

SynPhos

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE FOSGENO

PROYECTO DE FIN DE GRADO

INGENIERÍA QUÍMICA

Jaume Beà Galvez
Héctor Cazorla Orpí
Carles Lapeña March
Ainara López Agudo
Germán Vegas Montoya

TUTOR:
Oscar Guerrero Sodric

Febrero 2025

UAB
Universitat Autònoma
de Barcelona

Enginyeria
UAB



SynPhos

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE FOSGENO

PROYECTO DE FIN DE GRADO

INGENIERÍA QUÍMICA

CAPÍTULO 5: SEGURIDAD E HIGIENE

UAB
Universitat Autònoma
de Barcelona

Enginyeria
UAB

Índice

5.1. Introducción	3
5.2. Identificación de las zonas	3
5.3. Clasificación de las sustancias químicas	4
5.3.1. Clasificación general	4
5.3.1.1. Peligro físico	4
5.3.1.2. Peligros para la salud	8
5.3.1.3. Peligro para el medio ambiente	10
5.4. Fichas de Seguridad	11
5.5. Envasado	12
5.6. Etiquetado	13
5.7. Clasificación de los productos en la instalación	13
5.8. Almacenamiento de productos químicos	24
5.8.1. Almacenamiento de productos químicos (caso particular)	25
5.8.2. Carbón activo	26
5.8.3. Hidróxido de sodio	28
5.8.4. R-717	29
5.8.5. Cloro	30
5.8.6. APQ General	30
5.9. Protección contra incendios	31
5.9.1. Tipos de protecciones	32
5.9.2. Equipos de protección pasiva	32
5.9.3. Equipos de protección activa	33
5.9.4. Sistema de protección contra incendios de la planta	34
5.10. Zonas ATEX	36
5.10.1. Etiquetado ATEX	37
5.11. Salud e higiene	40
5.11.1. Identificación y gestión de riesgos generales	40
5.11.2. Protocolos integrados de higiene industrial	41

5.11.3. Vigilancia de la salud	41
5.11.4. Capacitación y sensibilización	42
5.11.5. Coordinación de actividades empresariales.....	42
5.11.6. Indicadores de rendimiento en salud e higiene	42
5.12. Equipos de protección individual (EPIs)	43
5.13. Señalización	45
5.13.1. Tipos de Señalización de Seguridad.....	45
5.13.3. Ubicación y Mantenimiento	48
5.14. Plan de actuación de emergencia	48
5.14.1. Identificación de situaciones de emergencia	49
5.14.2. Protocolos de actuación	49
5.14.3. Coordinación con servicios externos.....	50
5.14.4. Capacitación y formación en emergencias.....	51
5.14.5. Evaluación y mejora continua	51
5.14.6. Gestión post emergencia.....	52
5.15. Análisis de riesgos.....	52
5.15. Bibliografía.....	93

5. Seguridad e higiene

5.1. Introducción

Una de las partes más importantes al desarrollar un proyecto, especialmente en una planta química, es definir los parámetros de seguridad e higiene bajo los cuales operará la instalación. Esto es esencial para garantizar el bienestar de los trabajadores durante la operación de la planta. Por lo tanto, en este apartado se identificarán y evaluarán los riesgos potenciales, y se establecerán contramedidas para prevenir o mitigar dichos riesgos.

Debido a las materias primas utilizadas y producto creado en la sección de la planta química, las medidas de seguridad deberán ser rigurosas y el mantenimiento de todo equipo utilizado deberá ser periódico.

Para facilitar las acciones correctoras en caso de accidente se identificarán todas las zonas de dicha sección. De tal forma se prevé que se puede actuar de forma rápida y efectiva al saber con qué productos se trabajan en cada zona.

Asimismo, se clasificarán todos los productos con los que se trabaje para informar al operario de los riesgos que conlleva su manipulación para posteriormente la entrega de EPIs (equipos de protección individual) correspondientes para poder trabajar de forma correcta y eficiente.

5.2. Identificación de las zonas

En este apartado se procede a clasificar todas las zonas existentes en la planta química:

Tabla 5.1. Identificación de las diferentes zonas de la planta.

Código área	Descripción
A-100	Pretratamiento
A-200	Reacción, Condensador y Salida de producto
A-300	Gestión de gases
A-400	Sala control
A-500	Servicios y mantenimiento
A-600	Zona de carga y descarga
A-700	Almacén
A-800	Laboratorio de control
A-900	Área contra incendios

A-1000	Gestión de residuos
A-1100	Aparcamiento
A-1200	Oficinas
A-1300	Vestuarios
A-1400	Comedor, sala descanso y cocina

5.3. Clasificación de las sustancias químicas

Para garantizar la seguridad de la planta antes se tiene que poner a disposición de los trabajadores los riesgos asociados a las sustancias utilizadas y producidas.

Para ello se realizarán formaciones a cualquier tipo de trabajador para hacerles conocer el reglamento CLP ¹ (clasificado, etiquetado y envasado) basado en el REACH y poner en su entendimiento la severidad de las consecuencias que tienen todos los agentes que intervienen durante el proceso y los estándares de la industria para tener un mayor conocimiento sobre la lectura de envases o fichas de seguridad.

5.3.1. Clasificación general

La primera parte de dicho reglamento es la clasificación, en la cual se hacen uso de diversos pictogramas que ayudan a comprender las consecuencias de trabajar con productos químicos potencialmente peligrosos.

Los pictogramas recaen bajo tres categorías:

5.3.1.1. Peligro físico

Esta categoría corresponde a las propiedades tanto físicas como químicas de los productos químicos, las cuales dan a entender cómo estas interactúan con sus alrededores

- Explosivo - Bomba explotando:



Figura 5.1. Pictograma GHS01

El envase o etiqueta que disponga de este pictograma indica que el material que contiene o al que hace referencia es un explosivo inestable o que tiene la capacidad de causar explosiones masivas, proyecciones o fuego al entrar en contacto con calor, chispas o fricción. La reacción o características de estas sustancias ante dichos detonadores hace que se categoricen de diversas formas:

- Explosivos inestables
- Divisiones
 - División 1.1: Sustancias que presentan un riesgo de explosión masiva.
 - División 1.2: Sustancias que no presentan riesgo de explosión masiva, pero pueden generar fragmentos peligrosos.
 - División 1.3: Sustancias que producen fuego o pequeñas explosiones, pero no generan explosión masiva.
 - División 1.4: Sustancias con bajo riesgo de explosión incluso en caso de incendio.
 - División 1.5: Sustancias muy insensibles que presentan un bajo riesgo de explosión masiva.
 - División 1.6: Sustancias extremadamente insensibles con riesgo mínimo de explosión accidental.

- Inflamabilidad- Llama:



Figura 5.2. Pictograma GHS02

Este pictograma indica que la sustancia a la que se refiere es altamente inflamable. De aquí se pueden vislumbrar diferentes categorías según el estado en el que se encuentre la sustancia.

- Gases:
 - Categoría 1: Gases extremadamente inflamables con un alto rango de inflamabilidad.
 - Categoría 2: Gases inflamables.
- Aerosoles:
 - Categoría 1: Aerosoles extremadamente inflamables.
 - Categoría 2: Aerosoles inflamables.
- Líquidos:
 - Categoría 1: Líquidos extremadamente inflamables. Tienen un punto de inflamación inferior a 23 °C y un punto de ebullición menor o igual a 35 °C.
 - Categoría 2: Líquidos inflamables con punto de inflamación inferior a 23 °C y un punto de ebullición superior a 35 °C.
 - Categoría 3: Líquidos inflamables con punto de inflamación entre 23 °C y 60 °C
- Sólidos:
 - Categoría 1: Sólidos que se encienden con facilidad y arden rápidamente.
 - Categoría 2: Sólidos inflamables con menor facilidad para arder que los de la categoría 1.

- Comburentes - Llama sobre círculo:



Figura 5.3. Pictograma GHS03

El icono representa tales sustancias que al entrar en contacto con otras y en presencia de oxígeno, estas producen una reacción altamente exotérmica. Las categorías se basan en el estado de la materia en la que se encuentre el producto:

- Gases:
 - Categoría 1: Gases que presentan un alto riesgo de facilitar la combustión.
- Sólidos y líquidos:
 - Categoría 1: Sólido o líquido que presentan un riesgo elevado de comburencia.
 - Categoría 2: Sólidos o líquido que presentan una capacidad moderada de comburencia.
 - Categoría 3: Sólidos o líquidos que presentan una capacidad baja de comburencia.
- Gases a presión - Cilindro de gas:



Figura 5.4. Pictograma GHS04

Representa a aquellos gases que están sometidos a presión y que tiene diversos riesgos asociados como explosión en caso de ser sometidos a calor o dependiendo del caso puede provocar quemaduras criogénicas. Los gases a presión son los gases comprimidos, gases liquidificados, gases liquidificados refrigerados y los gases disueltos.

5.3.1.2. Peligros para la salud

En esta categoría se diferencian aquellas sustancias que por exposición puede generar daños leves, significantes o la muerte a toda forma de vida.

- Corrosivo – Corrosión:



Figura 5.5. Pictograma GHS05

Dicho de aquellas sustancias que pueden ser corrosivas a metales y que puedan causar daño severo a tejidos, producir quemaduras o daño ocular.

- Toxicidad aguda



Figura 5.6. Pictograma GHS06

Se define como el conjunto de efectos adversos que ocurren tras la administración de una dosis única o múltiples dosis administradas en un período de 24 horas, o tras la exposición a una sustancia o mezcla durante un período de tiempo relativamente corto (generalmente 4 horas en el caso de inhalación).

Se clasifica en cuatro categorías basadas en la dosis letal media (DL50 para exposición oral y dérmica) o la concentración letal media (CL50 para exposición por inhalación). Estas categorías reflejan el nivel de peligro de una sustancia o mezcla en función de la cantidad necesaria para causar daño agudo:

- Categoría 1 (Muy tóxico)
 - Oral (DL50): ≤ 5 mg/kg de peso corporal.
 - Dérmica (DL50): ≤ 50 mg/kg de peso corporal.
 - Inhalación (CL50): $\leq 0,5$ mg/L para gases, vapores o aerosoles en 4 horas.
- Categoría 2 (Tóxico)
 - Oral (DL50): > 5 y ≤ 50 mg/kg de peso corporal.
 - Dérmica (DL50): > 50 y ≤ 200 mg/kg de peso corporal.
 - Inhalación (CL50): $> 0,5$ y ≤ 2 mg/L para gases, vapores o aerosoles en 4 horas.
- Categoría 3 (Nocivo)
 - Oral (DL50): > 50 y ≤ 300 mg/kg de peso corporal.
 - Dérmica (DL50): > 200 y ≤ 1000 mg/kg de peso corporal.
 - Inhalación (CL50): > 2 y ≤ 10 mg/L para gases, vapores o aerosoles en 4 horas.
- Categoría 4 (Perjudicial)
 - Oral (DL50): > 300 y ≤ 2000 mg/kg de peso corporal.
 - Dérmica (DL50): > 1000 y ≤ 2000 mg/kg de peso corporal.
 - Inhalación (CL50): > 10 y ≤ 20 mg/L para gases, vapores o aerosoles en 4 horas.
- Peligro para la salud – Símbolo de exclamación



Figura 5.7. Pictograma GHS07

Este símbolo se debe usar en la documentación de todas aquellas sustancias que pueden causar irritación severa tanto en vías respiratorias como, mucosas, piel y ojos. También puede causar reacciones alérgicas y puede ser altamente peligroso si inhalada o ingerido.

- Peligro grave para la salud - Peligro para la salud



Figura 5.8. Pictograma GHS08

Dicho de aquellas sustancias que pueden llegar a ser mortales si ingeridas o inhaladas, pueden causar daños en órganos, pueden alterar la fertilidad o a los niños nonnatos. También puede causar cáncer, defectos genéticos, alergia, síntomas de asma y dificultades para respirar.

5.3.1.3. Peligro para el medio ambiente

- Peligro para el medioambiente - Medioambiente



Figura 5.9. Pictograma GHS09

Las sustancias clasificadas con dicho pictograma representan un gran peligro para la vida acuática debido a sus duraderos efectos tóxicos.

Ahora que se han dado a conocer las propiedades que representan un peligro para el bienestar y la salud se pueden catalogar las sustancias que hay presentes en fábrica.

5.4. Fichas de Seguridad

La ficha de seguridad es un elemento que contiene toda la información del producto químico correspondiente, es decir, reúne tanto la información de las propiedades fisicoquímicas i los peligros que conlleva el uso de dicho químico o mezcla. De igual forma también se dan recomendaciones sobre la manipulación y el almacenaje de los productos químicos.

La entidad responsable de comercialización de la sustancia a la que hace referencia la ficha de seguridad deberá asegurarse de que contenga las partes estipuladas en el Real Decreto 255/2003²:

1. Identificación del preparado y de la sociedad o empresa
2. Composición /Información sobre los componentes
3. Identificación de peligros
4. Primeros auxilios
5. Medida de lucha contra incendios
6. Medidas den caso de vertido accidental
7. Manipulación y almacenamiento
8. Controles de la exposición/protección personal
9. Propiedades fisicoquímicas
10. Estabilidad y reactividad
11. Información toxicológica
12. Información ecológica
13. Consideraciones relativas a la eliminación
14. Información relativa al transporte
15. Información reglamentaria
16. Otra información

Además, la entidad comercial deberá asegurarse de que se cumple con las siguientes estipulaciones del mismo Real Decreto:

1. Si el producto es clasificado como peligroso, el emisor de la ficha de seguridad deberá asegurarse de que el destinatario reciba una copia de dicho documento ya sea en formato físico o electrónico.
2. El responsable de la comercialización de un preparado, ya se trate del fabricante, del importador o del distribuidor, deberá facilitar al destinatario, previa solicitud de un usuario profesional, una ficha de datos de seguridad en la que figure información adecuada. En el caso de que el preparado no esté clasificado como peligroso pero que contenga una concentración individual ≥ 1 por 100 en peso para los preparados que no sean gaseosos, y $\geq 0,2$ por 100 en volumen para los preparados gaseosos, de al menos: una sustancia que sea peligrosa para la salud o para el medio ambiente, o una sustancia para la que existen límites de exposición comunitarios en el lugar de trabajo también se deberá entregar dicha documentación.

3. Las fichas de datos de seguridad se proporcionarán de forma gratuita y nunca más tarde de la primera entrega del preparado, y posteriormente siempre que se produzcan revisiones originadas por la aparición de nuevos conocimientos significativos relativos a la seguridad y a la protección de la salud y el medio ambiente.
4. No será obligatorio el proporcionar la ficha de datos de seguridad en caso de que los preparados peligrosos que se ofrezcan o vendan al público vayan acompañados de la información suficiente con la que el usuario pueda tomar las medidas necesarias en relación con la protección de la salud, la seguridad y el medio ambiente. Sin embargo, se deberá facilitar la ficha de datos de seguridad si el usuario profesional así lo solicita.
5. La ficha de datos de seguridad deberá redactarse, al menos, en la lengua española oficial del Estado ²

5.5. Envasado

Otra forma de preservar la seguridad del trabajador será mediante la confirmación del estado del envase, el cual deberá presentar unos mínimos de calidad y deberá cumplir con la normativa establecida en el RD 255/2003 ². Las condiciones son las siguientes:

- Los preparados solamente se podrán comercializar cuando sus envases se ajusten a las siguientes condiciones:
- Estarán diseñados y fabricados de forma que no sean posibles pérdidas de contenido. Este requisito no se aplicará cuando se prescriban dispositivos especiales de seguridad.
- Los materiales con los que estén fabricados los envases y los cierres no deberán ser atacables por el contenido ni formar con este último combinaciones peligrosas.
- Los envases y los cierres deberán ser en todas sus partes fuertes y sólidos con el fin de impedir holguras y responder de manera fiable a las exigencias normales de manipulación.
- o Los recipientes con un sistema de cierre reutilizable habrán de estar diseñados de forma que pueda cerrarse el envase varias veces sin pérdida de su contenido.

