridad de los trabajadores.

Para ello se puede seguir el siguiente esquema (Figura 2):



Figura 2: Obligaciones del empresario (INSHT, 2008).

En este trabajo se va a elaborar un documento de protección contra explosiones, concretamente para una planta de fabricación y distribución de componentes y sistemas para la ventilación y climatización de espacios.

Cabe decir que esta empresa ha realizado con anterioridad las evaluaciones de riesgos de los diferentes puestos de trabajo y el plan de emergencia contra incendios.

El documento de protección contra explosiones (DPCE) es una recopilación de las actuaciones preventivas realizadas por la empresa que tiene por objeto reflejar el conjunto de medidas adoptadas para garantizar la seguridad y salud de los trabajadores frente al riesgo de explosión (INSHT, 2008).

Para realizarlo se van a seguir las indicaciones que marca el RD 681/2003 en su artículo 8, en el cual establece que como mínimo el documento de protección contra explosiones debe tener los siguientes apartados:

- Determinación y evaluación de los riesgos de explosión.
- Medidas que se tomaran para cumplir este RD.
- Clasificación de las zonas según el anexo I de este RD.
- Determinación de las zonas en las que se aplican los requisitos mínimos del anexo II de este RD.
- Aseguramiento de que el lugar y los equipos de trabajo tienen los sistemas de alerta, están diseñados y se utilizan y mantienen debidamente en cuenta la seguridad.
- Adopción de medidas para que los equipos de trabajo se utilicen en condiciones seguras.

Para determinar la posibilidad de que en el lugar de trabajo pueden formarse atmósferas explosivas se debe seguir el siguiente procedimiento (Figura 3):

## 1. IDENTIFICAR EL RIESGO DE FORMACIÓN DE ATEX.

- 1.1. Identificar las sustancias inflamables.
- 1.2. Posibilidad de mezcla de sustancias inflamables con la atmósfera en cantidades peligrosas.



### MEDIDAS PREVENTIVAS PARA ELIMINAR O REDUCIR EL RIESGO DE FORMACIÓN DE ATEX.

- Se elimina la posibilidad de ATEX: Mantener la eficacia de las medidas preventivas adoptadas.
- No se elimina la posibilidad de ATEX: Seguir con el esquema.



## 2. ANÁLISIS DEL ÁREA QUE OCUPA LA ATEX.

- 2.1. Clasificación en zonas.
- 2.2. Determinación de la extensión de la zona.
  - 2.2.1. Extensión conocida.
  - 2.2.2. Determinación experimental de la extensión de la zona.
  - 2.2.3. Método de cálculo para determinar la extensión de la zona.



## 3. ANÁLISIS DEL RIESGO DE IGNICIÓN DE LA ATEX.



### MEDIDAS PREVENTIVAS PARA EVITAR EL RIESGO DE IGNICIÓN. DETERMINACION DE EQUIPOS PARA USO EN ATEX.

- Se elimina el riesgo de ignición de la ATEX: Mantener la eficacia de las medidas preventivas.
- No se elimina el riesgo de ignición de la ATEX: MEDIDAS PARA ATENUAR LOS EFECTOS DE LA EXPLOSIÓN.

Figura 3: Proceso a seguir para la evaluación de riesgos de explosión por presencia de ATEX (INSHT, 2008).

La redacción de este documento se ha decidió tras llevar a cabo una inspección de seguridad para ver si se cumplían las disposiciones mínimas de seguridad y salud como marca el RD 486/1997. En esta inspección, se detectó que había riesgo de explosión durante la carga de batería de las carretillas, apiladores y transpaletas eléctricas, dicho riesgo no se había planteado anteriormente.

## 2. Conceptos y terminología

Para entender cómo se producen las atmósferas explosivas se deben explicar los siguientes conceptos:

### 2.1. Conceptos sobre el fuego

La velocidad de reacción se puede clasificar de la siguiente forma (Tabla 1) (Esparza 2002; INSHT, 2008):

- **Oxidación:** se produce sin emisión de luz (llama) y poca emisión de calor que se disipa en el ambiente, no hay aumento de la temperatura.
- **Combustión:** es una reacción química de oxidación, en la que se desprende una gran cantidad de energía, en forma de calor y luz, manifestándose visualmente como fuego.
- **Deflagración:** la velocidad lineal de avance de la reacción frente de llama es inferior a la velocidad del sonido y la onda de presión generada avanza por delante del frente de llama o zona de reacción.
- **Detonación:** es un régimen de propagación de la explosión más severo, la velocidad de propagación es superior a la velocidad del sonido y la onda de presión, denominada “onda de choque” y el frente de llama avanzan acoplado. Este fenómeno es debido al efecto de compresión de la onda de choque, la cual genera una alta temperatura y da lugar a la autoignición de la mezcla inflamable que aún no se ha quemado.

**Tabla 1: Velocidad de reacción (Esparza, 2002).**

	<b>Velocidad de reacción o propagación</b>
<b>Oxidación</b>	Lenta
<b>Combustión</b>	Inferior a 1 m/s
<b>Deflagración</b>	Superior a 1 m/s y onda de presión de 1 a 10 veces la inicial
<b>Explosión y detonación</b>	Superior a 340 m/s y onda de choque de hasta 100 veces a la presión inicial

Los elementos básicos del fuego se representan en un triángulo o tetraedro (Figura 4). En el que se ve de forma gráfica que si uno de estos elementos falta el fuego no llegaría a producirse (Esparza, 2002).



Figura 4: Triángulo del fuego (Presman, s.f.).

- Combustible: es cualquier sustancia capaz de arder en determinadas condiciones. Cualquier materia pueda arder o sufrir una rápida oxidación.
- Comburente: es el elemento en cuya presencia el combustible puede arder (normalmente oxígeno). Sustancia que oxida al combustible en las reacciones de combustión.
- Calor/Energía de activación: es la energía que es preciso aportar para que el combustible y el comburente reaccionen.

Esta representación ha estado aceptada durante mucho tiempo, sin embargo, algunos fenómenos no podían explicarse teniendo en cuenta solo estos tres elementos, por lo que tras realizar diferentes estudios se descubrió un nuevo elemento, que es la reacción en cadena. Dando lugar al tetraedro del fuego (Figura 5) (Esparza, 2002).

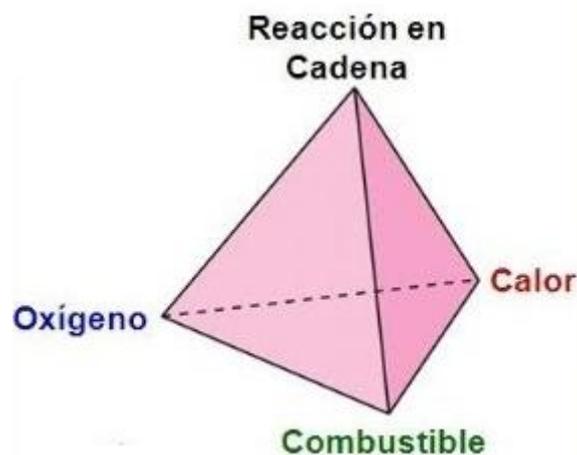


Figura 5: Tetraedro del fuego (Vásquez, s.f.).

- Reacción en cadena: es el proceso mediante el cual progresa la reacción en el seno de una mezcla comburente-combustible.

En el tetraedro del fuego, cada cara representa uno de los elementos básicos para que se produzca la combustión. Por tanto, bastará con eliminar una cara del tetraedro para romper el equilibrio y extinguir el fuego (Esparza, 2002).

## 2.2. Conceptos sobre incendio

### 2.2.1. Factores que influyen en la ignición

La peligrosidad de un combustible respecto a su ignición va a depender de una serie de variables (Esparza, 2002).

- Según su temperatura: todas las materias combustibles presentan 3 niveles de temperatura característicos.
  - Punto de ignición: es la temperatura mínima a la cual el combustible emite suficientes vapores que, en presencia de aire u otro comburente, se inflaman en contacto con una fuente de ignición, pero si se retira se apaga.
  - Punto de inflamación: es la temperatura mínima a la cual el combustible emite suficientes vapores que en presencia de aire u otro comburente y en contacto con una fuente de ignición se inflama y siguen ardiendo, aunque se retire la fuente de ignición.
  - Punto de autoinflamación: es la temperatura mínima a la cual un combustible emite vapores, que en presencia de aire u otro comburente, comienzan a arder sin necesidad de aporte de una fuente de ignición.
- Según su concentración de combustible: para que sea posible la ignición, debe existir una concentración de combustible suficiente en una atmósfera oxidante dada.
  - Límite Superior de Inflamabilidad (LSI): es la máxima concentración de vapores de combustible en mezcla con un comburente, por encima de la cual no se produce combustión.
  - Límite Inferior de Inflamabilidad (LII): es la mínima concentración de vapores de combustible, en mezcla con un comburente, por debajo de la cual no se produce la combustión.
  - Campo de inflamabilidad: son las concentraciones intermedias entre ambos límites y son mezclas capaces de entrar en combustión.

Estos límites se miden con explosímetros. El rango máximo de un explosímetro corresponde al LII.

### 2.2.2. Factores que influyen en la combustión

Los factores más importantes que contribuyen a la peligrosidad de un combustible una vez inflamado son (Esparza, 2002):

- Poder calorífico: es la cantidad de calor emitida por un combustible por unidad de masa. A mayor poder calorífico del combustible mayor será la temperatura de los materiales provocando la propagación del fuego.
- Reactividad: se consideran reactivos aquellos productos que pueden surgir por choque, frotamiento o reacción con productos incompatibles, reacciones de gran potencial energético, que en algunos casos derivan en explosiones
- Velocidad de la combustión: es una medida de la cantidad de combustible consumida por unidad de tiempo en unas condiciones dadas. La velocidad de la combustión depende en alto grado de la forma del combustible, cantidad de aire existente, contenido de humedad y otros factores relacionados; sin embargo, para

que la combustión continúe, es siempre necesario que se produzca una evaporación progresiva de los sólidos y líquidos por su exposición al calor.

- Velocidad de propagación de la llama: es la medida de la velocidad superficial de propagación de las llamas en un combustible e indica la capacidad de extensión y propagación de un fuego.

### 2.3. Conceptos sobre explosiones

Por explosión se entiende la expansión violenta y rápida, de un determinado sistema de energía, que puede tener su origen en distintas formas de transformación (física o química), acompañada de un cambio de su energía potencial y generalmente seguida de una onda expansiva que actúa de forma destructiva sobre el recipiente o estructura que lo contiene. Se distinguen por lo tanto dos tipos de explosiones (INSST, s.f.):

- Explosión física: motivadas por cambios bruscos en las condiciones de presión y/o temperatura, que originan una sobrepresión capaz de romper las paredes del recipiente que lo contiene.
- Explosión química: motivadas por reacciones químicas violentas, por deflagración o detonación de gases, vapores o polvos o por descomposición de sustancias explosivas.