5.5.2. Los recipientes que contengan preparados definidos en el apartado anterior, ofrecidos o vendidos al público en general, no podrán tener:

- o Una forma o una decoración gráfica que puedan atraer o excitar la curiosidad activa de los niños o inducir a error al consumidor.
- o Una presentación o una denominación utilizadas para los productos alimenticios, los alimentos para animales ni los medicamentos o productos cosméticos.
- o Los recipientes que contengan determinados preparados ofrecidos o vendidos al público en general e incluidos en el anexo IV del presente reglamento, deberán estar provistos de un cierre de seguridad para niños o llevar una indicación de peligro detectable al tacto, según les sean de aplicación las partes A o B respectivamente de dicho anexo
- o Se considerará que el envase de los preparados se ajusta a lo establecido si cumple los requisitos para el transporte de mercancías peligrosas por ferrocarril, carretera, vía navegable interior, marítima o aérea. ²

5.6. Etiquetado

Otro aspecto fundamental de la seguridad en planta se encuentra en el etiquetado, debido a que este también ofrece información valiosa para la preservación y bienestar tanto del operario como para las instalaciones. Es por eso por lo que el operario o técnico que manipule los envases deberá entender todo dato presente en la etiqueta.

Todos los envases recibidos deberán tener dicha etiqueta en un lugar que facilite su lectura y esta deberá indicar el nombre de la sustancia que contiene, así como el símbolo y la categoría del peligro que representan. Estos últimos deberán ir impresos en negro sobre un fondo amarillo. También se indicará la cantidad de preparado que contiene el envase. Más datos necesarios en la es la información de contacto del fabricante, el importador o el distribuidor, y el número del CAS.


Otro elemento clave en las etiquetas son las frases H y P (frases de riesgo y prudencia respectivamente). Debido a su cantidad se recomienda consultar la sección 1 y 2 del Anexo 3 de la SGA⁴. Estas frases normalmente están precedidas por un código que empieza por una de las dos letras seguido de tres números. Muchas veces también existen combinaciones de frases del mismo tipo para dar un consejo más detallado.



- Frases H:
 - H2XX: Indican un peligro físico
 - H3XX: Indican un peligro para la salud humana
 - H4XX: Indican un peligro para el medioambiente
- Frases P:
 - P1XX: Dan indicaciones generales de prudencia
 - P2XX: Dan indicaciones sobre prevención
 - P3XX: Dan indicaciones sobre acciones de respuesta
 - P4XX: Dan indicaciones de almacenaje
 - P5XX: Dan indicaciones de eliminación


5.7. Clasificación de los productos en la instalación




Dada a la naturaleza de las instalaciones, se va a trabajar constantemente con diversos tipos de químicos potencialmente peligrosos, aunque muchos de ellos no van a estar almacenados, dada a su naturaleza, se cree oportuno evaluar sus riesgos y definirlos, al igual que la precaución a la hora de trabajar con ellos según la normativa anteriormente mencionada.


Tabla 5.2. Identificación de riesgos según la normativa de la SGA para las sustancias de trabajo.



Producto	Pictograma(s)	Frases H	Frases P
Cloro (Cl ₂)		<p>H335 - Puede irritar las vías respiratorias.</p> <p>H270 - Puede provocar o agravar un incendio; comburente.</p> <p>H280 - Contiene gas a presión; peligro de explosión en caso de calentamiento.</p> <p>H315 - Provoca irritación cutánea.</p> <p>H319 - Provoca irritación ocular grave</p> <p>H330 - Mortal en caso de inhalación.</p> <p>H410 - Muy tóxico para los organismos acuáticos, con efectos nocivos duraderos.</p>	<p>P284 - [En caso de ventilación insuficiente,] llevar equipo de protección respiratoria</p> <p>P220 - Mantener o almacenar alejado de la ropa y de otros materiales combustibles</p> <p>P260 - No respirar el polvo/el humo/el gas/la niebla/los vapores/el aerosol.</p> <p>P264 - Lavarse las manos, los antebrazos y la cara concienzudamente después de la manipulación.</p> <p>P271 - Utilizar únicamente en exteriores o en un lugar bien ventilado</p> <p>P273 - Evitar su liberación al medio ambiente.</p> <p>P280 - Llevar guantes de protección, prendas de protección, gafas de protección, máscara de protección.</p> <p>P244 - Mantener las válvulas y los racores libres de aceite y grasa.</p> <p>P305+P351+P338 - EN CASO DE CONTACTO CON LOS OJOS: Aclarar cuidadosamente con agua durante varios minutos. Quitar las lentes de contacto, si lleva y resulta fácil. Seguir aclarando.</p> <p>P320 - Se necesita urgentemente un tratamiento específico.</p>



<p>Cloro (Cl₂)</p>	 		<p>P321 - Se necesita un tratamiento específico.</p> <p>P332+P313 - En caso de irritación cutánea: Consultar a un médico.</p> <p>P337+P313 - Si persiste la irritación ocular: Consultar a un médico.</p> <p>P370+P376 - En caso de incendio: Detener la fuga, si no hay peligro en hacerlo.</p> <p>P391 - Recoger el vertido.</p> <p>P362+P364 - Quitar las prendas contaminadas y lavarlas antes de volver a usarlas.</p> <p>P304+P340 - EN CASO DE INHALACIÓN: Transportar a la persona al aire libre y mantenerla en una posición que le facilite la respiración</p> <p>P310 - Llamar inmediatamente a un CENTRO DE TOXICOLOGÍA/médico/...</p> <p>P312 - Llamar a un CENTRO DE TOXICOLOGÍA/médico/... si la persona se encuentra mal.</p> <p>P302+P352 - EN CASO DE CONTACTO CON LA PIEL: Lavar con abundante agua.</p> <p>P403 - Almacenar en un lugar bien ventilado.</p> <p>P403+P233 - Almacenar en un lugar bien ventilado. Mantener el recipiente cerrado herméticamente.</p>
-----------------------------------	---	--	---



Cloro (Cl ₂)			<p>P405 - Guardar bajo llave.</p> <p>P410+P403 - Proteger de la luz del sol. Almacenar en un lugar bien ventilado.</p> <p>P501 - Eliminar el contenido/el recipiente en un centro de recogida de residuos.</p>
Monóxido de carbono (CO)		<p>H220: Gas extremadamente inflamable.</p> <p>H280: Contiene gas a presión; puede explotar si se calienta.</p> <p>H331: Tóxico si se inhala.</p> <p>H360: Puede perjudicar la fertilidad o dañar al feto.</p> <p>H370: Provoca daños en los órganos.</p> <p>H373: Puede provocar daños en los órganos, tras exposiciones prolongadas o repetidas.</p>	<p>P201: Procurarse las instrucciones antes del uso.</p> <p>P202: No manipular antes de haber leído y comprendido todas las precauciones de seguridad.</p> <p>P210: Mantener alejado del calor, superficies calientes, chispas, llamas al descubierto y otras fuentes de ignición. No fumar.</p> <p>P260: No respirar polvo, humos, gas, nieblas, vapores, aerosoles.</p> <p>P264: Lavarse... cuidadosamente después de la manipulación.</p> <p>P270: No comer, beber o fumar mientras se manipula este producto.</p> <p>P271: Utilizar sólo al aire libre o en un lugar bien ventilado.</p> <p>P280: Usar guantes/ropa de protección / equipo de protección para los ojos/la cara.</p> <p>P304 + P340: En caso de inhalación: Transportar a la persona al aire libre y mantenerla en una posición que le facilite la respiración.</p>


<p>Monóxido de carbono (CO)</p>	  		<p>P311: Llamar a un centro de toxicología / médico.</p> <p>P377: Fuga de gas inflamado: No apagar las llamas del gas inflamado si no puede hacerse sin riesgo P381: En caso de fuga, eliminar todas las fuentes de ignición.</p> <p>P403 +P233: Almacenar en un lugar bien ventilado. Mantener el recipiente herméticamente cerrado.</p> <p>P405: Guardar bajo llave.</p> <p>P410 + P403: Proteger de la luz solar. Almacenar en un lugar bien ventilado.</p> <p>P501: Eliminar el contenido / recipiente.</p>
---	---	--	---



<p>Fosgeno (COCl₂)</p>		<p>H280: Contiene gas a presión; puede explotar si se calienta.</p> <p>H330: Mortal si se inhala.</p> <p>H318: Provoca lesiones oculares graves.</p> <p>H335: Puede irritar las vías respiratorias.</p> <p>H304: Puede ser mortal en caso de ingestión y penetración en las vías respiratorias.</p> <p>H372: Provoca daños en los pulmones tras exposiciones prolongadas o repetidas.</p>	<p>P260: No respirar el polvo, humo, gas, niebla, vapores, aerosol.</p> <p>P271: Utilizar únicamente en exteriores o en un lugar bien ventilado.</p> <p>P284: Llevar equipo de protección respiratoria.</p> <p>P310: Llamar inmediatamente a un centro de toxicología o a un médico.</p> <p>P320: Tratamiento específico urgente (ver en la ficha de datos de seguridad).</p> <p>P403 + P233: Almacenar en un lugar bien ventilado. Mantener el recipiente herméticamente cerrado.</p> <p>P405: Guardar bajo llave.</p> <p>P501: Eliminar el contenido y el recipiente conforme a la normativa local.</p>
---------------------------------------	--	---	---

<p>Carbón activo (C)</p>		<p>H252: Se calienta espontáneamente en grandes cantidades; puede inflamarse.</p>	<p>P235+P410 Conservar en un lugar fresco. Proteger de la luz del sol</p> <p>P407 Dejar un espacio de aire entre las pilas o bandejas.</p> <p>P413 Almacenar las cantidades a granel superiores a 10 kg/22 lbs a temperaturas no superiores a 50 °C/122 °F.</p>
<p>Amoniaco Anhidro (NH₃)</p>		<p>H221 Gas inflamable.</p> <p>H280 Contiene gas a presión; peligro de explosión en caso de calentamiento.</p> <p>H314 Provoca quemaduras graves en la piel y lesiones oculares graves.</p> <p>H331 Tóxico en caso de inhalación.</p> <p>H410 Muy tóxico para los organismos acuáticos, con efectos nocivos duraderos</p>	<p>P210 Mantener alejado del calor, de superficies calientes, de chispas, de llamas abiertas y de cualquier otra fuente de ignición. No fumar.</p> <p>P260 No respirar el polvo/el humo/el gas/la niebla/los vapores/el aerosol.</p> <p>P280 Llevar guantes/ropa de protección/equipo de protección para los ojos/la cara/los oídos/...</p> <p>P303+P361+P353 EN CASO DE CONTACTO CON LA PIEL (o el pelo): Quitar inmediatamente toda la ropa contaminada. Enjuagar la piel con agua o ducharse.</p> <p>P305+P351+P338 EN CASO DE CONTACTO CON LOS OJOS: Enjuagar con agua cuidadosamente durante varios minutos. Quitar las lentes de</p>

<p>Amoniaco</p> <p>Anhidro</p> <p>(NH₃)</p>	 		<p>contacto cuando estén presentes y pueda hacerse con facilidad. Proseguir con el lavado.</p> <p>P310 Llamar inmediatamente a un CENTRO DE TOXICOLOGÍA/médico.</p> <p>P377 Fuga de gas en llamas: No apagar, salvo si la fuga puede detenerse sin peligro.</p> <p>P403+P233 Almacenar en un lugar bien ventilado. Mantener el recipiente cerrado herméticamente.</p>
--	---	--	---

<p>Amoniaco</p> <p>Anhidro</p> <p>(NH₃)</p>	 		
--	---	--	--

<p>Hidróxido de sodio (NaOH)</p>		<p>H290 Puede ser corrosivo para los metales</p> <p>H314 Provoca quemaduras graves en la piel y lesiones oculares graves</p>	<p>P233 Mantener el recipiente herméticamente cerrado</p> <p>P280 Llevar guantes/gafas de protección</p> <p>P303+P361+P353 EN CASO DE CONTACTO CON LA PIEL (o el pelo): Quitar inmediatamente toda la ropa contaminada. Enjuagar la piel con agua [o ducharse]</p> <p>P305+P351+P338 EN CASO DE CONTACTO CON LOS OJOS: Enjuagar con agua cuidadosamente durante varios minutos. Quitar las lentes de contacto cuando estén presentes y pueda hacerse con facilidad. Proseguir con el lavado</p> <p>P310 Llamar inmediatamente a un CENTRO DE TOXICOLOGÍA/médico</p>
--	---	--	---

<p>Tetracloruro de Carbono (CCl₄)</p>	 	<p>H351 Se sospecha que provoca cáncer.</p> <p>H301 Tóxico en caso de ingestión.</p> <p>H311 Tóxico en contacto con la piel.</p> <p>H331 Tóxico en caso de inhalación.</p> <p>H372 Provoca daños en los órganos.</p> <p>H412 Nocivo para los organismos acuáticos, con efectos nocivos duraderos.</p> <p>H420 Causa daños a la salud pública y el medio ambiente al destruir el ozono en la atmósfera superior</p>	<p>P201 Pedir instrucciones especiales antes del uso.</p> <p>P281 Utilizar el equipo de protección individual obligatorio.</p> <p>P273 Evitar su liberación al medio ambiente.</p> <p>P302+P352 EN CASO DE CONTACTO CON LA PIEL: Lavar con abundante agua/...</p> <p>P304+P340 EN CASO DE INHALACIÓN: Transportar a la persona al aire libre y mantenerla en una posición que le facilite la respiración.</p> <p>P309+P310 EN CASO DE exposición o malestar: Llamar inmediatamente a un CENTRO DE INFORMACION TOXICOLOGICA o a un médico.</p>
--	---	--	---

5.8. Almacenamiento de productos químicos

El almacenamiento de productos químicos constituye un aspecto crítico en la gestión segura y eficiente de sustancias que pueden presentar riesgos significativos para las personas, el medio ambiente y las instalaciones. En este contexto, el Reglamento de Almacenamiento de Productos Químicos (APQ) ⁵ establece las normas y directrices necesarias para garantizar el correcto manejo, almacenamiento y control de estas sustancias, reduciendo al mínimo los riesgos asociados y asegurando el cumplimiento de los requisitos legales.

El objetivo principal del APQ es proporcionar un marco regulador que permita identificar, evaluar y mitigar los riesgos inherentes al almacenamiento de productos químicos peligrosos.

Este marco incluye aspectos clave como:

1. Clasificación de los productos químicos: Identificar las propiedades de las sustancias almacenadas, tales como su inflamabilidad, toxicidad, corrosividad y reactividad, para determinar las condiciones de almacenamiento apropiadas.
2. Diseño de instalaciones: Establecer los criterios para la construcción y disposición de almacenes, asegurando que cumplan con las normas de seguridad en cuanto a ventilación, resistencia estructural, sistemas de contención y señalización.
3. Medidas de seguridad: Implementar sistemas y procedimientos de protección contra incendios, derrames y otras emergencias, así como planes de respuesta ante incidentes que involucren sustancias peligrosas.
4. Capacitación y formación: Asegurar que el personal encargado del almacenamiento y manejo de productos químicos reciba la formación adecuada en prácticas seguras, identificación de riesgos y respuesta ante emergencias.
5. Control documental: Mantener registros precisos de los productos almacenados, fichas de datos de seguridad (FDS), inspecciones y auditorías internas, lo cual permite una trazabilidad efectiva y facilita la gestión de riesgos.

La implementación adecuada del APQ no solo minimiza los riesgos de accidentes, sino que también contribuye a una operación más sostenible y responsable. El cumplimiento de estas normativas promueve la protección del medio ambiente al prevenir emisiones descontroladas, derrames y contaminación, así como la integridad de los trabajadores y las comunidades cercanas.

En este apartado, se abordarán los aspectos fundamentales relacionados con el almacenamiento de productos químicos, incluyendo las directrices del reglamento APQ, los principios técnicos y operativos aplicables, así como las buenas prácticas que garantizan una gestión segura y eficiente de estas sustancias.

Para garantizar la mayor forma de almacenar las diferentes sustancias se deberán tener en cuenta las diferentes instrucciones técnicas complementarias existentes dentro de este reglamento. Estas instrucciones técnicas complementarias (ITCs) están diseñadas para abordar los riesgos específicos

asociados a cada tipo de sustancia o método de almacenamiento, estableciendo directrices claras para su manejo seguro. Las instrucciones técnicas son las siguientes:

Tabla 5.3. Clasificación de las diferentes ITC MIE APQ.

ITC MIE APQ-0	Definiciones generales
ITC MIE APQ-1	Almacenamiento de líquidos inflamables y combustibles en recipientes fijos
ITC MIE APQ-2	Almacenamiento de óxido de etileno en recipientes fijos
ITC MIE APQ-3	Almacenamiento de cloro
ITC MIE APQ-4	Almacenamiento de amoníaco anhidro
ITC MIE APQ-5	Almacenamiento y utilización de bombonas de gas comprimido, licuados y disueltos a presión
ITC MIE APQ-6	Almacenamiento de líquidos corrosivos
ITC MIE APQ-7	Almacenamiento de líquidos tóxicos en recipientes fijos
ITC MIE APQ-8	Almacenamiento de fertilizantes a base de nitrato amónico con alto contenido de nitrógeno
ITC MIE APQ-9	Almacenamiento de peróxidos orgánicos y de materiales autorreactivos
ITC MIE APQ-10	Almacenamiento en recipientes móviles

5.8.1. Almacenamiento de productos químicos (caso particular)

En este subapartado solo se evaluarán y categorizarán las sustancias almacenadas en la planta ya que debido a las características de entrada de la materia prima no es necesario almacenar nada más. Aparte el almacenamiento del producto final, es decir el fosgeno, está prohibida ya que tal sustancia aparece en la Lista 3 del Anexo 1 del Real Decreto 78/2019, el cual el Artículo 2 de este último prohíbe el almacenamiento de armas químicas, de todas formas, para producirlo se deberán rellenar los formularios correspondientes del Anexo 2 de dicho Real Decreto ⁵. Por lo demás sustancias como el tetracloruro que entrarían en alguna ITC hablando de forma genérica, no se debe tener en cuenta en este apartado ya que dicha ITC no tiene en cuenta la instalación y equipos a diferencia de la ITC MIE APQ-3⁵.

Cabe recalcar que, aunque para suplir alguna necesidad de la instalación se va a necesitar poca cantidad de alguna sustancia, de todas formas, se van a seguir las ITC que conlleven normas más restrictivas por tal de maximizar la seguridad del trabajador y de las poblaciones cercanas.

Asimismo, se procede a analizar las sustancias sujetas a almacenamiento y por ende quedan sometidas a las diferentes ITC MIE-APQ:

Tabla 5.4. Clasificación de las ITC MIE-APQ según la sustancia almacenada

Sustancia	ITCs MIE APQ
Carbón activo	ITC MIE APQ-10
Hidróxido sódico	ITC MIE APQ-6 ITC MIE APQ-10
Refrigerante R-717 (amoníaco anhidro)	ITC MIE APQ-1 ITC MIE APQ-4 ITC MIE APQ-6 ITC MIE APQ-10
Cloro	ITC MIE APQ-3

5.8.2. Carbón activo

De por si el carbón activo no es considerado una sustancia peligrosa, pero debido a su frase H (H252: Se calienta espontáneamente en grandes cantidades; puede inflamarse) y a que se planea almacenarlo en depósitos móviles en grandes cantidades, se ha decidido que dicha sustancia quedará sujeta a las normas del ITC MIE APQ-10 ⁵.

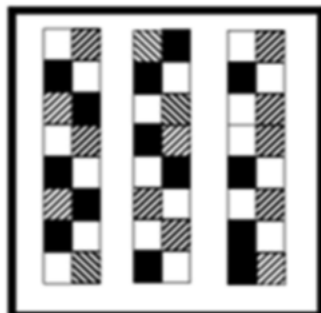
Tal y como se especifica en el Punto 2 del primer artículo, el almacenamiento de este se deberá hacer en zonas que no incurran en un peligro para los empleados u otros usuarios de las instalaciones, como, por ejemplo:

- Zonas de tránsito: Dicho de zonas como por ejemplo escaleras, huecos de escaleras, salidas de emergencia, pasadizos, etc.
- Zonas de uso: Dicho de zonas tales como salas de descanso, de visita, los baños o enfermería.
- Otras zonas: Tejados y buhardillas de viviendas o de otros edificios de uso distinto al industrial.

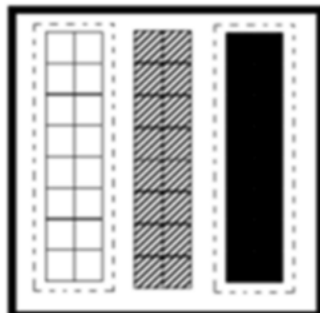
Además, al ser inflamable no se deberá almacenar juntamente con otros elementos inflamables o tóxicos.

Al hablar de tanques móviles también se debe tener en cuenta en qué tipo de almacenamiento se va a disponer el carbón activo junto a las otras sustancias tal y como especifica el Artículo 18 del capítulo 3 del MIE ITC APQ-10.

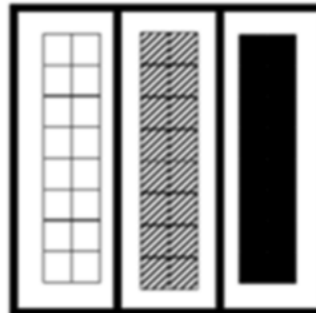
Almacenamiento sin restricciones



Almacenamiento separado



Almacenamiento independiente

Figura 5.10. Tipo de almacenamiento según MIE ITC APQ-10 ⁵

Número	Apartado CLP	Clase de peligro	Indicación peligro	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	2.3	Aerosoles (inflamables)	H222 H223										
2	2.2 2.6	Gases inflamables (1) Líquidos inflamables	H220 H221 H224 H225 H226						B	C	B		
3	2.7	Sólidos inflamables	H228										
4	2.9 2.10 2.11	Líquidos pirofóricos Sólidos pirofóricos Sustancias y mezclas que experimentan calentamiento espontáneo	H250 H251 H252										
5	2.12	Sustancias y mezclas que, en contacto con el agua, desprenden gases inflamables	H260 H261										
6	2.4 2.13 2.14	Gases comburentes (1) líquidos y sólidos comburentes	H270 H271 H272		B								
7	3.2	Sustancias y mezclas corrosivas	H290 H314		C					A			
8	3.1	Tóxicos no inflamables ni combustibles	H300 H301 H310 H311 H330 H331 H370		B								
9	3.1	Tóxicos inflamables o combustibles	H300 H301 H310 H311 H330 H331 H370										
10		Productos peligrosos no incluidos en los grupos anteriores	H302 H304 H312 H315 H317 H318 H319 H332 H334 H335 H336 H340 H341 H350 H350i H351 H360 H361 H362 H371 H372 H373 H400 H410 H411 H412 H413 H229										

Figura 5.11. Tabla 1 del capítulo 3 del MIE ITC APQ-10 ⁵

Según la distribución que se observa en la *Figura 11*, las compatibilidades de la *Figura 12* y teniendo en cuenta el Artículo 23 del mismo capítulo, donde el equivalente a las sustancias con palabra H252 es la H225, el carbón activo se debería poder almacenar juntamente con los demás productos.

Como se ha mencionado anteriormente, está pensado tener grandes cantidades de carbón almacenado a la vez, gracias a esto también se deberá tener en cuenta las distancias de seguridad con los demás edificios e infraestructuras.

Indicación de peligro	h max (m) (1)	Volumen de pila (m³) (2) (4)		Distancia a propiedades ajenas (m) (3)	Distancia a vías de comunicación públicas (m) (3)	Distancias a edificios de la misma titularidad(m) (3)
		R ≤ 250L	250 L < R ≤ 3000 L			
H224 H220	2,7	7,5	15	10	5	5
H225 H221	3,6	25,0	30	10	5	5
H226 H222 H223 H228	4,5	75	75	5	5	5

Figura 5.13. Tabla 2 del capítulo 3 del MIE APQ-10 ⁵

En la *Figura 13* se puede vislumbrar como el carbón activo, por cantidad de pila en toneladas y por palabra H, este debe tener una altura máxima de 3,6 y un volumen de 30 m³ como máximo y cumplir con las demás especificaciones de distancia de la misma fila.

5.8.3. Hidróxido de sodio

En la ITC MIE APQ-6 se clasifican los diferentes tipos de líquidos corrosivos.

Clase de producto APQ	Indicación de peligro	Categoría CLP
1A	H314	1A Provoca quemaduras graves en la piel y lesiones oculares graves.
1B	H314	1B Provoca quemaduras graves en la piel y lesiones oculares graves.
1C	H314	1C Provoca quemaduras graves en la piel y lesiones oculares graves.
	H290	1 Puede ser corrosivo para los metales.

Figura 5.14. Tabla de clasificación de líquidos corrosivos según Artículo 3 ITC MIE APQ-6 ⁵

Tal y como marca el Artículo 2 de dicho APQ, aparte de clasificar la sustancia por su frase H, también se clasificará por tamaño del depósito, ya que todas las categorías existentes comparten la misma frase de peligro. Asimismo, se clasificará como un líquido de subcategoría 1C que será almacenado en tanques atmosféricos.

Los tanques de almacenamiento de dicha sustancia deberán tener instalados sistemas de venteo o alivio de presión para prevenir la formación de vacío o presión interna, de tal modo que se evite la deformación del techo o de las paredes como consecuencia de las variaciones de presión producidas por efecto de los llenados, vaciados o cambios de temperatura. Las salidas de dicho sistema estarán alejadas de los puntos de operación y vías de circulación en donde las personas puedan verse expuestas, o se protegerán adecuadamente para evitar las proyecciones de líquidos y vapores. También deberán disponer de medidas de protección medioambientales, donde, tanto tanque como tuberías, deberán estar tener una de las siguientes:

- Uso de pinturas o recubrimientos.
- Protección catódica.
- Empleo de materiales resistentes a la corrosión.

La distancia entre depósitos deberá de ser de al menos de un metro de distancia, por tal de garantizar un buen acceso a estos.

Tal y como marca el Artículo 14, todo recipiente fijo deberá tener un cubeto de retención que puede ser común para diversos tanques del mismo tipo o de sustancias que no presenten reacciones peligrosas entre sí. La distancia entre la pared del cubeto y el tanque de almacenamiento deberá ser de por lo menos 1 metro y el fondo del cubeto dispondrá de una pendiente mínima del 1%, de esta forma se asegura que el fluido se dirija al sumidero fácilmente. De forma adicional, el cubeto de retención tendrá por lo menos dos salidas de emergencia localizadas de tal forma que el recorrido hasta estas no sea mayor a 25 metros desde cualquier punto del cubeto. También se deberá tener una vía de acceso de una anchura de 2,5 metros y altura libre de 4 metros por tal de que los vehículos de emergencia, estos deberán permanecer siempre libres. Por último, se prohibirá de forma permanente el uso de mangueras flexibles, en caso de uso, este deberá ser de corta duración.

Al estar trabajando con líquidos corrosivos, la seguridad del operario también es fundamental, por eso se instalarán duchas y lavaojos, por lo menos, a 10 metros de los alrededores del cubeto.

5.8.4. Amoníaco refrigerante (R-717)

A diferencia del carbón activo el refrigerante 717 o amoníaco anhidro, está recogido en diversos MIE APQ's. Tal como se ha mencionado con anterioridad se recogerán los aspectos más restrictivos de estos.

En el Artículo 4 del MIE APQ-4 se especifican los diferentes tipos de almacenamientos:

- Almacenamiento refrigerado: Es aquel en el cual la temperatura del amoníaco anhidro es aproximadamente de 240 K (–33 °C), con presión prácticamente igual a la atmosférica.
- Almacenamiento semirefrigerado: Es aquel en el cual la temperatura del amoníaco es sensiblemente superior a 240 K (–33 °C), pero inferior a la temperatura ambiente, con presión superior a la atmosférica.
- Almacenamiento no refrigerado: Es aquel en el cual la temperatura máxima que puede alcanzar el amoníaco anhidro es igual a la máxima temperatura ambiente, con presión muy superior a la atmosférica.

Teniendo en cuenta en el tipo de contenedor en el que se espera que venga el refrigerante en cuestión, es decir que se espera recibirlo en recipientes que se encuentran a más presión que la atmosférica, se decide utilizar un almacén semirefrigerado.

Además, tendrá que cumplir con las distancias de seguridad especificadas en este apartado.

Vía de comunicación pública de circulación rápida:	20 metros.
Vía de comunicación pública de tráfico denso y con posibilidad de retenciones:	75 metros.
Lugar de concentración de personal de la propia factoría (edificio administrativo, comedor, vestuario):	50 metros.
Lugar de concentración del personal de establecimiento industrial ajeno a la propia factoría:	100 metros.
Agrupamiento de viviendas:	200 metros.
Local de pública concurrencia:	500 metros.
Tanque o depósito de producto inflamable de las clases A o B, según MIE APQ-1, de capacidad superior a 100 m³:	Diámetro del tanque o depósito de producto inflamable (mínimo 25 metros).
Tanque de producto combustible de la clase C, según MIE APQ-1, de capacidad superior a 100 m³:	Radio del tanque de producto combustible (mínimo 10 metros).

Figura 5.15. Cuadro 2, Artículo 7, MIE APQ-4, distancias mínimas a tanques o depósitos ⁵

A parte los contenedores no podrán sobrepasar el 95% del volumen total de su capacidad por tal de evitar accidentes en caso de dilatación tanto del recipiente como de su contenido. En el caso del almacenamiento semirefrigerado, el tanque no deberá pasar los 0,60 Kg de amoníaco/ litro del volumen del recipiente que lo contiene.