Los efectos de la explosión dependen de (Esparza, 2002):

- La velocidad de descarga.
- La presión en el momento de la liberación.
- El volumen de gas liberado.
- Factores direccionales que regulan la descarga.
- Efectos mecánicos coincidentes con la descarga.
- La temperatura del gas.

Cada sustancia tiene un rango de concentración es que al mezclarse con el aire tienen propiedades explosivas, pero si la concentración es inferior o superior a los límites que definen su rango de explosividad no se producirá la explosión, aunque el grado de dispersión fuese propicio (Figura 6). Este es propio para cada sustancia y varía en función de las condiciones ambientales, estos datos se pueden encontrar en las fichas de seguridad de las sustancias (INSHT, 2008).

- Límite Inferior de Explosividad (LIE): es la concentración mínima de gases, vapores o neblas inflamables en aire, por debajo de la cual, la mezcla no es explosiva.
- Límite Superior de Explosividad (LSE): es la concentración máxima de gases, vapores o neblas inflamables en aire, por arriba de la cual, la mezcla no es explosiva.



Figura 6: Rango de explosividad de una sustancia inflamable (INSHT, 2008).

## 2.4. Conceptos sobre fuentes de ignición

El riesgo de explosión por atmósfera explosiva se va a materializar cuando la misma coexista con una fuente de ignición con capacidad para inflamarla, las posibles fuentes son (AENOR, 2008; Cantalejo, 2009; INSHT, 2008):

- Superficies calientes: pueden ser evidentes, como el caso de hornos, estufas, calentadores, etc. Otras veces se asocia al funcionamiento de los equipos, a las condiciones del proceso productivo, calentamiento de equipos, fluidos calientes circulando por tuberías. De forma imprevista se pueden dar fricciones o rozamientos por desgastes o falta de lubricación.
- Llamas y gases calientes: cualquier llama por pequeña que sea tiene energía suficiente para inflamar una atmósfera explosiva. Los motores de combustión de vehículos por su tubo de escape producen gases calientes, y pueden salir partículas incandescentes y llamaradas o fognazos.
- Chispas de origen mecánico: el movimiento relativo entre objetos, componentes de maquinaria y materiales en contacto generan un aumento de temperatura debido a la fricción y un desprendimiento de partículas incandescentes.
- Material eléctrico: los aparatos eléctricos pueden ser fuentes de ignición debido al calor que alcanzan sus superficies y como resultado de arcos eléctricos y/o chispas generados por trabajos incorrectos, mantenimientos deficientes de los elementos de corte, maniobras de conexión y desconexión, cortocircuito por conexiones erróneas o por trabajos inadecuados, superficies calientes de equipos o instalaciones por sobrecargas de intensidad, chispas producidas por corrientes parásitas, chispas producidas por descargas electrostáticas y chispas producidas entre colectores y escobillas en ciertos motores eléctricos de corriente continua o universales.
- Corrientes eléctricas parasitas, protección contra la corrosión catódica: pueden circular en sistemas eléctricamente conductores o por partes de dichos sistemas como: corrientes de retorno en instalaciones generadoras de potencia, consecuencia de un cortocircuito o de una puesta a tierra accidental debidos a fallos en las instalaciones eléctricas, consecuencia de la inducción magnética, consecuencia de un rayo.

- Electricidad estática: se produce una descarga en forma de chispas como resultado de una acumulación de carga.
- Rayo: descarga de chispa eléctrica de gran potencia o ignición por alta temperatura de los elementos que conducen el rayo. Incluso sin rayo las tormentas pueden inducir tensiones importantes en la instalación y generar chispas.
- Ondas electromagnéticas de radiofrecuencia de  $3 \cdot 10^4$  a  $3 \cdot 10^{12}$  Hz: todos los sistemas que producen y utilizan energía eléctrica de alta frecuencia o sistemas de radiofrecuencia (emisores de radio, generadores RF médicos o industriales para calentamiento, secado, endurecimiento, soldeo, oxicorte...).
- Ondas electromagnéticas de  $3 \cdot 10^{11}$  a  $3 \cdot 10^{15}$  Hz: es la radiación entre el infrarrojo y el ultravioleta (radiación solar concentrada, fuentes luminosas intensas, láser...).
- Radiaciones ionizantes: son generados por rayos X y sustancias radiactivas.
- Ultrasonidos: son ondas de alta energía absorbidas por sustancias sólidas y líquidas.
- Compresiones y ondas de choque: las compresiones adiabáticas pueden alcanzar temperaturas elevadas para que se pueda producir la ignición de atmósferas explosivas debido a la relación de presiones. Las ondas de choque se producen durante la descarga brusca de gases a alta presión en las redes de canalizaciones.
- Reacciones exotérmicas, incluyendo la autoignición de polvos: se da cuando la velocidad a la que se genera el calor desprendido de la reacción es mayor que la velocidad de disipación de este.

Las fuentes de ignición consideradas se clasifican de acuerdo con la probabilidad de que aparezcan, teniendo en cuenta los criterios establecidos en la UNE-EN 1127-1:

- Las fuentes de ignición que pueden aparecer constante o frecuentemente: son aquellas que permanecen activas en funcionamiento normal, como, por ejemplo, la superficie de una bombilla o una luminaria no protegida.
- Las fuentes de ignición que pueden aparecer en circunstancias raras son aquellas que aparecen como consecuencias del mal funcionamiento del equipo o la instalación, como puede ser el deslizamiento de una banda en un elevador de cangilones.
- Las fuentes de ignición que pueden aparecer en circunstancias muy raras: aquellas que se presentan como consecuencia del mal funcionamiento o funcionamiento no previsto, como puede ser el caso de material eléctrico dotado de protección, pero manipulado incorrectamente.

## 2.5. Clasificación de zonas con riesgo de explosión

Según el RD 681/2003, las áreas con riesgo de formación de atmósferas explosivas se clasifican en las siguientes zonas (Tabla 2):

- Zona 0: área de trabajo en la que una atmósfera explosiva consistente en una mezcla con aire de sustancias inflamables en forma de gas, vapor o niebla está presente de modo permanente, o por un periodo de tiempo prolongado, o con frecuencia.
- Zona 1: área de trabajo en la que es probable, en condiciones normales de explotación, la formación ocasional de una atmósfera explosiva consistente en una mezcla con aire de sustancias inflamables en forma de gas, vapor o niebla.

- Zona 2: área de trabajo en la que no es probable, en condiciones normales de explotación, la formación de una atmósfera explosiva consistente en una mezcla con aire de sustancias inflamables en forma de gas, vapor o niebla o en la que, en caso de formarse, dicha atmósfera explosiva sólo permanece durante breves períodos de tiempo.
- Zona 20: área de trabajo en la que una atmósfera explosiva en forma de nube de polvo combustible en el aire está presente de forma permanente, o por un período de tiempo prolongado, o con frecuencia.
- Zona 21: área de trabajo en la que es probable la formación ocasional, en condiciones normales de explotación, de una atmósfera explosiva en forma de nube de polvo combustible en el aire.
- Zona 22: área de trabajo en la que no es probable, en condiciones normales de explotación, la formación de una atmósfera explosiva en forma de nube de polvo combustible en el aire o en la que, en caso de formarse, dicha atmósfera explosiva sólo permanece durante un breve período de tiempo.

**Tabla 2: Clasificación de zonas en función de la frecuencia y duración de la ATEX (INSHT, 2008).**

	<b>Sustancia inflamable que origina ATEX</b>		<b>Características</b>
	Clase I: Gas/vapor/niebla	Clase II: Polvo	
<b>Clasificación de la zona</b>	0	20	La ATEX está presente de forma permanente
	1	21	La ATEX está presente a intervalos
	2	22	La ATEX está presente de forma accidental

## 2.6. Marcado de equipos para uso en atmósferas explosivas

El mercado de los equipos utilizados en zonas ATEX, se clasifican en los siguientes grupos (Tabla 3) (INSHT, 2008):

- Grupo I:
  - Formado por aquellos aparatos destinados a trabajos subterráneos en las minas y en las partes de sus instalaciones de superficie, en las que puede haber peligro de mezclas explosivas de gases y polvos.
  - Dentro de este grupo existen dos categorías: M1 y M2.
  - Estos equipos están diseñados para asegurar un nivel de protección muy alto y alto, respectivamente. Estos equipos quedan fuera del ámbito de aplicación del RD 681/2003.

- Grupo II:
  - Formado por aquellos aparatos destinados al uso en otros lugares en los que puede haber peligro de formación de atmósferas explosivas.
  - Dentro de este grupo existen tres categorías: 1, 2 y 3.
    - ❖ Categoría 1: estos equipos están diseñados para asegurar un nivel de protección muy alto y permanecen seguros en caso de averías extraordinarias. Estos equipos se utilizan en zonas clasificadas como 0 o 20.
    - ❖ Categoría 2: estos equipos están diseñados para asegurar un nivel de protección alto en caso de perturbaciones frecuentes y fallos previsibles. Estos equipos se utilizan en zonas clasificadas como 1 o 21.
    - ❖ Categoría 3: estos equipos aseguran el nivel de protección durante su funcionamiento normal. Estos equipos se utilizan en zonas clasificadas como 2 o 22.

**Tabla 3: Categoría de equipos admisibles para atmósferas de gases y vapores.**

<b>Categoría del equipo</b>	<b>Zonas en que se admiten</b>
1	0/20, 1/21 y 2/22
2	1/21 y 2/22
3	2/22

- Para los aparatos de este grupo, tras la categoría debe aparecer la letra G y/o D, en función de lo siguiente:
  - ❖ Los equipos que se puedan utilizar en atmósferas explosivas debidas a gases, vapores o niebla, se indicaran con una G.
  - ❖ Los equipos que se puedan utilizar en atmósferas explosivas debidas a la presencia de polvo se deben indicar con una D.
  - ❖ Los equipos que puedan usarse tanto en atmósferas gaseosas como en presencia de polvo se deben indicar con G/D.

El marcado normativo de los equipos eléctricos se clasifica como se indica a continuación:

- Símbolo de modo de protección: hace referencia al modo de protección utilizados en la construcción del equipo (Tabla 4).

**Tabla 4: Marcado de equipos eléctricos en atmósferas gaseosas y con presencia de polvo.**

<b>Modo</b>	<b>Símbolo gases</b>	<b>Símbolos polvos</b>
Envolvente antideflagrante	d	tD
Presurización	p (px, py, pz)	pD
Encapsulado	m (ma, mb)	maD, mbD
Relleno pulverulento	q	-
Inmersión en aceite	o	-
Seguridad aumentada	e	-
Seguridad intrínseca (equipos)	i (ia, ib)	iaD, ibD
Modos simplificados Protección “n”	nA, nC, nR, nL	-

- Símbolo de grupo del material eléctrico (Tabla 5):

Puede ser I: para minas con grisú o II, IIA, IIB y IIC para el resto de emplazamientos. Las letras A, B y C aparecerán en función de la relación con el grupo de gases. Estos se determinan según los siguientes parámetros:

- Corriente Mínima de Inflamación (CMI) que es indicativo de la sensibilidad al arco eléctrico.
- Intersticio Experimental Máximo de Seguridad (IEMS):
  - ❖ Para el grupo A son los valores más altos (gases menos inflamables).
  - ❖ Para el grupo B valores intermedios.
  - ❖ Para el grupo C para los valores más bajos (gases más inflamables).