La cámara de almacenamiento dispondrá de sistemas fijos de agua pulverizada. Se dispondrán de barreras parachoques para proteger las tuberías y se instalarán duchas y lavajos en las inmediaciones del almacén.

5.8.5. Cloro

Como no hay ningún tipo de almacenamiento de cloro que se recoja en las definiciones de la ITC MIE APQ-3, solo se tendrán en cuenta las especificaciones que se den en las instalaciones.

Según el capítulo 5 de dicha ITC, los equipos deberán tener conductos que estén conectados con equipos de absorción de cloro como forma de protección ante posibles fugas. Estos equipos deberán tener el suficiente agente neutralizante disponible como para tratar todo el volumen de cloro de la instalación. El equipo en cuestión deberá tener instalado un detector de cloro a la salida atmosférica para detectar posibles mal funcionamientos de la torre y aplicar los procedimientos de emergencia.

5.8.6. APQ General

De forma general se dispondrán de dos zonas de almacenamiento.

La primera será un almacén que recoja las normas anteriormente descritas en cada subapartado para las diferentes materias. Todo y que según la ITC MIE APQ-10 describa que todas las sustancias que se han decidido almacenar, se ha decidido que se almacenarán en un edificio de forma independiente en habitaciones independientes. Todas las paredes del edificio deberán ser RF-120, para asegurar la evacuación completa del personal situado en dicho edificio. Una de las habitaciones será un almacén semirefrigerado. Tanto las zonas de almacenaje del hidróxido como del R-717, dispondrán de un sistema fijo antiincendios con agua. En el caso del almacén de carbón activo se utilizará un sistema de CO₂.

La segunda zona de almacenamiento consistirá en un cubeto de contención de 28x15,5x0,28 metros con un área total de 316 m². En el cubeto se instalarán 6 recipientes fijos que deberán tener una distancia mínima de 2,5 metros entre ellos.

Alrededor de todas estas zonas se ha decidido instalar una ducha y un lavaojos en caso de accidente.

5.9. Protección contra incendios

Uno de los principales problemas que pueden ocurrir en una planta donde se manejan y producen productos químicos son los incendios.

Este suceso se debe a que una sustancia combustible entra en contacto con un agente oxidante, normalmente el aire, y con una fuente de energía tales como roces, golpes, chispas, fuego, etc. Otro factor a tener en cuenta son las reacciones en cadena.



Figura 5.16. Tetraedro de factores necesarios para el inicio de fuegos.

Hay diferentes tipos de fuego, sobre todo en función del estado en el que se encuentre la sustancia combustible o para el tipo de materia. Los diferentes tipos de fuego son:

- A: Dicho de fuegos que se generan sobre materiales inflamables como madera, papel y cartón. En esta situación se recomiendan extintores de agua, espuma y polvo ABC.
- B: Dicho de fuegos que se generan sobre líquidos inflamables como gasolina. En esta situación se recomiendan extintores de espuma, CO₂ y polvo ABC/BC.
- C: Dicho de fuegos que se generan debido a la presencia de gases inflamables como en el caso del butano y propano. En esta situación se recomiendan extintores polvo ABC/BC.
- D: Dicho de fuegos que se generan sobre metales inflamables como el magnesio, aluminio y hexilitio. En esta situación se recomiendan extintores especiales de tipo D.
- F: Dicho de fuegos que se generan sobre aceites y grasas. En esta situación se recomiendan extintores especiales de tipo F.

Otros aspectos fundamentales del fuego son las características de la sustancia inflamable, ya que cada uno es diferente y necesitará de diferentes cantidades de energía o agente oxidante para poder inflamarse. Estos parámetros es importante conocerlos ya que con las medidas necesarias se pueden evitar grandes incendios o combustiones espontáneas.

Estas son:

- Límite de inflamabilidad superior
- Límite de inflamabilidad inferior
- Concentración mínima de oxígeno
- Velocidad de combustión
- Velocidad de propagación

5.9.1. Tipos de protecciones

La protección contra incendios comprende un conjunto de medidas diseñadas para prevenir, controlar y extinguir incendios, minimizando sus efectos sobre personas, bienes y el medio ambiente. Estas medidas se dividen en dos grandes categorías: la protección pasiva, que limita la propagación del fuego y el humo, y la protección activa, que incluye sistemas de detección, alarma y extinción. A continuación, se detallan los diferentes tipos de protección contra incendios y su aplicación en distintos entornos.

5.9.2. Equipos de protección pasiva

Este tipo de sistemas se caracterizan para detectar, alertar, extinguir incendios mediante la limitación de la propagación del fuego y humos mientras garantizan la estabilidad estructural y facilitan la evacuación. Entre este tipo de sistemas destacan:

- Compartimentación:
 - Se utilizan paredes, techos y puertas cortafuego para dividir el edificio en sectores que eviten la propagación del incendio.
 - Ayuda a contener el fuego en un área específica durante un tiempo determinado (ejemplo: RF-30, RF-60, RF-120).
 - Se incluyen sellados cortafuego en pasos de instalaciones (cables, tuberías, conductos) para evitar la propagación del humo y las llamas.
- Reacción y resistencia al fuego de los materiales:
 - Los materiales de construcción deben ser ignífugos o resistentes al fuego, reduciendo el riesgo de combustión.
 - Se aplican pinturas intumescentes, morteros ignífugos o placas de yeso RF para proteger estructuras metálicas y evitar su colapso.
- Evacuación y señalización:
 - Se diseñan rutas de evacuación protegidas con salidas de emergencia bien señalizadas.
 - Se usan señales luminiscentes para indicar rutas de escape y la ubicación de equipos contra incendios.

- Se instalan puertas cortafuego con cierre automático para evitar la propagación del fuego y el humo.
- Ventilación y control de humos:
 - Se instalan exutorios y sistemas de extracción de humos para mejorar la visibilidad y facilitar la evacuación.
 - En edificios grandes, se usan sistemas de presurización de escaleras para evitar que el humo entre en las vías de escape.

5.9.3. Equipos de protección activa

Los equipos de protección activa contra incendios son aquellos sistemas y dispositivos diseñados para detectar, alertar y extinguir incendios de manera manual o automática. A diferencia de la protección pasiva, que busca contener y retrasar la propagación del fuego, la protección activa actúa directamente sobre el incendio para minimizar sus efectos y facilitar la evacuación.

- Sistemas de detección y alarma
 - Incluyen detectores de humo, calor y llamas, que activan alarmas en caso de incendio.
 - Se conectan a centrales de detección que alertan a los ocupantes y a los servicios de emergencias.
 - Los sistemas modernos incluyen alarmas visuales y sonoras para personas con discapacidad.
- Rociadores automáticos:
 - Detectan el aumento de temperatura y liberan agua para extinguir o controlar el fuego.
 - Se instalan en zonas de riesgo medio a alto, como oficinas, almacenes o áreas industriales.
- Bocas de incendio Equipadas (BIEs):
 - Son mangueras conectadas a la red de agua utilizadas manualmente por el personal o bomberos.
 - Tipos:
 - BIEs de 25 mm (manguera semirrígida para uso por ocupantes.
 - BIEs de 45 mm (manguera plana) para mayor caudal y uso por bomberos.
- Hidrantes:
 - Tomas de agua en el exterior del edificio o en la vía pública o conectadas a una red de abastecimiento.
 - Son utilizados en incendios de gran magnitud, proporcionando un abastecimiento continuo de agua en zonas de alto riesgo.
- Extintores:
 - Son dispositivos portátiles diseñados para apagar pequeños incendios de manera rápida y eficaz, actuando sobre el foco del fuego.
 - Tipos:
 - Extintores de agua: para fuegos de clase A (materiales sólidos como madera, papel).

- Extintores de polvo químico ABC: para fuegos de clases A, B y C (sólidos, líquidos inflamables y gases).
- Extintores de CO₂: para fuegos de clase B (líquidos inflamables) y clase C (equipos eléctricos).
- Extintores de espuma: para fuegos de clase A y B (sólidos y líquidos inflamables).

5.9.4. Sistema de protección contra incendios de la planta

Ahora que se han explicado los diversos métodos de protección que existen se puede detallar las protecciones que se utilizarán en toda la planta por tal de mantener su integridad y la del trabajador delante de este tipo de acontecimiento.

Según el RSCIEI ⁷ primero se debe clasificar todos los edificios según los 5 tipos que describe.

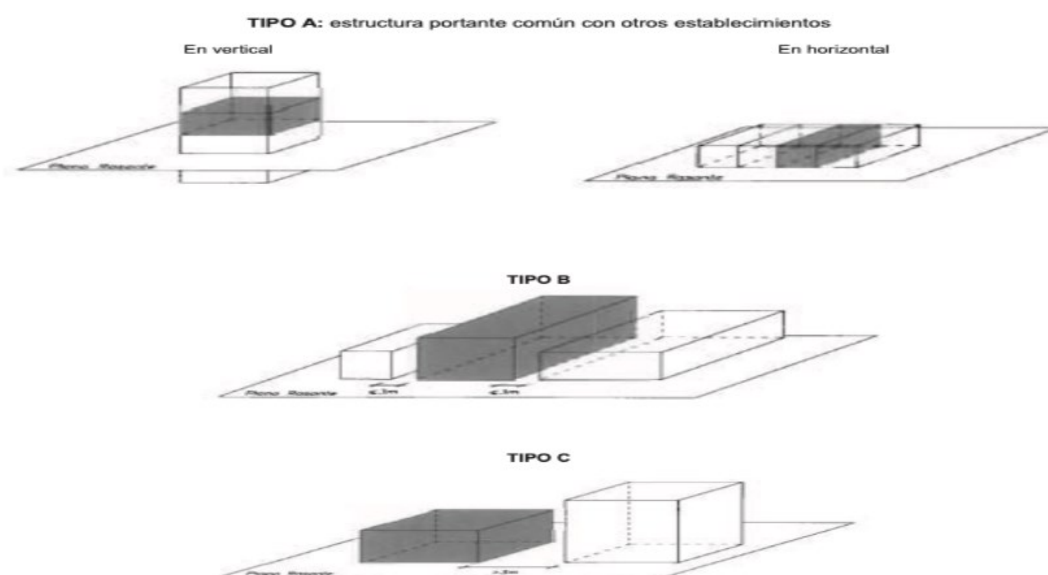


Figura 5.17. Tipos de edificios A, B y C.

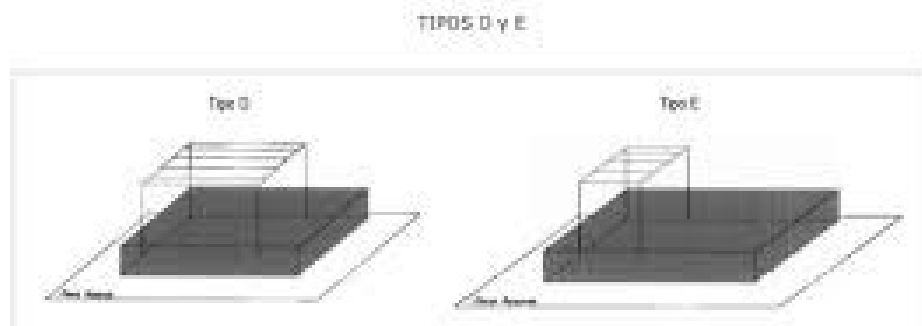


Figura 5.18. Tipos de edificios D y E.

Según el RIPCI, las estructuras juegan un papel muy importante, ya que debido a la clasificación que tengan se deberán seguir ciertas medidas de protección referentes al número de sistemas de rociadores, BIEs, etc. En la planta disponemos de 3 tipos de edificios: Tipo A (Áreas A-700), Tipo C (Áreas A-100, A-200 y partes de la A-500) y Tipo D y E (Área A-300, restante de la A-500 y A-10000).

Otro factor importante para declarar las necesidades de la instalación contra incendios es la carga de fuego. Este parámetro tiene en cuenta la capacidad de energía contenida en los materiales de un edificio o espacio que podría ser liberada en caso de incendio. Dicho Real Decreto, nos marca unas pautas de cálculo y de clasificación del riesgo intrínseco según la carga de fuego, estos cálculos y sistema de clasificación se pueden encontrar en el primer anexo del RSCIEI ⁷. Según la carga de fuego calculada, se ha encontrado que el nivel de riesgo intrínseco es el más bajo posible, es decir Bajo 1. De todas formas, aunque sea el nivel más bajo de seguridad. Se ha decidido sobredimensionar el sistema contra incendios teniendo en cuenta las necesidades de otros niveles de riesgo como por ejemplo el uso de paredes RF-120.

Ahora que se sabe el nivel de riesgo intrínseco y la clasificación del edificio, se pueden saber los requisitos de agua y de número de equipos según el Anexo 3 ⁷. Según las pautas marcadas se ha encontrado que la planta necesitará un total de 148 rociadores de agua pulverizada, 20 de CO, 4 hidrantes y por lo menos 6 BIEs de DN 25 de simultaneidad 2. Esta suma de elementos ha resultado en un caudal necesario de 13400 L/min y el uso de un tanque de acero galvanizado de 400 m³ de volumen.

Para mover toda esta agua será necesario el uso de 3 bombas:

- Una bomba principal que tenga que funcionar al 150% de sus capacidades por tal de asegurar una acción rápida y efectiva a la hora de suministrar agua a cualquier punto de la planta.
- Una bomba auxiliar, de las mismas prestaciones a la principal, de combustible alternativo a la primera, esto significa que, en vez de funcionar por electricidad, esta deberá de poder accionarse mediante otro método, lo más común es encontrar bombas de gasolina o diésel. Esto se debe a que en caso de malfuncionamiento o caída de la red eléctrica la planta debe tener una manera alternativa de actuación ante este tipo de casos.
- Una bomba jockey la cual se encarga de mantener en todo momento la presión de la línea de contraincendios para que el agua pueda circular.

5.10. Zonas ATEX

Otro de los grandes riesgos que pueden suceder en una planta química son las explosiones, es por eso por lo que identificar las fuentes de atmósferas explosivas es un elemento clave.

Antes de clasificar cualquier zona, cabe resaltar que toda aquella que contenga una atmósfera explosiva deberá estar etiquetada como tal. Dicha etiqueta deberá tener forma triangular y contener letras negras sobre un fondo amarillo con bordes negros.



Zona con riesgos de atmósferas explosivas

Figura 5.19. Ejemplo de etiqueta de zona ATEX.

En las zonas ATEX cabe destacar dos grandes grupos según el estado de la sustancia que genere la explosión.

- Vapores:
 - Grupo 0
 - Grupo 1
 - Grupo 2
- Polvos
 - Grupo 20
 - Grupo 21
 - Grupo 22

Estas categorías indican el riesgo de explosión, siendo las clasificaciones 0 y 20 las de más alto riesgo y las 2 y 22 las de menos.

Tabla 5.5. Clasificación de las zonas que contienen producto.

Código área	Clasificación ATEX
A-100	1
A-200	20 y 1
A-300	1
A-500	1
A-700	21 y 1

La clasificación de las áreas es útil debido a que facilita la elección de elementos ATEX, conforme a las necesidades de cada zona. Los elementos ATEX, suelen ser válvulas, motores y otros elementos auxiliares que garantizan cierta seguridad en zonas con potencial explosivo.

5.10.1. Etiquetado ATEX

La clasificación ATEX en equipos o instrumentos se conforma de diversos elementos.