**Tabla 5: Correlación entre el tipo de certificación y el grupo de gases en los que se puede utilizar.**

<b>Tipo de certificación</b>	<b>Grupos de gases</b>
IIC	IIA, IIB, IIC
IIB	IIA, IIB
IIA	IIA

- Símbolo de la clase de temperatura: hace referencia a la Temperatura Superficial Máxima Permitida (TSMP) que es la temperatura superficial máxima que puede alcanzar un equipo (Tabla 6).

**Tabla 6: Temperatura Superficial Máxima Permitida para la clase térmica.**

<b>Clase térmica</b>	<b>TSMP (°C)</b>
T1	450
T2	300
T3	200
T4	135
T5	100
T6	85

- Símbolos del grado de protección (IP): se compone de 2 dígitos el primero es el grado de protección del equipo contra el ingreso de objetos extraños sólidos, en función de la siguiente escala (Tabla 7):

**Tabla 7: Grado de protección de los equipos eléctricos.**

<b>Valor</b>	<b>Grado de estanqueidad</b>
0	Sin protección
1	Protección contra objetos > 50 mm
2	Protección contra objetos > 12 mm
3	Protección contra objetos > 2,5 mm
4	Protección contra objetos > 1 mm
5	Protegido contra el polvo
6	Totalmente protegido contra el polvo

El segundo dígito hace referencia a la estanqueidad contra líquidos según una escala de 1 a 8, para zonas ATEX es irrelevante y se expresa con una X.

El marcado normativo de los equipos no eléctricos, se clasifica como se indica a continuación (Tabla 8):

**Tabla 8: Marcado de equipos no eléctricos en atmósferas gaseosas y con presencia de polvo.**

<b>Modo</b>	<b>Símbolo gases</b>
Envolvente de respiración restringida	fr
Envolvente antideflagrante	d
Seguridad inherente	g
Seguridad constructiva	c
Control de fuentes de ignición	b
Presurización	p
Inmersión en líquido	k

Los equipos utilizados en ATEX deben estar marcados como se indica en la tabla 9.

**Tabla 9: Marcado de los equipos utilizados en ATEX.**

<b>Marca “CE”</b>	<b>Símbolo ATEX</b>	<b>Grupo</b>	<b>Categoría</b>	<b>Símbolo de uso</b>	<b>Modo de protección principal</b>	<b>Tipo de certificación</b>	<b>Clase térmica</b>
		I o II	1, 2 o 3	G o D	Tabla 4	Tabla 5	Tabla 6

## 2.7. Conceptos sobre la ventilación

Según la norma “UNE EN 60079-10-1 Atmósferas explosivas. Parte 10-1: Clasificación de emplazamientos. Atmósferas explosivas gaseosas.”, se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones acerca de la ventilación.

Las funciones de la ventilación son las siguientes:

- Aumentar la velocidad de dilución y promover la dispersión para limitar la extensión de una zona.
- Evitar la persistencia de una atmósfera explosiva que puede influir en el tipo de una zona.

Por lo tanto, con el aumento de la ventilación se reducirá la extensión de una zona ATEX, aunque los obstáculos (paredes, diques y techos) pueden impedir el movimiento del aire y por tanto aumentar la extensión de la zona ATEX.

Tipos de ventilación:

- Ventilación natural: en edificios surge de las diferencias de presión generadas por el viento y/o gradientes de temperatura. Esta puede ser eficaz en ciertas situaciones en interior para diluir de forma segura los escapes, por ejemplo, cuando un edificio tiene aberturas en sus paredes y/o tejado.
- Ventilación artificial: el movimiento del aire requerido para la ventilación lo proporcionan medios artificiales (ventiladores o extractores). Puede ser general o

local. Con esta se puede reducir el tipo y/o extensión de las zonas ATEX, se acorta el tiempo de persistencia y se previene la generación de una atmósfera explosiva gaseosa.

La eficiencia de la ventilación en el control y en la persistencia de la atmósfera explosiva dependerá del grado de dilución, disponibilidad de la ventilación y diseño del sistema.

Grado de dilución: es una medida de la capacidad de ventilación o de las condiciones atmosféricas para diluir un escape a un nivel seguro.

Los grados de dilución son los siguientes:

- Dilución alta: cuando la concentración cerca de la fuente de escape se reduce rápidamente y prácticamente no habrá ninguna persistencia después que el escape haya parado.
- Dilución media: es capaz de controlar la concentración, manteniendo una zona de límite estable, mientras el escape se está produciendo y en la que la atmósfera explosiva gaseosa no persiste indebidamente después que el escape haya parado.
- Dilución baja: es aquella en la que existe una concentración significativa mientras se está produciendo el escape y/o persistencia significativa de la atmósfera inflamable después que el escape haya parado.

Disponibilidad de la ventilación: esta influye en la presencia o formación de una atmósfera de gas explosiva y por lo tanto en el tipo de zona. Si la disponibilidad o fiabilidad de la ventilación decrece, el tipo de zona normalmente se incrementa.

- Buena: la ventilación está presente prácticamente de forma continua.
- Aceptable: se espera que la ventilación esté presente durante el funcionamiento normal. Se permiten discontinuidades siempre que ocurran con poca frecuencia y durante períodos cortos.
- Pobre: la ventilación que no cumple con el estándar de aceptable o buena, pero no se espera que se produzcan discontinuidades durante largos períodos.

Fuente de escape: puede dar lugar a cualquiera de estos grados de escape o a una combinación de más de uno.

Grados de escapes:

- Continuo: escape que se produce de forma continua o que se espera que ocurra frecuentemente o durante largos períodos.
- Primario: escape que se espera que ocurra periódica u ocasionalmente durante el funcionamiento normal.
- Secundario: escape que no se espera que se produzca en funcionamiento normal y, que, si ocurre, es probable que lo haga infrecuentemente y durante períodos cortos.

En cuanto al diseño se debe tener cuenta los siguientes aspectos:

- Debe controlarse y vigilarse su funcionalidad.
- Los sistemas de extracción al exterior deberían considerarse la clasificación interior del sistema de aspiración, de los alrededores del punto de descarga en el exterior y de las aberturas del sistema de extracción.

- En la ventilación de áreas peligrosas el aire de ventilación debería tomarse de una zona no peligrosa.
- Antes de determinar las dimensiones y el diseño del sistema debe definirse la localización, el grado de escape y la tasa de escape.

En función de las consideraciones anteriores, se puede determinar el tipo de zona mediante la tabla siguiente (Tabla 10):

**Tabla 10: Zonas según el grado de escape y la efectividad de la ventilación.**

<b>EFFECTIVIDAD DE LA VENTILACIÓN</b>							
<b>Grado de escape</b>	<b>Grados de dilución</b>						
	<b>ALTA</b>			<b>MEDIA</b>			<b>BAJA</b>
	<b>Disponibilidad</b>						
	<b>Buena</b>	<b>Aceptable</b>	<b>Pobre</b>	<b>Buena</b>	<b>Aceptable</b>	<b>Pobre</b>	<b>Buena, Aceptable o pobre</b>
<b>Continuo</b>	(Zona 0 ED) No peligrosa <sup>a</sup>	Zona 2 (Zona 0 ED) <sup>a</sup>	Zona 1 (Zona 0 ED) <sup>a</sup>	Zona 0	Zona 0 + Zona 2	Zona 0 + Zona 1	Zona 0
<b>Primario</b>	No peligrosa (Zona 1 ED) <sup>a</sup>	Zona 2 (Zona 1 ED) <sup>a</sup>	Zona 2 (Zona 1 ED) <sup>a</sup>	Zona 1	Zona 1 + Zona 2	Zona 1 + Zona 2	Zona 1 o Zona 0 <sup>c</sup>
<b>Secundario<sup>b</sup></b>	No peligrosa (Zona 2 ED) <sup>a</sup>	No peligrosa (Zona 2 ED) <sup>a</sup>	Zona 2	Zona 2	Zona 2	Zona 2	Zona 1 e incluso Zona 0 <sup>c</sup>
<sup>a</sup> Zona 0 ED, 1 ED o 2 ED indica una zona teórica que en condiciones normales sería de extensión despreciable. <sup>b</sup> La Zona 2 creada por un escape de grado secundario puede superar la atribuida a escapes de grado continuo o primario, en este caso debería tomarse la distancia mayor. <sup>c</sup> Será Zona 0 si la ventilación es tan débil y el escape es tal que prácticamente la atmósfera de gas explosiva esté presente de manera permanente (es decir, es una situación próxima a la de ausencia de ventilación).							
<b>NOTA 1.</b> “+” significa “rodeada por”. <b>NOTA 2.</b> La disponibilidad de ventilación en espacios encerrados ventilados naturalmente, nunca debe considerarse como buena.							

### 3. Objetivos

Desarrollar un documento de protección contra explosiones durante la carga de baterías.

### 4. Metodología

Para evaluar el riesgo de explosión se va a utilizar la metodología descrita en la norma “UNE-EN 1127-1 Atmósferas explosivas. Prevención y protección contra la explosión. Parte 1: Conceptos básicos y metodología”. En las siguientes tablas se presenta la valoración del riesgo a partir de la frecuencia de ocurrencia y la gravedad del daño.

La frecuencia de ocurrencia se muestra en la tabla 11:

**Tabla 11: Frecuencia de ocurrencia.**

<b>Frecuencia</b>	<b>Probabilidad de presentación</b>
Frecuente	Experiencia continua, suele ocurrir frecuentemente
Probable	Ocurrirá varias veces en la vida útil del aparato o instalación
Ocasional	Puede ocurrir alguna vez en la vida útil del aparato o instalación
Remoto	No es probable, pero razonablemente posible que ocurra
Improbable	Demasiado difícil que ocurra, se puede asumir que no va a pasar

La gravedad del daño se muestra en la tabla 12:

**Tabla 12: Gravedad del daño.**

<b>Severidad</b>	<b>Efectos</b>
Catastrófica	Conlleva muertes y/o pérdida total de la instalación.
Importante	Daños serios, tanto en la instalación como en lesiones personales.
Secundario	Daños menores, tanto en la instalación como en lesiones personales.
Despreciable	Insignificante, consecuencias no relevantes a nivel personal y de instalación.

Para determinar el nivel de riesgo se debe tener en cuenta la probabilidad de que se forme la ATEX y la gravedad de los daños de esta, como se muestra en la tabla 13.

Tabla 13: Frecuencia de materialización por la gravedad de las consecuencias.

Probabilidad	Consecuencias			
	Catastrófico	Importante	Secundario	Despreciable
Frecuente	A	A	A	C
Probable	A	A	B	C
Ocasional	A	B	B	D
Remoto	A	B	C	D
Improbable	B	C	C	D

Nivel de riesgo A: Riesgo intolerable. Parar la actividad hasta reducir el riesgo.  
 Nivel de riesgo B: Riesgo alto. Deben tomarse medidas para reducir el riesgo.  
 Nivel de riesgo C: Riesgo medio. Puede reducirse con medidas organizativas.  
 Nivel de riesgo D: Riesgo aceptable. No se requieren acciones adicionales.

Se deben actuar como se indican en la tabla 14 en función del nivel del riesgo.

Tabla 14: Actuaciones que se deben realizar en función del nivel de riesgo.

Niveles de riesgo	Significado	Consecuencia
A	INTOLERABLE	Conlleva parar la actividad. La instalación no está en condiciones para su uso seguro. Es absolutamente indispensable adoptar medidas de protección adicionales.
B	ALTO	La instalación se puede usar, pero se deben adoptar medidas técnicas de protección contra explosión, para reducir el riesgo.
C	MEDIO	La instalación se puede usar, pero sería aconsejable la adopción de medidas de protección adicionales, de tipo organizativo.
D	ACEPTABLE	No es necesario adoptar medidas adicionales.

Para calcular la ventilación mínima y la extensión de las zonas de riesgo de atmósfera explosiva se ha seguido la norma “UNE-EN 62485-3:2015 Requisitos de seguridad para las baterías e instalaciones de baterías. Parte 3: baterías de tracción” y un manual práctico (Escuer y García, 2005).

Para calcular el caudal de aire de ventilación mínimo se utiliza la siguiente fórmula:

$$Q = v \cdot q \cdot s \cdot n \cdot I_{\text{gas}}$$

Donde:

- Q: es el caudal de aire de ventilación en m<sup>3</sup>/h.
- v: es la disolución de hidrógeno necesaria.  $v = \frac{(100\%-4\%)}{4\%} = 24$
- q: 0,42·10<sup>-3</sup> m<sup>3</sup>/Ah de hidrógeno generado a 0°C.
  - Para otra temperatura se debe multiplicar el dato anterior por  $\frac{T+273}{273}$ , donde T es la temperatura en °C.
- s: es un factor de seguridad general. Se considera un valor de 5.
- n: es el número de elementos.
- I<sub>gas</sub>: es el valor de la corriente de emisión de gas a utilizar para el cálculo del caudal de aire de ventilación.
  - Para cargadores regulados que tengan características de salida independientes de las variaciones de la tensión de la red principal de entrada, y de los que se conoce con certeza el valor exacto de la corriente de carga durante la última parte de la carga, entonces se puede utilizar este valor para I<sub>gas</sub>.
    - ❖ Una batería de tracción de plomo-ácido de 48V formada por 24 elementos se carga desde un cargador regulado que entrega una corriente máxima de 30 A al final de la carga. Por lo tanto, I<sub>gas</sub>= 30 A.
  - Para cargadores no regulados, y en todos los demás casos en los que no se conoce con certeza el valor final de la corriente de carga, I<sub>gas</sub> debe ser igual al 40% de la corriente de salida asignada del cargador I<sub>n</sub>. Siendo I<sub>gas</sub>= 0,4 · I<sub>n</sub>
    - ❖ Una batería de tracción de plomo-ácido de 48V formada por 24 elementos se carga desde un cargador sin regular con unos valores de salida de 48V/100A. Por lo tanto, I<sub>gas</sub>= 0,4·100 A=40 A.

Para calcular la extensión de las zonas de riesgo de atmósfera explosiva (Escuer y García, 2005), se utilizan las siguientes formulas:

$$G_E = 0,006 \cdot a \cdot P \cdot \left(\frac{M}{T}\right)^{1/2}; \text{ Si } P > 2 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$$

$$G_E = 3,95 \cdot a \cdot \left[\frac{M \cdot (P-10^5)}{T}\right]^{1/2}; \text{ Si } P \leq 2 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$$

Donde:

- G<sub>E</sub>: es la tasa de escape de la fuente. Se expresa en masa por unidad de volumen (kg/s).
- a: área transversal (m<sup>2</sup>).
- P: presión aguas arriba (N/m<sup>2</sup>).
- M: masa molar (g/mol).
- T: temperatura absoluta (K).

$$Q_{v \min} = \left(\frac{G_E \max}{k \cdot LIE}\right) \cdot ft$$

Donde:

- $Q_{v \min}$ : es el caudal mínimo en volumen de aire por segundo ( $m^3/s$ ).
- $G_{E \max}$ : es la tasa máxima de escape de la fuente ( $kg/s$ ).
- $K$ : es un coeficiente de seguridad del mayor caudal de ventilación que diluye la concentración hasta  $k$  veces por debajo del LIE. Siendo 0,25 cuando el grado de escape sea continuo y primario; si el grado es secundario será 0,50.
- $F_t$ : es el factor de corrección que tienen en cuenta el efecto de la temperatura ambiente sobre el volumen de la mezcla de atmósfera explosiva.  $f_t = \frac{T}{293}$ ;  $T$  es la temperatura en Kelvin (K).
- LIE: es el Límite Inferior de Explosividad. Se expresa en masa por unidad de volumen ( $kg/m^3$ ).

Conociendo el LIE en porcentaje, puede calcularse en  $kg/m^3$  en condiciones normales con la siguiente fórmula:

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

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

Donde:

- $V_z$ : volumen teórico de la atmósfera explosiva alrededor de la fuente. Se expresa en  $m^3$ .
- 0,03: es el número de cambios de aire por segundo.
- $F_v$ : es la ineficiencia de la ventilación en la dilución de la atmósfera explosiva (Tabla 15 y 16).

Tabla 15: Factor  $f_v$  para ambientes abiertos con ventilación natural.

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

Tabla 16: Factor  $f_v$  para ambientes abiertos con ventilación artificial.

Factor $f_v$	Descripción
1	Ambiente cerrado con libre circulación del aire y práctica ausencia de impedimentos que puedan reducir la capacidad efectiva de dilución de la atmósfera explosiva en el volumen afectado por el escape (ej. local con aberturas de ingreso y salida del aire bien distribuidas que permiten una renovación correcta del aire en todas las partes del local o, cuando se trata de ventilación artificial local)
2	Ambiente cerrado con presencia de algún impedimento a la libre circulación del aire que puede reducir de modo poco significativo su capacidad efectiva de dilución de la atmósfera explosiva (ej. local con diferentes estructuras abiertas o parcialmente cerradas)
3	Ambiente cerrado con presencia de un número medio de impedimentos a la libre circulación del aire que pueden reducir de modo significativo su capacidad efectiva de dilución de la atmósfera explosiva (ej. local con bastantes estructuras abiertas o parcialmente cerradas, o local con ventilación no muy correcta)
4	Ambiente cerrado con presencia de un gran número de impedimentos a la libre circulación del aire que pueden reducir mucho su capacidad efectiva de dilución de la atmósfera explosiva (ej. local con un gran número de estructuras abiertas o parcialmente cerradas o local con fuentes de escape con una reducida cantidad de renovaciones de aire, como pueden ser los emplazamientos no muy elevados con gases ligeros o los fosos poco profundos con gases pesados o local con ventilación incorrecta)
5	Ambiente cerrado con presencia de un grandísimo número de impedimentos a la libre circulación del aire que pueden reducir mucho su capacidad efectiva de dilución de la atmósfera explosiva (ej. local con las fuentes de escape puestas directamente hacia grandes obstáculos o local con mala renovación, como lugares a distinto nivel, elevados o fosos, con serias restricciones al flujo de aire)

$$\text{Radio (r)} = \sqrt[3]{\frac{V}{\frac{4}{3} \cdot \pi}}$$

## 5. Documento de protección contra explosiones durante la carga de baterías

### 5.1. Determinación y evaluación de los riesgos de explosión

Cabe decir, que la generación de hidrógeno es débil durante el inicio de la carga o con la batería en reposo, pero aumenta hacia el final de la carga y especialmente si la batería se sobrecarga (ISSRM, s.f.).

### 5.1.1. Descripción de las zonas de carga

Los cargadores se encuentran repartidos por las instalaciones de la empresa, concretamente, dentro de la nave principal, en el almacén y en zonas exteriores.

Nave principal:

Los cargadores que se encuentran dentro de la nave principal de producción están repartidos por las diferentes zonas que lo comprenden (taller 11, 12/14, 15, 16, 20 y muelle de carga). Esta nave es de estructura metálica y de grandes dimensiones: aproximadamente 150 m de largo, 25 m de ancho y 6 m de alto. En la nave se dispone de ventilación artificial suficiente. Ambas características facilitan la difusión y dilución de los gases producidos durante el proceso de carga.

Cada apiladora dispone de su cargador, ya que cada máquina está destinada a utilizarse dentro de la zona en la que se encuentra el cargador.

En el taller 15 y en el muelle de carga, los cargadores están situados junto al portón utilizado para la carga y descarga de camiones, lo que hace que estas zonas dispongan de ventilación natural. Estas características facilitan más la difusión y dilución de los gases producidos durante el proceso de carga.

Las transpaletas eléctricas de las que disponen en las diferentes secciones de la nave principal de producción se pueden cargar en cualquier enchufe.

Nave de almacén:

El siguiente cargador sirve para cargar una carretilla retráctil y está situado dentro de la nave de almacén, junto al portón de acceso. Dicho portón mide 5 metros de ancho. Esta nave tiene una estructura prefabricada de hormigón y la cubierta es una chapa ondulada metálica tipo sándwich. Las dimensiones de la nave son aproximadamente 30 m de largo, 20 m de ancho y 8 metros de alto. La nave dispone de ventilación natural suficiente y el cargador está situado junto al portón de acceso lo que facilita la difusión y dilución de los gases producidos durante el proceso de carga.

Cabe decir, que este cargador está rodeado por una estructura metálica para protegerlo de posibles choques accidentales por las carretillas.

Zona exterior:

La recarga de las carretillas elevadoras se realiza en el exterior, en varias zonas (junto a la rampa de nave principal, en el muelle lateral).

Los cargadores situados en la zona exterior junto a la rampa de la nave principal están situados en un resalte de la pared y sobre pallets plásticos. Al estar colocados de esta manera hace que los cargadores estén protegidos ante posibles golpes accidentales en la manipulación de las carretillas. Esta zona está protegida por un techado de chapa metálica ondulada y está sostenida por una estructura metálica.

Los cargadores situados en la zona exterior, concretamente en el muelle lateral hay tres cargadores, dos de ellos están colgados en la pared y el otro está colocado sobre un pallet plástico. Esta zona está protegida bajo el saliente del techado de la nave principal.

Todos ellos, al situarse en una zona exterior disponen de suficiente ventilación natural, lo que facilitan la difusión y dilución de los gases producidos durante el proceso de carga.