**Figura 5.20.** Ejemplo de los componentes de la etiqueta ATEX.

El primer recuadro corresponde al tipo de industria. Esta casilla solo puede variar entre dos valores:

- I: Corresponde a toda industria que se dedique a la explotación minera
- II: Corresponda a toda otra industria excluida de la clasificación “I”

El segundo recuadro corresponde al grupo de gas o polvo acompañado del ambiente al que es apto:

- Número: Equivale al grupo anteriormente explicado siendo el 1 la protección máxima y útil en cualquier escenario, la 2 solo para grupos 21,22, 1 y 2, y por último el grupo 3 que solo sería útil para zonas 22 y 2.
- Letra: Solo identifica si la protección es apta para ambientes donde se halle gas o polvo

El recuadro naranja nos explica el tipo de protecciones existentes:

Protection Symbol		Zones			Type of Protection
		0	1	2	
d			•	•	Flameproof enclosure
e			•	•	Increased safety
i	ia	•	•	•	Intrinsic safety
	ib		•	•	
	ic			•	
m	ma	•	•	•	Moulding
	mb		•	•	
	mc			•	
o			•	•	Oil immersion
q			•	•	Powder filling
n	nA			•	Non-sparking
	nC			•	Enclosed break
	nR			•	Restricted
	nL			•	Limited energy
p	px		•	•	Pressurised enclosure
	py		•	•	
	pz			•	
Op	Op is	•	•	•	Optical radiation
	Op pr		•	•	
	Op sh		•	•	

Protection Symbol		Zones			Type of Protection
		20	21	22	
tD	ta	•	•	•	Protection by enclosure
	tb		•	•	
	tc			•	
mD	maD	•	•	•	Encapsulation
	mbD		•	•	
	mcD			•	
iD	iaD	•	•	•	Intrinsic safety
	ibD		•	•	
	icD			•	
pD			•	•	Pressurised enclosure

Figura 5.21. Tabla de seguridades existentes en inglés.

El recuadro verde define la peligrosidad del medio inflamable en comparación a otros medios tabulados o también llamado grupo de explosividad.

- I: Solo para equipos que se encuentren en minas.
- IIX: En caso de que el medio se un gas explosivo.
 - A (amoniaco)
 - B (gas ciudad)
 - C (hidrogeno)
- IIIX: En caso de polvos explosivos:
 - A
 - B
 - C

(Donde C expresa las sustancias más peligrosas).

El siguiente elemento corresponde a la clase térmica del polvo o gas según temperatura de ignición o de la capa de polvo:

- T1 < 450 °C
- T2 < 300 °C
- T3 < 200 °C
- T4 < 135 °C
- T5 < 100 °C
- T6 < 85 °C

(Siendo T6 la clase térmica de máxima protección).

Y la última clasificación corresponde al nivel de protección que es equivalente a las zonas donde el instrumento en cuestión es apto:

- GX:
 - A: Zonas de alto riesgo
 - B: Zonas de riesgo medio
 - C: Zonas de riesgo Bajo
- DX:
 - A: Zonas de alto riesgo
 - B: Zonas de riesgo medio
 - C: Zonas de riesgo Bajo

Teniendo en cuenta todas estas consideraciones y las clasificaciones de cada zona de la planta, se decide que los elementos mecánicos sean ATEX con la siguiente clasificación:

II 2G 1D Ex ia IIC T3 T80°C Gb Da

Se cree oportuna este tipo de marcaje ya que en las zonas de proceso no se esperan presencias persistentes de vapores, pero sí de polvos, ya que, por carga del catalizador en el reactor, hay

posibilidad de que se levanten grandes nubes de polvo, de ahí a que se haya escogido la máxima seguridad para la clase térmica. También cabe recalcar que la protección intrínseca es adecuada ya que protege los elementos mecánicos de cortocircuitos evitando así que salten chispas en las inmediaciones de su ubicación. Aunque haya muchas zonas y algunas de ellas con menos requisitos de protección, se escoge instrumentación con tal etiquetaje ATEX para poder marcar un estándar en toda la fábrica y así facilitar su reemplazo en caso de rotura de un elemento.

5.11. Salud e higiene

La salud e higiene ocupacional en una planta de producción química constituye un pilar fundamental para garantizar el bienestar de los trabajadores, la seguridad de las operaciones y el cumplimiento normativo. Este apartado detalla medidas enfocadas en aspectos generales de salud e higiene, complementando y respetando la Ley 31/1995 ⁸ de Prevención de Riesgos Laborales y su marco regulador asociado. El objetivo principal es integrar la prevención en todos los niveles de la organización y establecer un entorno de trabajo que minimice los riesgos para la salud.

5.11.1. Identificación y gestión de riesgos generales

La identificación de riesgos es el primer paso esencial para proteger la salud de los trabajadores. En el contexto de una planta química, donde se manipulan sustancias potencialmente peligrosas y se opera maquinaria de alta complejidad, los riesgos de carácter transversal deben gestionarse de manera eficiente para evitar consecuencias graves.

Riesgos principales:

- **Estrés térmico:** La exposición prolongada a temperaturas extremas puede derivar en agotamiento por calor o, en condiciones de frío, en hipotermia. Para mitigar este riesgo, se han implementado sistemas de climatización en las áreas de mayor exposición. Además, se suministran uniformes térmicos adecuados para cada estación del año, especialmente en zonas de trabajo al aire libre. El monitoreo continuo de las condiciones térmicas, junto con pausas programadas, asegura el bienestar de los empleados.
- **Riesgos musculoesqueléticos:** Las posturas inadecuadas o la manipulación de cargas pesadas son responsables de un porcentaje significativo de los accidentes laborales. Se promueve la ergonomía en el diseño de estaciones de trabajo, combinada con programas de formación en técnicas seguras de levantamiento y manipulación de materiales.
- **Exposición a agentes químicos:** La evaluación periódica de las concentraciones de agentes químicos en el aire se realiza utilizando sistemas de monitoreo avanzados, que garantizan que los valores se mantengan dentro de los límites permitidos establecidos en el Real Decreto 374/2001 ¹¹. Esto es especialmente crítico en zonas de almacenamiento y procesos donde se manejan sustancias peligrosas.

Herramientas para la gestión de riesgos:

- Mapas de riesgos actualizados trimestralmente.
- Evaluaciones específicas de tareas críticas.
- Sistemas de reporte y análisis de incidentes.

5.11.2. Protocolos integrados de higiene industrial

Para prevenir enfermedades ocupacionales, se implementan medidas de higiene que abordan tanto los riesgos identificados como las necesidades específicas de cada área de la planta.

1. Control ambiental continuo:

- Se han instalado sistemas avanzados de ventilación que garantizan un flujo constante de aire limpio en áreas críticas, como las salas de producción y laboratorios. Estas instalaciones cumplen con las normativas internacionales, como las directrices de la OSHA y el Real Decreto 486/1997 ¹².
- Sensores en tiempo real detectan cambios en la calidad del aire, activando alarmas automáticas si se exceden los límites permitidos de sustancias peligrosas.

2. Higiene personal:

- Los vestuarios están divididos en zonas limpias y contaminadas, con duchas obligatorias al finalizar el turno para trabajadores expuestos a agentes químicos.
- Se proporcionan equipos de protección individual (EPIs) desechables, como guantes y mascarillas, en estaciones específicas para evitar la contaminación cruzada.

3. Limpieza y descontaminación:

- Los protocolos de limpieza diaria incluyen la eliminación de residuos en contenedores certificados para sustancias peligrosas. Se asegura que cada área sea inspeccionada semanalmente por el equipo de seguridad.
- Duchas de emergencia y lavaojos están ubicados estratégicamente y equipados con agua a presión regulada, cumpliendo con la norma OSHA 1910.151 ¹³.

5.11.3. Vigilancia de la salud

La vigilancia de la salud de los trabajadores es una actividad prioritaria y debe realizarse de manera continua. Según el Artículo 22 de la Ley 31/1995 ⁸, esta vigilancia debe adaptarse a los riesgos específicos de cada puesto:

- Exámenes médicos específicos:
 - Trabajadores expuestos a productos inhalables: Espirometrías anuales para medir la capacidad pulmonar.

- Manipulación de agentes tóxicos: Pruebas sanguíneas para detectar posibles acumulaciones de metales pesados o compuestos orgánicos.
- Programas de salud mental:
 - El estrés laboral es un factor que puede afectar significativamente el rendimiento y la seguridad. Por ello, se han introducido programas de apoyo psicológico, que incluyen sesiones de mindfulness y acceso a consejería confidencial.

5.11.4. Capacitación y sensibilización

La formación es clave para garantizar que los trabajadores comprendan y apliquen correctamente las medidas de seguridad e higiene.

- Reconocimiento de riesgos:
 - Se imparten cursos periódicos sobre el sistema GHS, enfocados en el entendimiento de pictogramas, frases H y fichas de datos de seguridad.
- Simulacros:
 - Cada trimestre se realizan simulacros de emergencia para preparar al personal frente a derrames o fugas.
- Formación especializada:
 - Los supervisores reciben capacitación adicional sobre liderazgo en seguridad, asegurando que puedan responder adecuadamente a cualquier situación crítica.

5.11.5. Coordinación de actividades empresariales

Cuando varias empresas operan en el mismo centro de trabajo, es esencial garantizar la seguridad de todos los empleados. En cumplimiento con el Real Decreto 171/2004 ¹⁰:

- Se realiza una reunión mensual de coordinación, donde se discuten los riesgos compartidos y las medidas preventivas conjuntas.
- Cada empresa debe presentar un informe detallado de sus actividades y riesgos asociados.

5.11.6. Indicadores de rendimiento en salud e higiene

Para asegurar la mejora continua, se implementan indicadores clave de rendimiento:

- Tasa de incidentes: Monitoreo mensual del número de accidentes y su gravedad.
- Evaluación de auditorías: Resultados de inspecciones internas y externas.
- Satisfacción del personal: Encuestas anuales para medir el impacto de las medidas de seguridad e higiene implementadas.

Con estas estrategias, la planta asegura no solo el cumplimiento normativo, sino también un ambiente laboral seguro y saludable que fomente el bienestar integral de los trabajadores.

5.12. Equipos de protección individual (EPIs)

Tal y como se ha mencionado en apartados anteriores, el trabajo en una planta química implica múltiples riesgos debido a la manipulación de sustancias peligrosas, la exposición a temperaturas extremas, el uso de maquinaria pesada y la posibilidad de incidentes imprevistos. Para minimizar estos riesgos y garantizar la seguridad de los trabajadores, es fundamental el uso de EPIs.

Los EPIs son dispositivos diseñados específicamente para proteger a los trabajadores frente a riesgos laborales que no pueden ser eliminados completamente mediante medidas técnicas, organizativas o de protección colectiva. Su uso adecuado permite reducir la probabilidad de lesiones y enfermedades profesionales, garantizando un ambiente de trabajo seguro y en cumplimiento con las normativas de prevención de riesgos laborales.

- **Protección de la cabeza:**

El objetivo de estos EPIs es proteger la cabeza del trabajador frente a impactos, caída de objetos, golpes contra estructuras y riesgos eléctricos.

 - Casco de seguridad: Fabricado con materiales resistentes a impactos y deformaciones.
 - Gorra antigolpes (chichonera): Recomendado en zonas con riesgo de golpes leves contra objetos fijos.
- **Protección ocular y facial:**

Se requiere para prevenir daños en los ojos y el rostro debido a salpicaduras de productos químicos, partículas en suspensión o radiación intensa.

 - Gafas de seguridad anti salpicadura: Diseñadas para resistir impactos y proteger contra sustancias químicas.
 - Pantalla facial: Indicada en trabajos de soldadura, corte con herramientas y exposición a radiaciones o chispas.
- **Protección auditiva:**

En entornos donde el ruido supera los límites permitidos, es obligatorio el uso de protección auditiva para prevenir daños en la audición.

 - Tapones auditivos: Reducen el ruido ambiental y son cómodos para uso prolongado.
 - Cascos de protección acústica: Más eficaces en entornos con ruidos de alta intensidad y exposición prolongada.
- **Protección respiratoria:**

El uso de protección respiratoria es esencial en plantas químicas donde hay riesgo de inhalación de gases, vapores tóxicos, polvo o partículas suspendidas en el aire.

 - Mascarilla auto filtrante: Adecuada para partículas en suspensión, como polvos o fibras.
 - Máscara de gas con filtro intercambiable: Específica para vapores y gases tóxicos.
 - Equipo de respiración autónomo: Usado en situaciones de alta toxicidad o deficiencia de oxígeno.
- **Protección de manos y brazos:**

Las manos están en contacto directo con herramientas, sustancias químicas y superficies calientes, por lo que requieren protección específica.

- Guantes anticorrosivos: Fabricados en nitrilo, neopreno o PVC, dependiendo del tipo de sustancia manipulada.
- Guantes dieléctricos: Diseñados para proteger contra riesgos eléctricos.
- Guantes térmicos: Recomendados para trabajos con altas o bajas temperaturas.
- Protección del tronco y cuerpo:
 - La ropa de protección evita lesiones por contacto con productos químicos, calor, fuego o agentes mecánicos.
 - Ropa ignífuga y antiestática: Previene incendios y explosiones en zonas con riesgo de ignición.
 - Abrigo térmico: Para entornos con temperaturas extremadamente bajas, como cámaras frigoríficas o áreas climatizadas.
- Protección de piernas y pies:
 - El calzado de seguridad es esencial para evitar accidentes por caída de objetos, resbalones o perforaciones en el suelo.
 - Botas de seguridad con puntera metálica: Protegen frente a impactos y caídas de objetos pesados.
 - Calzado antiestático: Evita la acumulación de electricidad estática, reduciendo el riesgo de incendios y explosiones.
 - Botas de caucho resistentes a productos químicos: Utilizadas en zonas donde hay riesgo de derrames de sustancias corrosivas.
- Protección contra caídas
 - En trabajos en altura, es obligatorio el uso de dispositivos que eviten caídas o reduzcan su impacto.
 - Arnés de seguridad con línea de vida: Esencial en trabajos en estructuras elevadas.
 - Cuerdas y mosquetones de seguridad: Complementarios para maniobras de rescate o posicionamiento.

En SynPhos, la seguridad de los trabajadores es una prioridad, por lo que se exige el uso obligatorio de Equipos de Protección Individual adecuados a cada tarea y área de trabajo. Para proteger la visión de los empleados ante riesgos de impacto o salpicaduras, se requiere el uso de gafas de protección anti salpicadura. Del mismo modo, la manipulación de sustancias químicas peligrosas exige el uso de guantes anticorrosivos que proporcionen una barrera efectiva contra agentes nocivos. Para evitar la inhalación de vapores tóxicos en ciertas zonas de la planta, es obligatorio el uso de una máscara de gas con filtro adecuado.

En cuanto a los trabajos en altura, los trabajadores deben portar un arnés anticaída, garantizando su seguridad en tareas que impliquen riesgo de caída. Para la protección craneal, el uso de casco de seguridad es indispensable en todas las áreas con riesgo de impacto. Además, en espacios confinados o con estructuras bajas, se recomienda el uso de una gorra antigolpes para prevenir contusiones.