Todos los cargadores disponen de un cable que se conecta por un lado a las máquinas a cargar (apiladores y carretillas) y por otro a un enchufe del cuadro eléctrico. Los cargadores están situados colgados en la pared, encima de mesas metálicas o sobre algún pallet/plataforma. En las zonas en las que hay cargadores esta señalizada la advertencia de riesgo por atmósferas explosivas.

### **5.1.2. Equipos e instalaciones de carga de baterías**

En la tabla 17, se muestran las características de los cargadores, de los equipos que cargan, de los medios de extinción y de los cuadros eléctricos a los que se conectan.

Tabla 17: Características de las zonas de carga de baterías.

Zona	Nº de cargadores	Cargador	Carga	Maquina a cargar	Tracción	Marcado CE	Medios de extinción	Base colocación cargador	Instalación eléctrica	
Nave de producción	Taller 11	1	Jungheinrich	24V-30A	Apiladora Jungheinrich EJC 212	Batería eléctrica	Sí	Extintor 9 kg ABC 34A/183B/C	Sobre mesa metálica	Cuadro eléctrico con carcasa cerrada
	Taller 12/14	3	Mori Raddriza	12V-10A	Apiladora Lifter HL10EL540	Batería eléctrica	Sí	Extintor 9 kg ABC 34A/183B/C	Sobre mesa metálica	Dos de los cuadros eléctricos están sin tapa
	Taller 15	1	Jungheinrich	24V-30A	Apiladora Jungheinrich EJC 214	Batería eléctrica	Sí	Extintor 9 kg ABC 43A/233B/C	Colgado en la pared	El cuadro eléctrico tiene rotas las tapas de los enchufes
	Taller 16	1	Jungheinrich	24V-30A	Apiladora Jungheinrich EJC 116	Batería eléctrica	Sí	Extintor 9 kg ABC 43A/233B/C	Sobre mesa metálica	Cuadro eléctrico con carcasa cerrada
		1	Jungheinrich	24V-40A	Apiladora Jungheinrich EJC 106	Batería eléctrica	Sí			

Zona		Nº de cargadores	Cargador	Carga	Maquina a cargar	Tracción	Marcado CE	Medios de extinción	Base colocación cargador	Instalación eléctrica
Nave de producción	Taller 16	1	Jungheinrich	24V-50A	Apiladora Jungheinrich (modelo no visible)	Batería eléctrica	Sí	Extintor 9 kg ABC 43A/233B/C	Sobre mesa metálica	Cuadro eléctrico con carcasa cerrada
	Taller 20	1	Mori Raddriza	12V-10A	Apiladora Lifter HL10EL540	Batería eléctrica	Sí	Extintor 2 kg CO <sub>2</sub> 34B	Sobre mesa metálica	Cuadro eléctrico sin carcasa cerrada
	Muelle de carga	1	Jungheinrich	24V-30A	Apiladora Jungheinrich EJC 214	Batería eléctrica	Sí	Extintor 9 kg ABC 34A/183B/C	Colgado en la pared	Cuadro eléctrico sin tapa
		1	Jungheinrich	24V-50A	Apiladora Jungheinrich EJC M10	Batería eléctrica	Sí			
	Repartidas por la nave de producción	-	Cualquier enchufe	-	Transpaleta Jungheinrich AMX-E/TMX-E	Batería eléctrica	Sí	-	-	-
Nave de almacén	1	Jungheinrich	48V-105A	Carretilla retráctil Jungheinrich ETV 112	Batería eléctrica	Sí	Extintor 9 kg ABC 34A/183B/C	Sobre pallet de plástico	Cuadro eléctrico con carcasa cerrada	

Zona		Nº de cargadores	Cargador	Carga	Maquina a cargar	Tracción	Marcado CE	Medios de extinción	Base colocación cargador	Instalación eléctrica
Zona exterior	Junto a rampa de la nave principal	3	Jungheinrich	80V-130A	Carretilla Jungheinrich (modelo desconocido)	Batería eléctrica	Sí	Extintor 5 kg CO <sub>2</sub> 89B (en armario protegido de la intemperie)	Sobre pallet de plástico	Cuadro eléctrico con carcasa cerrada
		1	Zivan NGTOP	80V-150A	Carretilla elevadora (marca y modelo desconocidos)	Batería eléctrica	Sí			
	Muelle lateral 1	2	Jungheinrich	48V-110A	Carretilla Jungheinrich (modelo desconocido)	Batería eléctrica	Sí	Extintor 9 kg ABC 34A/144B/C (en armario protegido de la intemperie)	Colgado en la pared	Cuadro eléctrico con carcasa cerrada
		1	Jungheinrich	24V-70A	Carretilla Jungheinrich (modelo desconocido)	Batería eléctrica	Sí		Sobre pallet de plástico	
	Muelle lateral 2	1	Jungheinrich	48V-110A	Carretilla Jungheinrich (modelo desconocido)	Batería eléctrica	Sí	Extintor 5 kg CO <sub>2</sub> 89B (en armario protegido de la intemperie)	Colgado en la pared	Cuadro eléctrico sin carcasa cerrada

### 5.1.3. Características de las sustancias peligrosas

El producto peligroso que se genera durante la carga de las baterías es el hidrógeno, sus características se muestran en la tabla 18.

Tabla 18: Características del hidrógeno (INSST, 2018).

Nombre sustancia inflamable	Densidad relativa respecto al aire (kg/m <sup>3</sup> )	Punto de inflamación (°C)	Temperatura de autoignición (°C)	Temperatura de ignición (°C)	Volatilidad		LIE (% Vol.)	LSE (% Vol.)	Grupo y clase de temperatura	Observaciones
					Presión de vapor a 25 °C (kPa)	Punto de ebullición (°C)				
Hidrógeno (H <sub>2</sub> )	0,07	Gas inflamable	560	500 – 571	165320	- 253	4	75	IIC T1	H220 (Gas muy inflamable)

#### 5.1.4. Identificación de las fuentes de ignición:

Los posibles focos de ignición existentes en esta empresa y considerados en el presente informe son los que se describen a continuación (Tabla 19):

Tabla 19: Identificación de fuentes de ignición en la empresa.

<b>FUENTE DE IGNICIÓN</b>	<b>EXISTE</b>	<b>ES SIGNIFICATIVA</b>
Superficies calientes	NO	NO
Llama y gases calientes (incluyendo partículas calientes)	NO	NO
Chispas de origen mecánico	NO	NO
Material eléctrico	SI	SI
Corrientes eléctricas parasitas, protección contra la corrosión catódica	NO	NO
Electricidad estática	SI	NO
Rayo (Ver anexo I)	SI	SI
Ondas electromagnéticas de radiofrecuencia (RF), de $10^4$ Hz a $3 \times 10^{12}$ Hz	NO	NO
Ondas electromagnéticas de $3 \times 10^{11}$ Hz a $3 \times 10^{15}$ Hz	NO	NO
Radiación ionizante	NO	NO
Ultrasonidos	NO	NO
Compresión adiabática y ondas de choque	NO	NO
Reacciones exotérmicas, incluyendo la autoignición de polvos	NO	NO

### 5.1.5. Evaluación del riesgo:

A través de la tabla 13, que se encuentra en el apartado 4 de este documento, se determina la gravedad del riesgo. En primer lugar, se ha considerado que la frecuencia de materialización es remota, ya que no es probable que se produzca, aunque razonablemente podría ocurrir una explosión. Por otro lado, los efectos ocasionados por la explosión dentro de las instalaciones y las lesiones ocasionadas en las personas van a ser daños menores, por lo tanto, se considera que tendrían una severidad secundaria. Por lo tanto, el nivel de riesgo es medio, así que en las instalaciones se pueden usar estas estaciones de carga, pero es aconsejable que se adopten medidas de protección adicionales de tipo organizativo. Todo ello se resume en la tabla 20.

Tabla 20: Nivel de riesgo en la empresa.

Fuente de ignición	Frecuencia	Gravedad	Valoración del riesgo
Material eléctrico	Remoto	Secundario	C: riesgo medio

### 5.2. Clasificación de la zona

Esta clasificación se ha llevado de acuerdo con lo que establece el RD 681/2003 en su anexo I.

Se ha obtenido las siguientes extensiones de los emplazamientos peligrosos:

Las baterías se encuentran en las siguientes condiciones atmosféricas:

- Presión atmosférica: 101325 Pa.
- Temperatura ambiente: 20°C.

Las fuentes de escape de las baterías pueden deberse a agujeros en las baterías. Por ello se ha supuesto en estas un orificio de 0,25 mm<sup>2</sup>.

Como la presión es menor de 2 N/m<sup>2</sup>, la fórmula que se debe utilizar para calcular la tasa de escape es la siguiente:  $G_E = 3,95 \cdot a \cdot \left[ \frac{M \cdot (P - 10^5)}{T} \right]^{1/2}$ .

Teniendo en cuenta todo lo anterior, y siguiendo las fórmulas explicadas en el apartado de metodología se obtienen los siguientes resultados:

$$G_E = 3,95 \cdot a \cdot \left[ \frac{M \cdot (P - 10^5)}{T} \right]^{1/2} = 3,95 \cdot 2,5 \cdot 10^{-7} \left[ \frac{2 \cdot (101325 - 10^5)}{293,15} \right]^{0,5} = 2,97 \cdot 10^{-6} \text{ kg/s}$$

$$V_z = \frac{Q_{v \min}}{0,03} \cdot f_v = \frac{3,33 \cdot 10^{-3}}{0,03} \cdot 2 = 2,22 \text{ m}^3$$

$$Q_{v \min} = \left( \frac{G_{E \max}}{k \cdot \text{LIE}} \right) \cdot f_t = \left( \frac{2,97 \cdot 10^{-6}}{0,25 \cdot 0,0036} \right) = 3,33 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$V_z = \frac{Q_{v \min}}{0,03} \cdot f_v = \frac{3,33 \cdot 10^{-3}}{0,03} \cdot 2 = 2,22 \text{ m}^3$$

$$r = \sqrt[3]{\frac{V}{\frac{4}{3} \cdot \pi}} = \sqrt[3]{\frac{0,2217}{\frac{4}{3} \cdot \pi}} = 0,3755 \text{ m}$$

Como el factor  $f_v$  es el mismo valor tanto para emplazamientos con ventilación natural como para emplazamientos con ventilación forzada, la extensión del emplazamiento peligroso es igual tanto para el interior de las naves como para el exterior.

Según la norma “UNE-EN 62485-3:2015: Requisitos de seguridad para las baterías e instalaciones de baterías. Parte 3: Baterías de tracción”, En las cercanías de la batería la dispersión de gases explosivos no está siempre asegurada. Por lo tanto, debe respetarse una distancia de seguridad mínima de 0,50 m dentro de la cual estén prohibidos los aparatos que produzcan chispas o luz (temperatura máxima de la superficie 300°C). Por lo tanto, la extensión de las zonas será mínimo de 0,50 m.

Por lo tanto, teniendo en cuenta todo lo anterior, se ha considerado oportuno que la extensión de los emplazamientos peligrosos sea de 0,50 m.