La exposición a temperaturas extremas en ciertas zonas de la planta hace necesario el uso de abrigo térmico y ropa ignífuga, los cuales brindan protección contra el frío y el riesgo de incendios. Para evitar lesiones en los pies y reducir riesgos eléctricos, es obligatorio el uso de botas de puntera metálica antiestáticas, diseñadas para resistir impactos y prevenir la acumulación de electricidad estática. Finalmente, en entornos con niveles elevados de ruido, los trabajadores deben utilizar tapones auditivos o cascos de protección acústica para prevenir daños auditivos.

Además, se han implementado controles de uso obligatorio en puntos estratégicos, como la entrada a áreas de alto riesgo, donde se supervisa que cada trabajador porte el equipo adecuado. Estas medidas garantizan que la seguridad no dependa solo de la elección individual, sino que sea una política activa dentro de la empresa.

5.13. Señalización

La señalización de seguridad es un elemento fundamental en la gestión de la prevención de riesgos laborales dentro de una planta industrial. Su objetivo es garantizar que los trabajadores, visitantes y cualquier persona que acceda a las instalaciones puedan identificar de manera rápida y eficaz los peligros, las obligaciones y las medidas de emergencia disponibles. Una señalización clara y bien ubicada contribuye significativamente a la reducción de accidentes, facilita la evacuación en caso de emergencia y refuerza la cultura de seguridad en el entorno laboral.

Las normativas vigentes establecen criterios específicos para la señalización de seguridad, incluyendo el uso de colores, formas y pictogramas normalizados, de modo que sean comprensibles de manera universal. En este apartado, se detallarán los distintos tipos de señalización, su importancia, ubicación adecuada y los requisitos normativos aplicables.

5.13.1. Tipos de Señalización de Seguridad

La señalización de seguridad en una planta industrial se divide en varias categorías, cada una con una función específica. A continuación, se presentan los tipos más relevantes:

- **Señales de Advertencia**
Las señales de advertencia tienen como finalidad alertar sobre la presencia de peligros potenciales en determinadas áreas o situaciones. Se caracterizan por su forma triangular, con un fondo amarillo y un pictograma negro que representa el riesgo.



Figura 5.22. Señales de advertencia.

- **Señales de Obligación**

Este tipo de señalización indica acciones que deben cumplirse obligatoriamente para la seguridad de los trabajadores. Su formato es circular, con fondo azul y pictogramas blancos.



Figura 5.23. Señales de obligación.

- **Señales de Prohibición**

Estas señales indican acciones que están terminantemente prohibidas debido a que podrían generar riesgos inminentes para la seguridad de los trabajadores. Tienen un formato circular con fondo blanco, pictograma negro y una franja roja en diagonal.



Figura 5.24. Señales de prohibición.

- Señales de Emergencia

Las señales de emergencia indican la ubicación de elementos clave para la seguridad, como salidas de emergencia, equipos de primeros auxilios o rutas de evacuación. Estas señales son de forma rectangular o cuadrada, con fondo verde y pictogramas blancos.

Pictograma evacuación y primeros auxilios

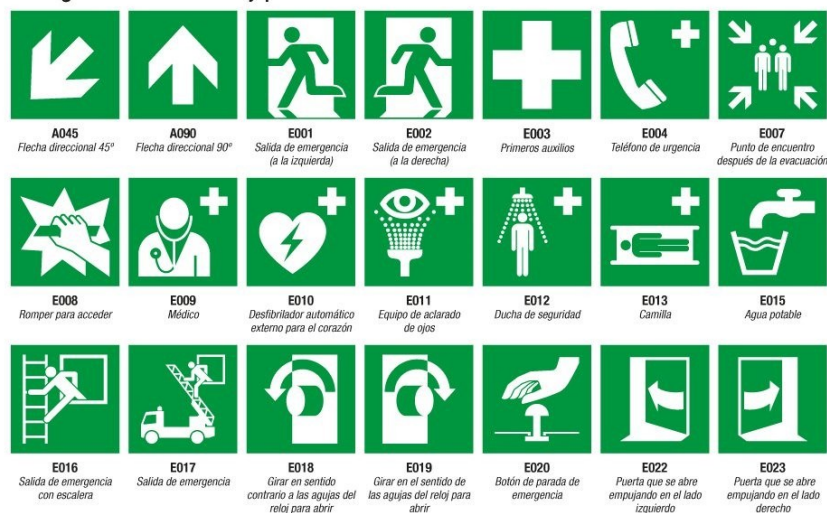


Figura 5.25. Señales de emergencia.

- Señales de Equipos Contra Incendios

Este tipo de señalización es fundamental para la rápida localización de equipos y sistemas de extinción en caso de un incendio. Se presentan en formato rectangular o cuadrado, con fondo rojo y pictogramas blancos.



Figura 5.26. Señales de equipos contra incendios.

5.13.3. Ubicación y Mantenimiento

Para que la señalización de seguridad cumpla con su función de manera eficaz, es crucial su correcta ubicación y mantenimiento periódico.

- Ubicación estratégica: Las señales deben instalarse en lugares visibles y accesibles, asegurando que no estén obstruidas por objetos o maquinaria.
- Condiciones de visibilidad: En zonas con poca iluminación, se recomienda el uso de materiales reflectantes o señales retroiluminadas.
- Mantenimiento periódico: Se deben realizar inspecciones regulares para garantizar que las señales no estén deterioradas, borrosas o caídas. En caso de daños, deben ser reemplazadas de inmediato.
- Capacitación del personal: Es esencial que los trabajadores sean instruidos sobre el significado y la importancia de cada tipo de señalización, reforzando su comprensión mediante formación periódica.

5.14. Plan de actuación de emergencia

La gestión de emergencias es un componente crítico dentro del plan de seguridad e higiene de la planta. Un plan de emergencia bien estructurado permite minimizar el impacto de incidentes graves y garantizar la protección del personal, las instalaciones y el medio ambiente. Este documento detalla los procedimientos específicos para la identificación, respuesta y control de situaciones de emergencia en la planta de producción química.

5.14.1. Identificación de situaciones de emergencia

Las emergencias en una planta de producción química pueden clasificarse en diversas categorías, dependiendo de su origen y potencial impacto. Entre las más relevantes se encuentran:

- Derrames de sustancias peligrosas: La fuga de productos químicos puede generar contaminación ambiental, afectaciones a la salud de los trabajadores y riesgos de incendios o explosiones.
- Incendios y explosiones: Provocados por fallos en los sistemas eléctricos, combustión de sustancias inflamables o reacciones químicas inesperadas.
- Fugas de gases tóxicos: Emisión de vapores o gases peligrosos que pueden comprometer la salud de los trabajadores y la población circundante.
- Fallos estructurales o colapsos: Derrumbes de edificios o fallos en los soportes estructurales debido a cargas excesivas o deterioro de los materiales.
- Cortes de suministro energético: Interrupciones en el sistema eléctrico que pueden generar fallos en los equipos de seguridad y control.
- Accidentes laborales graves: Situaciones en las que los trabajadores sufren lesiones severas que requieren asistencia médica inmediata.
- Fenómenos naturales que afecten la integridad de la planta: Terremotos, inundaciones o tormentas severas que comprometan la estabilidad de las operaciones.
- Amenazas externas: Sabotajes, actos de vandalismo o ataques cibernéticos que puedan comprometer la seguridad de la planta y la continuidad operativa.

Cada una de estas situaciones requiere una respuesta rápida y efectiva para minimizar el daño a las personas, las instalaciones y el medio ambiente.

5.14.2. Protocolos de actuación

Para garantizar una respuesta eficiente en caso de emergencia, se establecen los siguientes procedimientos:

Detección y alerta:

- Sensores automáticos de gases tóxicos y sistemas de alarma audibles y visuales.
- Comunicación inmediata con el centro de control de emergencias.
- Registro en tiempo real de incidentes mediante software de monitoreo.
- Implementación de códigos de emergencia estandarizados para facilitar la comunicación interna.

Evacuación y confinamiento:

1. Señalización clara de las rutas de evacuación y puntos de reunión seguros.
2. Procedimientos para la reclusión en áreas seguras en caso de fugas de gases.
3. Ejecución de simulacros mensuales para asegurar el conocimiento y aplicación de los procedimientos.
4. Protocolos para la asistencia de personas con movilidad reducidas.
5. Uso de sistemas de megafonía para proporcionar instrucciones en tiempo real durante una evacuación.

Intervención primaria:

- Equipos de primera respuesta entrenados en el uso de extintores, duchas de descontaminación y primeros auxilios.
- Uso de trajes de protección química en casos de exposición a sustancias peligrosas.
- Disponibilidad de botiquines en puntos estratégicos y formación periódica en primeros auxilios.
- Aplicación de protocolos de control de daños para minimizar pérdidas materiales.
- Acceso inmediato a planes de contención de derrames y barreras de protección ambiental.

5.14.3. Coordinación con servicios externos

La planta mantiene acuerdos de colaboración con los siguientes servicios de emergencias.

- Bomberos locales y unidades especializadas en materiales peligrosos.
- Servicios médicos y ambulancias de intervención rápida.
- Autoridades ambientales y de protección civil para la contención de derrames y contaminación.
- Fuerzas de seguridad en caso de eventos de alto riesgo o sabotaje.
- Equipos de respuesta a emergencias químicas especializados en sustancias altamente tóxicas.

Además, se realizan simulacros trimestrales en coordinación con estos organismos para evaluar la efectividad de los procedimientos y realizar ajustes cuando sea necesario.

5.14.4. Capacitación y formación en emergencias

Para asegurar una preparación óptima ante posibles incidentes, se implementan programas de formación que incluyen:

- Entrenamiento en evacuación y uso de equipos de seguridad.
- Capacitación especializada para brigadas internas de emergencia.
- Charlas informativas periódicas sobre identificación de riesgos y procedimientos de respuesta.
- Uso de herramientas digitales y realidad virtual para la formación en manejo de crisis.
- Simulaciones en entornos controlados para evaluar tiempos de respuesta y desempeño del personal.
- Capacitación específica sobre manejo de materiales peligrosos, con prácticas en escenarios reales y laboratorios controlados.

Estos programas son revisados anualmente y adaptados según las lecciones aprendidas de incidentes previos o simulacros realizados.

5.14.5. Evaluación y mejora continua

Para garantizar la efectividad del plan de actuación de emergencia, se implementan mecanismos de evaluación continua, tales como:

- Auditorías internas y externas: Revisión periódica de los procedimientos y equipamiento de seguridad.
- Análisis de incidentes: Registro detallado de todas las emergencias ocurridas y su respuesta para detectar oportunidades de mejora.
- Actualización de protocolos: Revisión y mejora constante de los procedimientos con base en normativas actualizadas y avances tecnológicos.
- Encuestas y retroalimentación del personal: Recopilación de opiniones de los trabajadores para optimizar la efectividad del plan.
- Revisión de tiempos de respuesta: Análisis detallado de la eficiencia en la ejecución de los protocolos y mejoras en la velocidad de reacción.
- Implementación de nuevas tecnologías: Incorporación de drones para monitoreo en tiempo real y robots autónomos para la evaluación de zonas de riesgo.

5.14.6. Gestión post emergencia

Tras la resolución de una emergencia, es fundamental evaluar el impacto del incidente y ejecutar planes de recuperación adecuados:

- Evaluación de daños: Inspección de las áreas afectadas para determinar la magnitud del impacto y definir estrategias de reconstrucción.
- Apoyo psicológico al personal: Provisión de asistencia psicológica a los trabajadores involucrados en la emergencia para minimizar el impacto emocional y el estrés postraumático.
- Restablecimiento de operaciones: Implementación de protocolos para la reanudación segura y escalonada de las actividades productivas.
- Revisión de planes de contingencia: Ajustes en las estrategias de respuesta basados en el análisis de la emergencia ocurrida.
- Coordinación con aseguradoras: Gestión de reclamaciones y reportes detallados para la obtención de compensaciones en caso de daños materiales.

5.15. Análisis de riesgos

En el ámbito de la industria química, la identificación y gestión de riesgos es un pilar fundamental para garantizar la seguridad operativa y la protección del personal, las instalaciones y el medio ambiente. Una de las metodologías más utilizadas para evaluar peligros en procesos industriales es el Análisis de Peligros y Operabilidad (HAZOP, por sus siglas en inglés: Hazard and Operability Analysis).

El método HAZOP es un enfoque sistemático diseñado para identificar desviaciones en los parámetros operativos de un proceso, evaluando sus causas, consecuencias y medidas de mitigación. Se basa en un análisis estructurado que descompone el sistema en secciones o nodos de estudio, utilizando palabras guía para detectar posibles anomalías en el funcionamiento de los equipos y sistemas.

Este análisis resulta particularmente útil en instalaciones químicas, donde la manipulación de sustancias peligrosas y las condiciones de operación pueden generar escenarios de alto riesgo. Mediante la aplicación de la metodología HAZOP, es posible:

- Identificar posibles fallos en los procesos y su impacto en la seguridad.
- Evaluar las consecuencias de desviaciones en variables clave como presión, temperatura, flujo y concentración de sustancias.
- Proponer medidas correctivas y preventivas para reducir la probabilidad de incidentes.
- Mejorar el diseño y operación de sistemas mediante una evaluación temprana de riesgos.

En este capítulo, se abordará el proceso de implementación del HAZOP en la planta, incluyendo la definición del equipo de trabajo, la selección de nodos de análisis, la identificación de desviaciones y la documentación de resultados. El objetivo principal es fortalecer la gestión de seguridad, asegurando que todas las etapas del proceso cumplan con los más altos estándares de prevención de riesgos.

Antes de explicar el HAZOP se cree pertinente introducir las palabras que se usarán en el análisis.

Tabla 5.6. Palabras clave utilizadas en el HAZOP.

Palabra guía	Significado
Inverso	Oposición a lo esperado o funcionamiento en sentido contrario
Diferente de	Desviación de la condición normal o prevista
Menos	Cantidad menor de la esperada o necesaria.
Más	Cantidad mayor de la prevista o recomendada
Además	Introducción de una cualidad adicional o inesperada.
Parte de	Inicio de un proceso desde un punto específico
No	Indica ausencia total de la variable en cuestión

Tabla 5.7. Tabla de HAZOP para el equipo vaporizador.

HAZOP			PÁGINA: 1/3
Área	Equipo	TAG	
A-100	Vaporizador	V-101 y V102	

Tabla 5.8. Tabla de HAZOP para el equipo vaporizador.

HAZOP					PÁGINA: 2/3
Área	Equipo			TAG	
A-100	Vaporizador			HAZOP	
Palabra guía	Desviación	Causa	Consecuencia	Respuesta	Acción correctora
NO	Flujo	Obstrucción en tuberías Falla en bomba	Ineficiencia en la vaporización Baja producción de vapor	Activación de alarma Revisión del sistema	Inspección y mantenimiento de tuberías y bombas
MÁS	Flujo	Fallo en válvulas de control	Sobrecarga térmica Inestabilidad en la generación de gas	Ajuste de reguladores Monitoreo del sistema	Revisión y calibración de válvulas de control
MENOS	Presión	Fugas en el sistema Insuficiente suministro de fluido	Disminución en la eficiencia de vaporización	Inspección de fugas Ajuste del suministro	Reparación de fugas Mantenimiento del sistema

Tabla 5.9. Tabla de HAZOP para el equipo vaporizador.