Teniendo en cuenta las consideraciones que establece la norma “UNE EN 60079-10-1 Atmósferas explosivas. Parte 10-1: Clasificación de emplazamientos. Atmósferas explosivas gaseosas”, se han clasificado los emplazamientos peligrosos de la siguiente manera (Tabla 21, 22 y 23):

Tabla 21: Extensión de la ATEX en la nave principal de producción.

Fuentes de escape			Sustancia inflamable		Ventilación			Emplazamiento peligroso				Categoría de los equipos eléctricos necesarios		
Descripción	Localización	Grado de escape	Temperatura y presión de operación		Estado	Tipo	Grado	Disponibilidad	Tipo de zona 0-1-2	Extensión de la zona en metros				
			°C	kPa						Vertical			Horizontal	
Agujeros de las baterías	En las baterías	C	Ambiente		G	A	VM	Aceptable	0+2	0,25	0,25	0,25	0,25	IIIG

Grado de escape: C: continuo, P: primario, S: secundario.

Estado sustancia: G: gas, L: líquido, GL: gas licuado, S: sólido.

Tipo ventilación: N: natural, A: artificial.

Grado ventilación: VA: ventilación alta, VM: ventilación media, VB: ventilación baja.

Tabla 22: Extensión de la ATEX en la nave de almacén.

Fuentes de escape			Sustancia inflamable		Ventilación			Emplazamiento peligroso				Categoría de los equipos eléctricos necesarios		
Descripción	Localización	Grado de escape	Temperatura y presión de operación		Estado	Tipo	Grado	Disponibilidad	Tipo de zona 0-1-2	Extensión de la zona en metros				
			°C	kPa						Vertical			Horizontal	
Agujeros de las baterías	En las baterías	C	Ambiente		G	N	VM	Aceptable	0+2	0,25	0,25	0,25	0,25	IIIG

Grado de escape: C: continuo, P: primario, S: secundario.

Estado sustancia: G: gas, L: líquido, GL: gas licuado, S: sólido.

Tipo ventilación: N: natural, A: artificial.

Grado ventilación: VA: ventilación alta, VM: ventilación media, VB: ventilación baja.

Tabla 23: Extensión de la ATEX en la zona exterior.

Fuentes de escape			Sustancia inflamable		Ventilación			Emplazamiento peligroso			Categoría de los equipos eléctricos necesarios	
Descripción	Localización	Grado de escape	Temperatura y presión de operación		Estado	Tipo	Grado	Disponibilidad	Tipo de zona 0-1-2	Extensión de la zona en metros		
			°C	kPa						Vertical		Horizontal
Agujeros de las baterías	En las baterías	C	Ambiente		G	N	VM	Buena	0	Semiesfera de 0,5 m de radio a partir de los vasos de la batería.		IIIG

Grado de escape: C: continuo, P: primario, S: secundario.  
 Estado sustancia: G: gas, L: líquido, GL: gas licuado, S: sólido.  
 Tipo ventilación: N: natural, A: artificial.  
 Grado ventilación: VA: ventilación alta, VM: ventilación media, VB: ventilación baja.

Durante la recarga de las baterías de las apiladoras, carretillas y transpaletas eléctricas se generan gases desde las baterías que se están recargando, estos pasan al ambiente. Entre dichos gases se encuentra el hidrógeno que tiene capacidad de crear una atmósfera explosiva. Debido a la gran ligereza de este gas, asciende y se difunde a las partes altas.

Por ello, se clasifica en las siguientes zonas los distintos emplazamientos de la empresa:

La nave principal de producción y almacén se clasifica como zona 0 + 2, su extensión es una semiesfera de 0,50 m de radio a partir de los vasos de la batería (el radio obtenido se reparte entre las dos zonas, siendo la extensión de cada una de 0,25 m).

La zona exterior se clasifica como zona 0 con una extensión de una semiesfera de 0,50 m de radio a partir de los vasos de la batería.

También se ha calculado el caudal de aire de ventilación mínimo que debe haber en cada emplazamiento peligroso con la fórmula explicada en el apartado de metodología. Teniendo en cuenta la temperatura ambiente la fórmula a aplicar queda de la siguiente forma:

$$Q = 24 \cdot \left( 0,42 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{20 + 273}{273} \right) \cdot 5 \cdot n \cdot I_{\text{gas}} = 0,541 \cdot n \cdot I_{\text{gas}}$$

Por lo tanto, la ventilación mínima que debe haber en cada zona es la siguiente (Tabla 24):

Tabla 24: Ventilación mínima en cada zona de riesgo con ATEX.

Zona		Nº de cargadores	Cargador	Voltaje (V)	Salida batería (A)	nº elementos	I <sub>gas</sub> (A)	Q (m <sup>3</sup> /h)	Q <sub>media</sub> (m <sup>3</sup> /h)
Nave de producción	Taller 11	1	Jungheinrich	24	30	12	12	7,79	7,79
	Taller 12/14	3	Mori Raddriza	12	10	6	4	1,30	
	Taller 15	1	Jungheinrich	24	30	12	12	7,79	
	Taller 16	1	Jungheinrich	24	30	12	12	7,79	
		1	Jungheinrich	24	40	12	16	10,39	
		1	Jungheinrich	24	50	12	20	12,98	
	Taller 20	1	Mori Raddriza	12	10	6	4	1,30	
	Muelle de carga	1	Jungheinrich	24	30	12	12	7,79	
		1	Jungheinrich	24	50	12	20	12,98	
	Repartidas por la nave de producción	-	Cualquier enchufe	12	-	6	-	-	
Nave de almacén		1	Jungheinrich	48	105	24	42	54,53	54,53

Zona		N° de cargadores	Cargador	Voltaje (V)	Salida batería (A)	n° elementos	I <sub>gas</sub> (A)	Q (m <sup>3</sup> /h)	Q <sub>media</sub> (m <sup>3</sup> /h)
Zona exterior	Junto a rampa de la nave principal	3	Jungheinrich	80	130	40	52	112,51	74,95
		1	Zivan NGTOP	80	150	40	60	129,82	
	Muelle lateral 1	2	Jungheinrich	48	110	24	44	57,12	
		1	Jungheinrich	24	70	12	28	18,18	
	Muelle lateral 2	1	Jungheinrich	48	110	24	44	57,12	

### 5.3. Adopción de medidas y elementos de seguridad:

Las medidas preventivas y de protección que cumple esta empresa según exige el anexo 2 del RD 681/2003 son las que se exponen a continuación:

Tabla 25: Medidas adoptadas por la empresa.

Medida		Si	No	NP
Medidas organizativas	Formación e información de los trabajadores que trabajen en áreas donde pueden formarse atmósferas explosivas.		X	
	Existen instrucciones de trabajo por escrito		X	
	Existen permisos y/o instrucciones de trabajo que autoricen la ejecución de trabajos peligrosos <sup>(*)</sup> .		X	
Medidas de protección contra las explosiones	Los escapes o liberación, intencionados o no, son desviados, evacuados, contenidos o controlados.			X
	Las medidas de protección se ajustan a la sustancia de mayor riesgo potencial			X
	Se utiliza calzado antiestático y ropa de trabajo adecuada hecha de materiales que no den lugar a descargas electrostáticas.	X		
	Las instalaciones, aparatos, sistemas de protección y conexiones son clasificadas de acuerdo con el Real Decreto 144/2016 (ATEX).			X
	Existen medidas para asegurarse que los equipos de trabajo y sus conexiones se mantienen y utilizan de forma que reduzcan al máximo los riesgos de explosión.		X	
	Existe señalización óptica o acústica de alarma.	X		
	Existen salidas de emergencia que faciliten la salida de los trabajadores.	X		
	Se verifica la seguridad general contra explosiones, es decir, se mantienen todas las condiciones necesarias para garantizar la protección contra explosiones.		X	
	En caso de corte de energía, los sistemas de protección (detectores de gases, sistemas de ventilación, sistemas de control) se mantienen en situación de funcionamiento seguro.			X
	Existe posibilidad de desconexión manual de aparatos y sistemas de protección incluidos en procesos automáticos que se aparten de las condiciones de funcionamiento previstas.	X		

Medida		Si	No	NP
Medidas de protección contra las explosiones	Los trabajadores tienen una cualificación adecuada y suficiente, para realizar la desconexión manual de aparatos y sistemas de protección y actuar en casos de funcionamiento imprevisto.	X		
	La energía almacenada se disipa de manera rápida y segura al accionar los dispositivos de desconexión de emergencia o se aísla para que deje de constituir un peligro	X		
NP: No procede				

(\*) En caso de que se realicen trabajos peligrosos en la zona de influencia, se entiende que se adoptarán las precauciones necesarias.

Por lo tanto, las medidas que se recomiendan para evitar el riesgo de incendio/explosión son las siguientes:

- Para evitar las fuentes de ignición (material eléctrico), se delimitará una zona donde aparcar las máquinas a cargar. Para ello, se conectará con su cable a más de 0,50 metros del cuadro eléctrico de la instalación, para facilitar esto se debe señalar mediante líneas en el suelo la zona de aparcamiento.
- Para las transpaletas se debe establecer un lugar fijo donde se carga la batería y establecer la medida anterior. Además, se señalará la zona ATEX y debería de haber algún medio de extinción cerca de esta zona de carga de batería.
- Establecer un procedimiento de revisión del estado de los equipos a cargar, de las estaciones de carga, de las conexiones y de la ventilación. Este debe recoger la periodicidad con la que se debe realizar y como proceder en caso de que estos no se encuentren en buen estado.
- Establecer permisos de trabajo para empresas externas, que autoricen la ejecución de trabajos peligrosos.
- Redactar una instrucción de trabajo de cómo deben proceder para realizar correctamente la carga de baterías.
- Dar formación e información a los trabajadores de los riesgos que conllevar realizar la operación de cargar de batería y como deben realizarlo de forma segura.
- Incluir como actuar en caso de que se dé una explosión en el plan de emergencias contra incendios.

### 5.3.1. Planificación de la adopción de medidas

En este apartado se reflejan los riesgos y la propuesta de medidas correctoras que deberán realizarse. En ella, se deberán determinar los medios humanos y materiales, así como la asignación de recursos económicos (artículo 9, RD 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención).

Se recomienda que se planifiquen dichas medidas en función de la prioridad asignada.

1. Prioridad inmediata: situación de riesgo inminente. Debe subsanarse con carácter inmediato.

2. Prioridad alta: son situaciones de riesgo grave que deben ser subsanadas a la mayor brevedad posible.
3. Prioridad media: representa situaciones de riesgo que deben ser subsanadas.
4. Prioridad baja: la probabilidad de que cause un accidente es baja. No es una situación de riesgo grave.

En la tabla 26, se muestra una propuesta de la planificación de las acciones que deben llevar a cabo en la empresa.

Tabla 26: Planificación de medidas adoptadas en la empresa.

Riesgo/aspecto deficiente	Prioridad	Medida propuesta	Fecha prevista aplicación	Presupuesto	Fecha de realización	Responsable
No está establecido la zona de aparcamiento de las máquinas a cargar separados de las posibles fuentes de ignición	MEDIA	Se establecerá una zona de aparcamiento para la recarga de los equipos. Se señalará su ubicación con líneas pintadas en el suelo				
En algún caso se aprecian materiales sin uso en la zona de carga.	MEDIA	Retirar y en su caso ordenar los materiales de la zona de carga. Retirar cualquier objeto sobre los cargadores.				
Falta de señalización de advertencia en zonas dónde pueden formarse atmósferas explosivas en la zona de carga de las transpaletas	MEDIA	Señalización de las zonas ATEX. Como establece el RD 485/1997.				
En el taller 20 el cuadro eléctrico donde se enchufa el cargador no está cerrado y tiene rotos varios pilotos. Además, el enchufe donde se conecta el cargador es un enchufe múltiple sin carcasa	MEDIA	Cerrar cuadro eléctrico. Retirar enchufe múltiple sin carcasa y colocar un enchufe con carcasa IP 54 o superior. Reparar luces señalizadoras.				

<b>Riesgo/aspecto deficiente</b>	<b>Prioridad</b>	<b>Medida propuesta</b>	<b>Fecha prevista aplicación</b>	<b>Presupuesto</b>	<b>Fecha de realización</b>	<b>Responsable</b>
En el taller 12/14, el cuadro eléctrico donde se enchufa el cargador no tiene tapa.	MEDIA	Reparar cuadro eléctrico de manera que tengan tapa.				
En el taller 15, varios de los enchufes del cuadro eléctrico donde se enchufa el cargador no tienen tapa.	MEDIA	Cambiar los enchufes por otros con carcasa y tapa IP 54 o superior.				
En el muelle de carga, el cuadro eléctrico no tiene tapa.	MEDIA	Colocar tapa en el cuadro eléctrico.				
Falta de permisos para trabajar en zonas donde pueden formarse atmósferas explosivas	MEDIA	Establecer permisos de trabajo para empresas externas, que autoricen la ejecución de trabajos peligrosos. Ver anexo II.				
Falta de instrucción de trabajo para zonas donde pueden formarse atmósferas explosivas	MEDIA	Redactar una instrucción de trabajo de cómo proceder para realizar correctamente la carga de baterías. Ver anexo III.				
Falta de un procedimiento de revisión del estado de los equipos a cargar, de las conexiones y de la ventilación	MEDIA	Establecer un procedimiento de revisión del estado de los equipos a cargar, de las conexiones y de la ventilación. Ver anexo V.				

<b>Riesgo/aspecto deficiente</b>	<b>Prioridad</b>	<b>Medida propuesta</b>	<b>Fecha prevista aplicación</b>	<b>Presupuesto</b>	<b>Fecha de realización</b>	<b>Responsable</b>
Falta de información de los trabajadores que pueden acceder a una zona ATEX	BAJA	Dar información a los trabajadores que trabajen en áreas donde pueden formarse atmósferas explosivas. Ver anexo IV.				
Falta incluir en el plan de emergencias contra incendios, las actuaciones a seguir en caso de que se dé una explosión	MEDIA	Incluir en el plan de emergencias contra incendios, las actuaciones a seguir en caso de que se produzca una explosión.				

Las modificaciones, ampliaciones o transformaciones importantes en el lugar de trabajo, en los equipos de trabajo o en la organización del trabajo implican la actualización del presente documento.

## 5. Discusión

Las medidas que se deben tomar son las siguientes (ISSRM, s.f.):

- Evitar cualquier fuente de chispa, ya sea originada por la propia batería o por agentes externos. Además, las operaciones de soldadura con llama están prohibidas y deben realizarse alejados de la zona de carga.
- Las carretillas o vehículos que cargar deben disponer de una zona de aparcamiento señalizada y permanecer con el freno de mano aplicando antes de realizar las operaciones de carga de batería.
- Para evitar alcanzar una concentración superior al 4% (vol.) en las zonas de carga, se debe garantizar una ventilación adecuada.
- Señalizar las zonas ATEX como indica el RD 485/1997.
- Todo el personal que realice operaciones de carga de baterías debe estar formado e informado sobre los riesgos a los que está expuesto.
- Disponer de un protocolo de actuación seguro, que indique de manera precisa, el orden de las operaciones a realizar durante los procesos de conexión y desconexión de las baterías y de comprobación del proceso de carga.
- El Plan de emergencias contra incendios debe contemplar cómo se debe actuar en caso de que se produzca una atmósfera explosiva.

Todas estas medidas se han contemplado dentro del documento de protección contra explosiones elaborado.

## 6. Conclusiones

Tras realizar la evaluación de riesgos de este emplazamiento se ha llegado a la conclusión de que realizar la carga de baterías tiene un riesgo medio de que se produzca una explosión.

La clasificación de las zonas ATEX en la nave principal de producción y almacén se clasifican como zona 0 + 2 y su extensión es una semiesfera de 0,50 m de radio a partir de los vasos de la batería (el radio obtenido se reparte entre las dos zonas, siendo la extensión de cada una de 0,25 m). Y la zona exterior se clasifica como zona 0 con una extensión de una semiesfera de 0,50 m de radio a partir de los vasos de la batería.

Para evitar que se produzca una explosión se deben tomar las siguientes medidas:

- Asegurar que la ventilación es adecuada para que se disipen los gases inflamables. Para ello, la ventilación mínima en la nave principal de producción debe ser de 7,79 m<sup>3</sup>/h, en el almacén 54,53 m<sup>3</sup>/h y en el exterior 74,95m<sup>3</sup>/h.
- Evitar las fuentes de ignición, para ello se delimitará una zona de aparcamiento de las máquinas a cargar, a un mínimo de 0,50 m del cuadro eléctrico.
- Establecer procedimientos de revisión del estado de los equipos a cargar, de las estaciones de carga, de las conexiones y de la ventilación. Si se encuentra alguna deficiencia se debe planificar su reparación.

- Establecer autorizaciones para trabajadores de empresas externas, que vayan a realizar trabajos en estas zonas.
- Realizar un procedimiento de trabajo para la carga de baterías.
- Dar formación e información a los trabajadores.
- Incluir en el plan de emergencias contra incendios, como actuar en caso de explosión.

## 7. Bibliografía

AENOR (2008). *UNE-EN 1127-1: Atmósferas explosivas. Prevención y protección contra la explosión. Parte 1: conceptos básicos y metodología*. Madrid: AENOR.

AENOR (2015). *UNE-EN 62485-3:2015 Requisitos de seguridad para las baterías e instalaciones de baterías. Parte 3: Baterías de tracción*. Madrid: AENOR.

AENOR (2018). *UNE-EN 60079-10-1:2010 Atmósferas explosivas. Parte 10-1: Clasificación de emplazamientos. Atmósferas explosivas gaseosas*. Madrid: AENOR.

Cantalejo García, M. (2009). *Fuentes de ignición. Electricidad estática*. [Recuperado el 6 de diciembre de 2020 de: <https://www.insst.es/documents/94886/214929/Fuentes+de+ignicion.pdf/85287b8e-477b-4086-9749-0d9ae1e5e7ce>]

Escuer Ibars, F. y García Torrent, J. (2005). *Manual práctico: clasificación de zonas en atmósferas explosivas*. Barcelona: Colegio de Ingenieros Técnicos Industriales de Barcelona.

Esparza, F. (2002). *El fuego o combustión*. [Recuperado el 23 de noviembre de 2020 de: <http://www.bomberosdenavarra.com/index.php?m=56&id=7&pagina=1>].

Gobierno de Extremadura (s.f.). *Instrucciones de seguridad en la utilización de baterías*. [Recuperado el 26 de diciembre de 2020 de: <http://www.sgtex.es/documentos/Fichas-P/16%20-%20Instrucciones%20de%20seguridad%20en%20la%20utilizaci%C3%B3n%20de%20Bater%C3%ADas.pdf>]

ISSRM (Instituto de Seguridad y Salud Laboral de la Región de Murcia) (s.f.). *Seguridad en los locales de carga de baterías de acumuladores eléctricos de plomo-ácido sulfúrico*. [Recuperado el 4 de diciembre de 2020 de: [https://www.carm.es/web/pagina?IDCONTENIDO=7064&IDTIPO=100&RESULTADO\\_INFERIOR=21&RESULTADO\\_SUPERIOR=30&RASTRO=c721\\$m4580,9801](https://www.carm.es/web/pagina?IDCONTENIDO=7064&IDTIPO=100&RESULTADO_INFERIOR=21&RESULTADO_SUPERIOR=30&RASTRO=c721$m4580,9801)]

INSHT (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo) (2008). *Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos derivados de atmósferas explosivas en el lugar*. Madrid: INSHT.

INSHT (2009). *Guía Técnica sobre señalización de seguridad y salud en el trabajo*. Madrid: INDHT.

INSST (s.f.). *¿Qué es una explosión?* [Recuperado el 9 de diciembre de 2020 de: <https://www.insst.es/-/que-es-una-explosion->]

INSST (2018). *Hidrógeno*. [Recuperado el 1 de diciembre de 2020 de: [https://www.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p\\_card\\_id=1&p\\_edit=&p\\_version=2&p\\_lang=es](https://www.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p_card_id=1&p_edit=&p_version=2&p_lang=es)]

Jungheinrich (s.f.). *Instrucciones de servicio del modelo ETM/V 110/112/114/116*. [Recuperado el 26 de diciembre de 2020 de: <https://transfer.jungheinrich.de/betriebsanleitungen/50047424.pdf>]

Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de prevención de riesgos laborales. *BOE n° 269*, de 10 de noviembre de 1995, pp. 32590 a 32611.

Ley 38/1999, de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación. *BOE n° 266*, de 6 de noviembre de 1999.

Presman (s.f.). *¿Qué es el triángulo del fuego?* [Recuperado el 24 de noviembre de 2020 de: <https://www.extintorespresman.es/triangulo-del-fuego/>]

Real Decreto 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención. *BOE n° 27*, de 31 de enero de 1997.

Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación. *BOE n° 74*, de 28 de marzo de 2006, pp. 11816-11831.

Real Decreto 486/1997, de 14 de abril, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo. *BOE n° 97*, de 23 de marzo de 1997.

Real Decreto 681/2003, de 12 de junio, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores expuestos a los riesgos derivados de atmósferas explosivas en el lugar de trabajo. *BOE n° 145*, de 18 de junio de 2003, pp. 23341-23345.

San Segundo Robles, C. (2015). *Riesgos de mantenimiento y carga de baterías y sus medidas de prevención*. [Recuperado el 26 de diciembre de 2020 de: <https://docplayer.es/12630366-Riesgos-de-mantenimiento-y-carga-de-baterias-y-sus-medidas-de-prevencion.html>]

Vásquez, J. (s.f.). *Unidad 1: el fuego*. [Recuperado el 24 de noviembre de 2020 de: <https://sites.google.com/site/teoriadelfuegojvgv/proceso>]

## **Anexo I: Normativa de pararrayos.**

El Código Técnico de la Edificación (CTE) es el marco normativo que establece las exigencias que deben cumplir los edificios en relación con los requisitos básicos de seguridad y habitabilidad establecidos en la Ley 38/1999 de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación (LOE). Es de aplicación en obras de edificación de nueva construcción, obras de ampliación, modificación, reforma o rehabilitación, cambio de actividad o uso del edificio existente.