HAZOP					PÁGINA: 3/3
Área	Equipo			TAG	
A-100	Vaporizador			HAZOP	
Palabra guía	Desviación	Causa	Consecuencia	Respuesta	Acción correctora
MÁS	Presión	Acumulación de vapor Sobrecarga del sistema	Riesgo de explosión Daños en tuberías y equipos	Inspección de válvulas Monitoreo de presión	Revisión y mantenimiento de válvulas de seguridad
NO	Flujo	Obstrucción en tuberías Falla en bomba	Ineficiencia en la vaporización Baja producción de vapor	Activación de alarma Revisión del sistema	Inspección y mantenimiento de tuberías y bombas
MÁS	Exceso de flujo de fluido	Fallo en válvulas de control	Sobrecarga térmica, inestabilidad en la generación de vapor	Ajuste de reguladores y monitoreo del sistema	Revisión y calibración de válvulas de control

Tabla 5.10. Tabla de HAZOP para el mezclador.

HAZOP			PÁGINA: 1/4
Área	Equipo	TAG	
A-100	Mezclador	M-101-04	

Tabla 5.11. Tabla de HAZOP para el mezclador.

HAZOP					PÁGINA: 2/4
Área	Equipo			TAG	
A-100	Mezclador			M-101-04	
Palabra guía	Desviación	Causa	Consecuencia	Respuesta	Acción correctora
NO	Flujo	Fuga	Mezcla incompleta Baja eficiencia del proceso	Activación de alarma Revisión del sistema	Inspección y mantenimiento de tuberías y bombas
MÁS	Flujo	Fallo en válvulas de control	Pérdida de control de la mezcla	Ajuste de reguladores y monitoreo del sistema	Revisión y calibración de válvulas de control
MENOS	Presión	Fugas en el sistema, baja alimentación	Mezcla ineficiente Alteración en el proceso	Inspección de fugas Limpieza del sistema	Reparación de fugas Ajuste en el suministro
PARTE DE	Mezcla desigual	Mala distribución del material en el mezclador	Producto final inconsistente	Revisión de la distribución de flujo	Ajuste de puntos de inyección y revisión del diseño

Tabla 5.12. Tabla de HAZOP para el mezclador.

HAZOP					PÁGINA: 3/4
Área	Equipo			TAG	
A-100	Mezclador			M-101-04	
Palabra guía	Desviación	Causa	Consecuencia	Respuesta	Acción correctora
NO	Flujo	Fuga	Mezcla incompleta Baja eficiencia del proceso	Activación de alarma Revisión del sistema	Inspección y mantenimiento de tuberías y bombas
MÁS	Flujo	Fallo en válvulas de control	Pérdida de control de la mezcla	Ajuste de reguladores y monitoreo del sistema	Revisión y calibración de válvulas de control
MENOS	Presión	Fugas en el sistema, baja alimentación	Mezcla ineficiente Alteración en el proceso	Inspección de fugas Limpieza del sistema	Reparación de fugas Ajuste en el suministro
MÁS	Presión	Acumulación de gas Sobrecarga del sistema	Riesgo de daño estructural Mezcla no homogénea	Inspección de válvulas Monitoreo de presión	Revisión y mantenimiento de válvulas de seguridad

Tabla 5.13. Tabla de HAZOP para el mezclador.

HAZOP					PÁGINA: 4/4
Área	Equipo			TAG	
A-100	Mezclador			M-101-04	
Palabra guía	Desviación	Causa	Consecuencia	Respuesta	Acción correctora
DIFERENTE	Cambio en las propiedades del material	Variación en la materia prima Contaminación	Disminución de eficiencia Posible incompatibilidad	Análisis del material Ajustes en el sistema	Revisión de compatibilidad Modificación de parámetros

Tabla 5.14. Tabla de HAZOP para el intercambiador de calor.

HAZOP			PÁGINA: 1/3
Área	Equipo	TAG	
A-100 y A-300	Intercambiador de calor	HE-101-04, HE-301 y HE-302	

Tabla 5.15. Tabla de HAZOP para el intercambiador de calor.

HAZOP					PÁGINA: 2/3
Área	Equipo			TAG	
A-100 y A-300	Intercambiador de calor			HE-101-04, HE-301 y HE-302	
Palabra guía	Desviación	Causa	Consecuencia	Respuesta	Acción correctora
NO	Flujo	Obstrucción en tuberías Fallo en bomba	Disminución de transferencia de calor Baja eficiencia	Activación de alarma Revisión del sistema	Inspección y mantenimiento de tuberías y bombas
MÁS	Flujo	Fallo en válvulas de control	Estrés mecánico en tuberías Posible fuga	Ajuste de reguladores Monitoreo del sistema	Revisión y calibración de válvulas de control
MENOS	Presión	Fugas en el sistema Acumulación de incrustaciones	Ineficiencia en la transferencia de calor	Inspección de fugas Limpieza de intercambiador	Reparación de fugas Desincrustación del sistema

Tabla 5.16. Tabla de HAZOP para el intercambiador de calor.

HAZOP					PÁGINA: 3/3
Área	Equipo			TAG	
A-100 y A-300	Intercambiador de calor			HE-101-04, HE-301 y HE-302	
Palabra guía	Desviación	Causa	Consecuencia	Respuesta	Acción correctora
MÁS	Alta presión en el intercambiador	Acumulación de depósitos Sobrecarga del sistema	Riesgo de ruptura de tubos Pérdida de fluido	Inspección de válvulas Monitoreo de presión	Revisión y mantenimiento de válvulas de seguridad
INVERSO	Flujo de fluido en dirección opuesta	Fallo en válvulas de retención Error en configuración	Reducción en eficiencia térmica, posible daño estructural	Inspección de válvulas de retención	Instalación o mantenimiento de válvulas de retención
PARTE DE	Transferencia de calor desigual	Ensuciamiento de tubos Fallas en la distribución	Pérdida de rendimiento, puntos fríos o calientes	Revisión de la distribución de flujo	Limpieza y mantenimiento del intercambiador

Tabla 5.17. Tabla de HAZOP para el reactor.

HAZOP			PÁGINA: 1/4
Área	Equipo	TAG	
A-200	Reactor	R-201 y R-202	

Tabla 5.18. Tabla de HAZOP para el reactor.

HAZOP					PÁGINA: 2/4
Área	Equipo			TAG	
A-200	Reactor			R-201 y R-202	
Palabra guía	Desviación	Causa	Consecuencia	Respuesta	Acción correctora
NO	Flujo	Obstrucción en tuberías Fallo en bombas	Conversión incompleta Baja producción	Activación de alarma Revisión del sistema	Inspección y mantenimiento de tuberías y bombas
MÁS	Flujo	Fallo en válvulas de control	Posible sobrecarga térmica Disminución de eficiencia	Ajuste de reguladores Monitoreo del sistema	Revisión y calibración de válvulas de control
MENOS	Presión	Pérdidas en el sistema Bloqueo parcial de catalizador	Ineficiencia del proceso Reducción del rendimiento	Inspección de fugas Estado del catalizador	Reparación de fugas Reemplazo de catalizador si es necesario

Tabla 5.19. Tabla de HAZOP para el reactor.

HAZOP					PÁGINA: 3/4
Área	Equipo			TAG	
A-200	Reactor			R-201 y R-202	
Palabra guía	Desviación	Causa	Consecuencia	Respuesta	Acción correctora
MÁS	Presión	Acumulación de productos no reaccionados Bloqueo de salida	Riesgo de explosión Daño en el equipo	Inspección de válvulas Monitoreo de presión	Revisión y mantenimiento de válvulas de seguridad
INVERSO	Flujo	Configuración incorrecta	Reducción en la eficiencia	Inspección de válvulas de retención	Instalación de válvulas de retención
PARTE DE	Distribución desigual en tubos del reactor	Ensuciamiento del catalizador	Conversión irregular Puntos calientes en el reactor	Revisión de la distribución de flujo	Limpieza y mantenimiento del catalizador

Tabla 5.20. Tabla de HAZOP para el reactor.

HAZOP					PÁGINA: 4/4
Área	Equipo			TAG	
A-200	Reactor			R-201 y R-202	
Palabra guía	Desviación	Causa	Consecuencia	Respuesta	Acción correctora
DIFERENTE	Composición	Variación en la materia prima Error en suministro	Alteración en la conversión Posible daño al catalizador	Análisis de reactivos Ajustes en el sistema	Revisión de compatibilidad Modificación de parámetros Revisión de las líneas de alimentación

Tabla 5.21. Tabla de HAZOP para el equipo expensor.

HAZOP			PÁGINA: 1/3
Área	Equipo	TAG	
A-200	Expansor	E-201 y E-202	

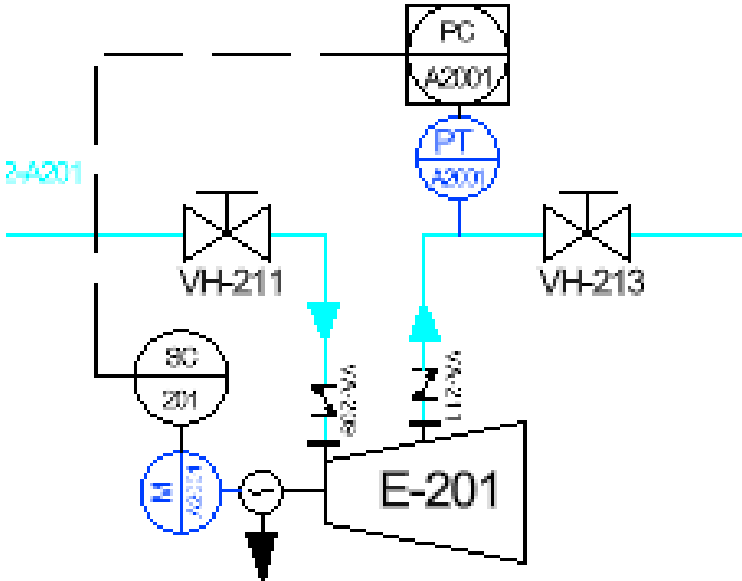


Tabla 5.22. Tabla de HAZOP para el equipo expensor.

HAZOP				PÁGINA: 2/3
Área	Equipo		TAG	
A-200	Expensor		E-201 y E-202	
Palabra guía	Desviación	Consecuencia(s)	Respuesta	Acción correctora
NO	Flujo	Sobrecalentamiento Posible falla mecánica	Inspección inmediata de la línea de alimentación	Verificación de válvulas y líneas de alimentación
MÁS	Flujo	Daño en componentes internos Cavitación	Regulación del flujo y monitoreo	Mantenimiento del transmisor de presión
MENOS	Presión	Ineficiencia del proceso Menor producción de energía	Análisis del sistema Ajuste de presión	Inspección de filtros y posibles fugas
MÁS	Presión	Estrés mecánico en el sistema Riesgo de explosión	Instalación de sistema de alivio	Inspección de alarma Ajuste automático del control de presión

Tabla 5.23. Tabla de HAZOP para el equipo expensor.

HAZOP				PÁGINA: 3/3
Área	Equipo		TAG	
A-200	Expensor		E-201 y E-202	
Palabra guía	Desviación	Consecuencia(s)	Respuesta	Acción correctora
INVERSO	Flujo	Posible daño en componentes	Instalación de sistema de válvulas de retención	Mantenimiento más frecuente
PARTE DE	Pérdida parcial de gas	Disminución del rendimiento Fugas peligrosas	Identificación y reparación de fugas	Inspección de uniones y empaques
DIFERENTE	Composición	Posible incompatibilidad con materiales del expensor	Análisis de composición del gas	Ajuste de parámetros Rediseño del sistema

Tabla 5.24. Tabla de HAZOP para el equipo compresor.

HAZOP			PÁGINA: 1/4
Área	Equipo	TAG	
A-200	Compresor	CG-201 y CG-202	

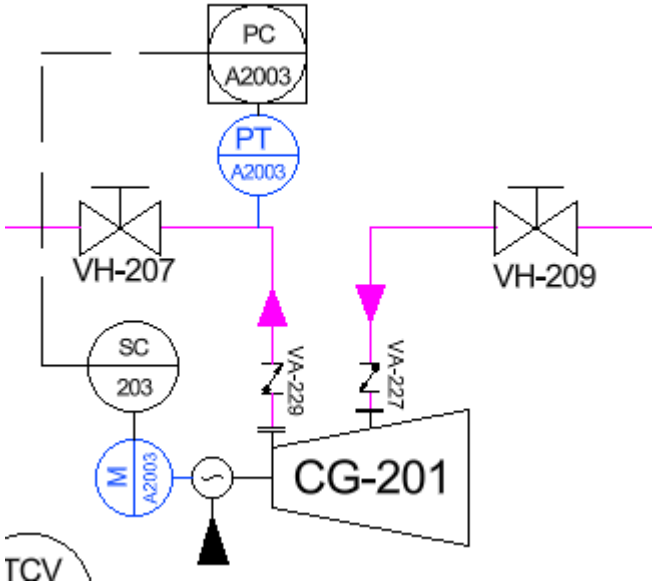


Tabla 5.25. Tabla de HAZOP para el equipo compresor.

HAZOP					PÁGINA: 2/4
Área	Equipo			TAG	
A-200	Compresor			CG-201 y CG-202	
Palabra guía	Desviación	Causa	Consecuencia	Respuesta	Acción correctora
NO	Flujo	Obstrucción Falla de válvulas	Sobrecalentamiento del compresor Pérdida de eficiencia	Activación de alarma Revisión del sistema	Inspección y limpieza de válvulas
MÁS	Flujo	Fallo en transmisores de presión	Desgaste prematuro del compresor Posible daño mecánico	Ajuste de reguladores Monitoreo del sistema	Revisión y calibración de transmisores de presión
MENOS	Presión	Fugas en el sistema Obstrucción	Pérdida de rendimiento Ineficiencia del proceso	Inspección de fugas y tuberías	Reparación de fugas y mantenimiento de tuberías

Tabla 5.26. Tabla de HAZOP para el equipo compresor.

HAZOP					PÁGINA: 3/4
Área	Equipo			TAG	
A-200	Compresor			CG-201 y CG-202	
Palabra guía	Desviación	Causa	Consecuencia	Respuesta	Acción correctora
MÁS	Presión	Sobrecarga del compresor	Riesgo de explosión Fallo del compresor	Inspección de válvulas Monitoreo de presión	Instalación de válvulas de alivio
INVERSO	Flujo	Falla en válvulas de retención Cambio en la configuración	Daño en componentes	Aislar el flujo	Instalación de válvulas de retención
PARTE DE	Variaciones en la velocidad del compresor	Fallo en controladores electrónicos Fluctuación de energía	Inestabilidad en la producción Desgaste irregular	Revisión de sistemas de control y energía	Ajuste de controladores Estabilización de suministro

Tabla 5.27. Tabla de HAZOP para el equipo compresor.

HAZOP					PÁGINA: 4/4
Área	Equipo			TAG	
A-200	Compresor			CG-201 y CG-202	
Palabra guía	Desviación	Causa	Consecuencia	Respuesta	Acción correctora
DIFERENTE	Composición	Contaminación de la línea Error en selección de gas	Incompatibilidad con materiales Posible corrosión	Análisis del gas A Ajustes en el sistema	Revisión de compatibilidad Modificación de parámetros

Tabla 5.28. Tabla de HAZOP para el scrubber.

HAZOP			PÁGINA: 1/3
Área	Equipo	TAG	
A-300	Scrubber	SC-301 y SC-302	

Tabla 5.29. Tabla de HAZOP para el scrubber.