En la sección de utilización y accesibilidad nº8 (SU 8) “Seguridad frente al riesgo causado por la acción del rayo”, indica la obligatoriedad de instalar dispositivos para la protección externa contra el rayo, en función del índice de riesgo de la instalación a proteger.

Además, en su anejo B en el B 2.1. indica que “siempre que se instale un pararrayos es obligatorio disponer de un sistema de protección interno comprendido por dispositivos que reducen los efectos eléctricos y magnéticos de la corriente de descarga atmosférica del espacio a proteger”.

## Anexo II: Autorización de trabajo.

En este anexo se muestra el modelo de permiso para efectuar trabajos en emplazamientos ATEX (Tabla 27).

Tabla 27: Modelo permiso para efectuar trabajos en emplazamientos con ATEX (INSHT, 2008).

<b>Permiso para efectuar trabajos en emplazamiento con atmósfera explosiva</b>			
Fechas de inicio:		Fecha de fin:	
Emplazamiento y/o instalación:			
Responsable de los trabajos:			
Trabajo, tarea u operación a realizar en el emplazamiento:			
Riesgos específicos	<input type="checkbox"/>		
	<input type="checkbox"/>		
	<input type="checkbox"/>		
Riesgos indirectos (interacción con otras operaciones)	<input type="checkbox"/>		
	<input type="checkbox"/>		
	<input type="checkbox"/>		
Medidas preventivas adoptadas	<input type="checkbox"/>		
	<input type="checkbox"/>		
	<input type="checkbox"/>		
EPIs a utilizar	<input type="checkbox"/>		
	<input type="checkbox"/>		
	<input type="checkbox"/>		
Personal que interviene en el trabajo	<input type="checkbox"/>	D/D <sup>a</sup>	Fdo.:
	<input type="checkbox"/>	D/D <sup>a</sup>	Fdo.:
	<input type="checkbox"/>	D/D <sup>a</sup>	Fdo.:
	<input type="checkbox"/>	D/D <sup>a</sup>	Fdo.:
Personal de relevo de turno/extensión de turno	<input type="checkbox"/>	D/D <sup>a</sup>	Fdo.:
	Fecha y hora del relevo/extensión:		
	<input type="checkbox"/>	D/D <sup>a</sup>	Fdo.:
	Fecha y hora del relevo/extensión:		
<p>Todos los arriba firmantes aceptan, confirma y comprenden los riesgos, medidas preventivas y equipos de protección individual aplicables al trabajo cubierto por este permiso.</p> <p><input type="checkbox"/> Trabajos realizados.</p> <p><input type="checkbox"/> Instalación comprobada.</p> <p><input type="checkbox"/> Comprobación y reanudación del servicio en el emplazamiento de realización de los trabajos.</p> <p><input type="checkbox"/> Anomalías detectadas:</p> <p>Descripción de las anomalías detectadas:</p> <p>Referencia del parte de anomalías (si existe):</p> <p><input type="checkbox"/> Permiso cancelado.</p>			
Firma del responsable de los trabajos:			

### **Anexo III: Procedimiento de trabajo.**

En este anexo, se muestra un procedimiento para recarga de baterías.

El procedimiento de trabajo que se debe seguir para realizar la carga de baterías de carretillas, transpaletas y apiladoras, es el siguiente (ISSRM, s.f.):

1. Cerciorarse de que la máquina a cargar (carretilla, transpaleta, apiladora...), está aparcada dentro de su espacio delimitado para ello y que tiene el freno puesto.
2. Asegurarse de que la superficie de la batería y de la estación de carga no tiene encima ningún objeto.
3. Verificar que no hay ningún daño visible en la batería, en el cuadro eléctrico y en las conexiones eléctricas.
4. Mirar que el nivel del electrolito de la batería sea adecuado, si no es así rellenarlo con agua destilada o desmineralizada.
5. Poner la batería al descubierto, para garantizar una ventilación suficiente.
6. Unir el cable de carga de la estación de carga de baterías con el enchufe de batería.
7. Enchufar el cable de la estación de carga a la red eléctrica y se pone la estación de carga en “ON”.
8. Una vez completada la carga, se pone la estación de carga en “OFF” y se desenchufa la estación de carga de la red eléctrica.
9. Se separa la conexión de la estación de carga de la batería con el enchufe de la batería.
10. Se vuelve a tapar la batería.
11. En caso de necesitar interrumpir la carga se seguirá el paso 8 y 9.

## Anexo IV: Información para los trabajadores.

En este anexo se va mostrar la información que se debe facilitar a los trabajadores en materia de atmósferas explosivas.

Los principales riesgos que se presentan en las operaciones de recarga de baterías son los siguientes (Gobierno de Extremadura, s.f.; San Segundos, 2015):

- Riesgos de explosión: por la liberación de hidrógeno.
  - El hidrógeno está presente en las baterías incluso en reposo.
  - Este es un gas inflamable con una velocidad alta de combustión y muy baja energía de ignición, esto hace que una minúscula chispa produzca la ignición inmediata de este gas.
  - Las fuentes de ignición más habituales son las siguientes:
    - ❖ Cortocircuitos por el deficiente estado de la batería.
    - ❖ Electricidad estática.
    - ❖ Sobrecarga de las baterías o carga insuficiente.
    - ❖ Dejar herramienta o material metálico encima de la batería.
- Riesgo de contacto eléctrico: por la presencia de corriente eléctrica.
  - El contacto eléctrico es el riesgo producido por el contacto del trabajador con partes que están en tensión.
  - En el caso de las baterías puede producirse en el momento de la carga, si se tocan al mismo tiempo dos o más terminales con algún objeto metálico capaz de conducir la electricidad.
- Riesgo de quemadura químicas: debido a la salpicadura de ácido sulfúrico.
  - El riesgo de quemadura química existe por el ácido sulfúrico presente en el electrolito.
- Riesgo de inhalación de vapores: debido al ácido sulfúrico.
  - Debido al ácido sulfúrico presente en el electrolito.

Las medidas de seguridad en la recarga de baterías son las siguientes (Gobierno de Extremadura, s.f.; San Segundos, 2015):

- Mantener bien ventilada la zona de carga de baterías.
- Durante la carga de las baterías se deben seguir las instrucciones indicadas por el fabricante.
- Durante la carga y descarga las celdas se mantendrán cerradas con sus tapones.
- No acercar ninguna llama o chispa a la batería.
- No dejar objetos metálicos encima de la batería. No llevar anillos, cadenas, relojes u otro objeto metálico.
- Las herramientas que se utilicen deberán ser antichispas.
- Se debe disponer de ropa adecuada (Figura 7) y equipos de protección (Figura 8, 9 y 10). Además, se debe señalar el uso de equipos de protección.



Figura 7: Señal de uso obligatorio de ropa de trabajo (INSHT, 2009).



Figura 8: Señal de uso obligatorio de protección de los pies (INSHT, 2009).



Figura 9: Señal de uso obligatorio de protección de la vista (INSHT, 2009).



Figura 10: Señal de uso obligatorio de protección de las manos (INSHT, 2009).

- En caso de derrame, se neutralizara el electrolito con productos adecuados (tal y como indique la ficha de seguridad) y los restos generados se trataran de manera adecuada.
- Las abrazaderas de los bornes deben estar adecuadamente apretadas y cubiertas con una ligera capa de grasa.
- Debe evitarse la sobrecarga o carga insuficiente revisando y ajustando el regulador de corriente.
- Antes de conectar o desconectar las conexiones de los bornes se debe interrumpir el circuito de carga.
- Si se utilizan pinzas debe conectarse primero el polo positivo y luego el negativo. En la desconexión actuar en sentido inverso, primero el negativo y luego el positivo.
- En las zonas de recarga de baterías, se señalará el riesgo de material inflamable (Figura 11) y la prohibición de generar fuego (Figura 12), con el fin de evitar el riesgo de incendio o explosión.



Figura 11: Señal de materias inflamables (INSHT, 2009).



Figura 12: Señal de prohibido encender fuego (INSHT, 2009).

- Se indicara en las instalaciones de recarga, que es una zona ATEX con riesgo de explosión (Figura 13).



Figura 13: Señal de atmósferas explosivas (INSHT, 2009).

- Estas operaciones se realizan solo por personal autorizado (Figura 14), y se prohibirá al resto, se indicará el riesgo de contacto eléctrico (Figura 15).



Figura 14: Señal de entrada prohibida a personas no autorizadas (INSHT, 2009).

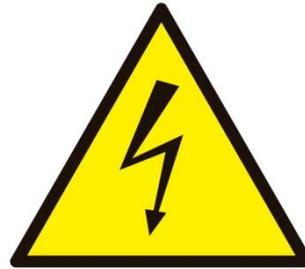


Figura 15: Señal de riesgo eléctrico (INSHT, 2009).

- Se dispondrá en las cercanías de un extintor de CO<sub>2</sub>, y/o polvo polivalente, que estará señalizado y siempre ha de ser accesible (Figura 16).



Figura 16: Señal de extintor (INSHT, 2009).

- Las luminarias y equipos eléctricos deberán estar protegidas contra efectos de vapores y gases. Deberán soportar el ambiente corrosivo. Instalación eléctrica adecuada según zonas ATEX.
- Los vapores evacuados no deben penetrar en locales contiguos.

## **Anexo V: Procedimiento de revisión del estado de los equipos.**

En este anexo se indica un procedimiento de revisión del estado de los equipos a cargar, de las estaciones de carga y de las conexiones

Las siguientes acciones se realizarán de manera trimestral (Jungheinrich, s.f.):

- Comprobar eventuales daños del cable de batería y si es necesario cambiarlo.
- Comprobar el enclavamiento del carro de batería, su ajuste y su funcionamiento.
- Comprobar la densidad y el nivel de ácido y tensión entre los elementos.
- Comprobar el asiento fijo de bornes y engrasarlos con grasa para bornes.
- Limpiar las conexiones de enchufe de batería y controlar su asiento fijo.
- Comprobar que las tapas de los cuadros eléctricos se encuentran en buen estado y que se encuentran.
- Comprobar que las conexiones de los cuadros eléctricos (los enchufes, las luces indicadoras, etc.) se encuentran en buen estado.

Las siguientes acciones se realizarán de forma mensual:

- Comprobar de forma visual que las estaciones de carga no han sido golpeadas.
- Comprobar de forma visual que las baterías de las máquinas que se cargan no tienen la carcasa rota.

Las siguientes acciones se realizarán de forma diaria:

- Comprobar que la ventilación funciona correctamente.