HAZOP					PÁGINA: 2/3
Área	Equipo			TAG	
A-300	Scrubber			SC-301 y SC-302	
Palabra guía	Desviación	Causa	Consecuencia	Acción correctora	Respuesta
NO	Flujo	Ineficiencia de la absorción de gases fuga en tuberías	Pérdida de material Interrupción del proceso	Inspección y mantenimiento preventivo de líneas y válvulas	Verificar sistema de llenado, sellado Reportar la fuga
MÁS	Flujo	Posible desbordamiento Pérdida de solución absorbente	Reducción de la eficiencia del scrubber	Inspección de los aspersores	Mantenimiento de los aspersores
INVERSO	Flujo	Fallo en las válvulas de control Pérdida de vacío	Reducción de eficiencia Posible daño en el equipo	Verificar las válvulas Comprobar dirección del flujo	Inspeccionar y ajustar las válvulas de control

Tabla 5.30. Tabla de HAZOP para el scrubber.

HAZOP					PÁGINA: 3/3
Área	Equipo			TAG	
A-300	Scrubber			SC-301 y SC-302	
Palabra guía	Desviación	Causa	Consecuencia	Acción correctora	Respuesta
DIFERENTE DE	Composición	Composición inadecuada de la solución absorbente	Ineficiencia del proceso de absorción	Monitoreo de la composición	Instalar sistema de monitoreo
PARTE DE	Fallo en componente	Desgaste o fallo en componentes como bombas, válvulas	Pérdida de eficiencia, daños en otras partes	Inspeccionar el componente afectado	Realizar mantenimiento preventivo de todos los componentes
ADEMÁS	Condiciones adicionales	Perdida de vacío	Eficiencia reducida Riesgo de corrosión en equipos	Monitorear todas las condiciones operacionales	Instalar sensores adicionales para medición continua

Tabla 5.31. Tabla de HAZOP para el tanque de almacenamiento.

HAZOP			PÁGINA: 1/3
Área	Equipo	TAG	
A-300	Tanque de almacenamiento	TA-301-8	

Tabla 5.32. Tabla de HAZOP para el tanque de almacenamiento.

HAZOP					PÁGINA: 2/3
Área	Equipo			TAG	
A-300	Tanque de almacenamiento			TA-301-8	
Palabra guía	Desviación	Causa	Consecuencia	Acción correctora	Respuesta
NO	Almacenamiento	Fallo en el sistema de llenado Fuga en tuberías	Pérdida de material Interrupción del proceso	Inspección y mantenimiento preventivo de líneas y válvulas	Verificar sistema de llenado, sellado y reportar la fuga
MÁS	Nivel de llenado	Fallo en el sistema de control Sobrealimentación	Riesgo de desbordamiento daños estructurales	Instalación de alarmas de nivel ajuste del control de flujo	Reducir flujo de entrada activar sistemas de seguridad
MENOS	Nivel de llenado	Fuga en el tanque Suministro insuficiente	Falta de disponibilidad de la base Afectación en la concentración	Revisión de integridad estructural Monitoreo de niveles	Inspeccionar tuberías y fuentes de suministro

Tabla 5.33. Tabla de HAZOP para el tanque de almacenamiento.

HAZOP					PÁGINA: 3/3
Área	Equipo			TAG	
A-300	Tanque de almacenamiento			TA-301-8	
Palabra guía	Desviación	Causa	Consecuencia	Acción correctora	Respuesta
DIFERENTE DE	Temperatura	Fallo en el sistema de control térmico Acumulación de calor	Exceso de temperatura	Implementación de sensores de temperatura y alarmas	Ajustar temperatura Inspeccionar sistemas de control
ADEMÁS DE	Fugas en el tanque	Deterioro en sellos Exceso de presión	Riesgo ambiental Pérdida de material	Inspección y reemplazo periódico de sellos	Contener fuga Reparar sellos Monitorear presión
MÁS	Presión	Falla en válvulas de alivio Sobrealimentación	Daños estructurales, riesgo de fuga	Instalación de válvulas de alivio Monitoreo de presión	Abrir válvulas de alivio Reducir flujo de entrada

Tabla 5.34. Tabla de HAZOP para el condensador.

HAZOP			PÁGINA: 1/4
Área	Equipo	TAG	
A-200	Condensador	C-201 y C-202	

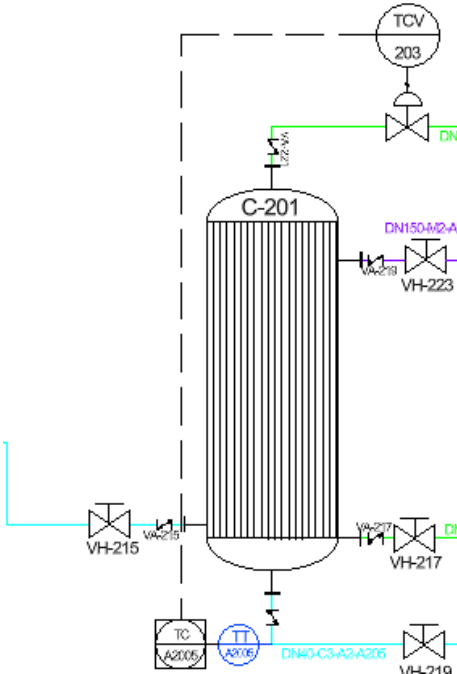


Tabla 5.35. Tabla de HAZOP para el condensador.

HAZOP					PÁGINA: 2/4
Área	Equipo			TAG	
A-200	Condensador			C-201 y C-202	
Palabra guía	Desviación	Causa	Consecuencia	Acción correctora	Respuesta
NO	Condensación	Fallo en el suministro de refrigerante Bloqueo en tuberías	Pérdida de eficiencia Sobrecalentamiento del sistema	Inspección y limpieza periódica de intercambiadores de calor	Revisar suministro de refrigerante Purgar tuberías si es necesario
MÁS	Condensación	Flujo de refrigerante demasiado alto Baja temperatura del refrigerante	Condensación de subproductos no deseados	Ajustar flujo del refrigerante	Reducir flujo de refrigerante Verificar integridad de las válvulas reguladoras Verificar integridad de los transmisores de temperatura
MENOS	Condensación	Baja velocidad del flujo de refrigerante Obstrucciones	Reducción de eficiencia del proceso Sobrecalentamiento	Monitoreo de presión y temperatura Limpieza de tubos	Aumentar flujo Revisar estado de tuberías de refrigeración Verificar integridad de las válvulas e instrumentación

Tabla 5.36. Tabla de HAZOP para el condensador.

HAZOP					PÁGINA: 3/4
Área	Equipo			TAG	
A-200	Condensador			C-201 y C-202	
Palabra guía	Desviación	Causa	Consecuencia	Acción correctora	Respuesta
INVERSO	Flujo	Configuración incorrecta	Desequilibrio térmico	Instalar válvulas de retención	Aislar flujo Verificar conexiones
DIFERENTE DE	Temperatura	Fallo en el sistema de control de temperatura flujo de refrigerante inadecuado	Desviaciones en el equilibrio térmico Daños en los equipos	Revisión de sensores de temperatura y alarmas	Ajustar temperatura Inspeccionar sistemas de control
ADEMÁS DE	Fugas en el condensador	Deterioro en sellos Exceso de presión	Riesgo ambiental Pérdida de material	Inspección y reemplazo periódico de sellos	Contener fuga Reparar sellos Monitorear presión

Tabla 5.37. Tabla de HAZOP para el condensador.

HAZOP					PÁGINA: 4/4
Área	Equipo			TAG	
A-200	Condensador			C-201 y C-202	
Palabra guía	Desviación	Causa	Consecuencia	Acción correctora	Respuesta
NO	Presión	Obstrucción en tuberías Falla en bombas	Reducción de eficiencia en la condensación	Verificación de tuberías Inspección de bombas Instalar descalcificador	Revisar tuberías y conexiones
MÁS	Presión	Falla en válvulas de alivio/seguridad Sobrealimentación	Daños estructurales Riesgo de fuga	Monitoreo de presión	Reducir flujo de entrada Revisar válvula de alivio/seguridad

Tabla 5.38. Tabla de HAZOP para el tanque de mezcla.

HAZOP			PÁGINA: 1/3
Área	Equipo	TAG	
A-300	Tanque de mezcla	TM-301-4	

Tabla 5.39. Tabla de HAZOP para el tanque de mezcla.

HAZOP					PÁGINA: 2/3
Área	Equipo			TAG	
A-300	Tanque de mezcla			TA-301-4	
Palabra guía	Desviación	Causa	Consecuencia	Acción correctora	Respuesta
NO	Mezcla	Falla en el agitador Acumulación de sedimentos Bloqueo en tuberías	Agente neutralizador no homogéneo Residuos no neutralizados	Inspección y limpieza periódica Mantenimiento preventivo Revisar descalcificador	Revisar y reiniciar agitador Purgar tuberías si es necesario
MENOS	Mezcla	Baja velocidad del agitador Válvulas parcialmente cerradas	Agente neutralizador no homogéneo	Monitoreo de velocidad y presión Ajuste de válvulas	Aumentar velocidad Revisar configuraciones de agitación
ADEMÁS DE	Fugas	Deterioro en sellos Exceso de presión	Riesgo ambiental Pérdida de material	Inspección y reemplazo periódico de sellos	Contener fuga Reparar sellos Monitorear presión

Tabla 5.40. Tabla de HAZOP para el tanque de mezcla.

HAZOP					PÁGINA: 3/3
Área	Equipo			TAG	
A-300	Tanque de mezcla			TA-301-4	
Palabra guía	Desviación	Causa	Consecuencia	Acción correctora	Respuesta
MÁS	Presión	Falla en válvulas de alivio Sobrealimentación	Daños estructurales Riesgo de fuga	Mantenimiento de válvulas de alivio Monitoreo de presión	Abrir válvulas de alivio Reducir flujo de entrada

Tabla 5.41. Tabla de HAZOP para las bombas.

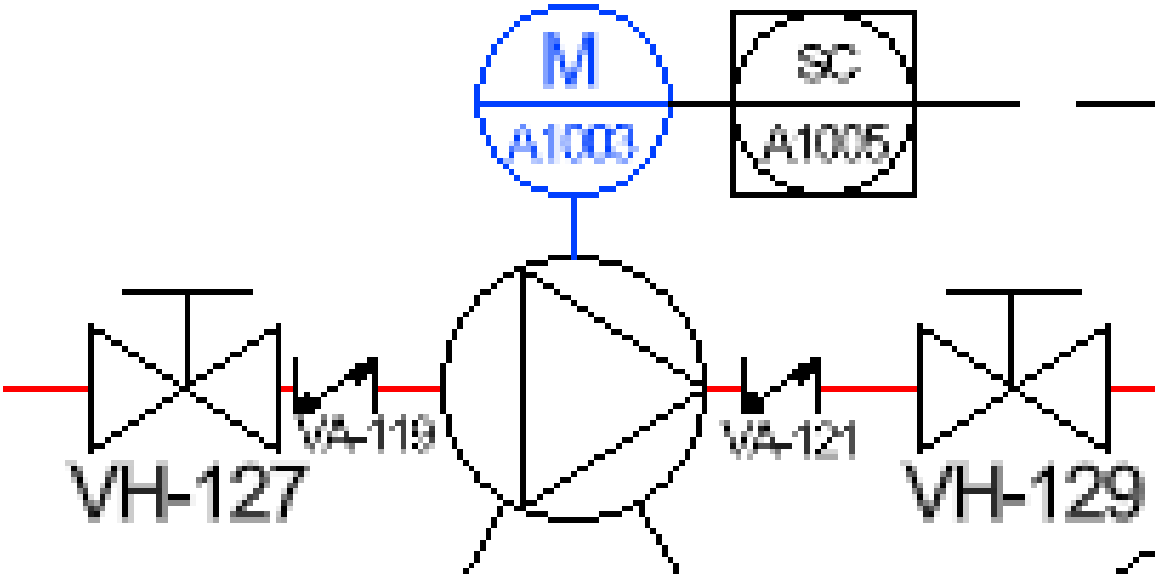
HAZOP			PÁGINA: 1/5
Área	Equipo	TAG	
A-100, A-200, A-300 y A-500	Bombas	PS-101-04, PM-201, PM-202, PS-301-12	
			

Tabla 5.42. Tabla de HAZOP para las bombas.

HAZOP					PÁGINA: 2/5
Área	Equipo			TAG	
A-100, A-200, A-300 y A-500	Bombas			PS-101-04, PM-201, PM-202, PS-301-12	
Palabra guía	Desviación	Causa	Consecuencia	Acción correctora	Respuesta
NO	Flujo	Obstrucción en tuberías de succión Falla en la bomba Cierre de válvulas	Reducción de producción Sobrecalentamiento de la bomba Cavitación	Inspección y limpieza periódica de tuberías Mantenimiento preventivo	Activar sistema de respaldo Revisar válvulas Reportar incidencia
MÁS	Flujo	Fallo en el sistema de control de presión Válvulas abiertas en exceso	Aumento de presión en tuberías Daños en componentes	Instalar sensores de presión	Reducir presión de línea Ajustar válvulas Verificar sensores
MENOS	Flujo	Fallo en la succión Bajo caudal alimentación	Cavitación Sobrecalentamiento Pérdida de eficiencia	Mantenimiento regular del sistema de succión	Inspeccionar succión Tener repuestos Instalar bomba auxiliar

Tabla 5.43. Tabla de HAZOP para las bombas.

HAZOP					PÁGINA: 3/5
Área	Equipo			TAG	
A-100, A-200, A-300 y A-500	Bombas			PS-101-04, PM-201, PM-202, PS-301-12	
Palabra guía	Desviación	Causa	Consecuencia	Acción correctora	Respuesta
INVERSO	Flujo	Inversión de conexión eléctrica	Contaminación del proceso Daño en otros equipos	Mantenimiento del equipo	Verificar conexiones Instalar y crear plan de mantenimiento para válvulas antirretorno
DIFERENTE DE	Vibraciones anormales	Desbalanceo del impulsor Cavitación Rodamientos desgastados	Desgaste prematuro Aumento de ruido Pérdida de eficiencia	Balanceo de impulsores Monitoreo de vibraciones	Parar bomba realizar inspección mecánica Corregir balanceo
ADEMÁS DE	Fugas	Sellos mecánicos dañados Exceso de presión	Riesgo ambiental, corrosión, pérdida de material	Inspección y reemplazo periódico de sellos	Contener fuga Reparar sellos Monitorear presión

Tabla 5.44. Tabla de HAZOP para las bombas.

HAZOP					PÁGINA: 4/5
Área	Equipo			TAG	
A-100, A-200, A-300 y A-500	Bombas			PS-101-04, PM-201, PM-202, PS-301-12	
Palabra guía	Desviación	Causa	Consecuencia	Acción correctora	Respuesta
NO	Falta de presión	Bomba averiada	Pérdida de eficiencia Paro de producción	Revisión frecuente de presión en la línea de descarga	Instalar bomba alternativa Alimento insuficiente para el siguiente equipo
MÁS	Temperatura	Problemas en la refrigeración Sobrecarga mecánica	Daño en componentes internos Riesgo de incendio	Implementación de sensores de temperatura Alarmas de sobrecalentamiento	Detener bomba inspeccionar refrigeración Ajustar carga
MENOS	Eficiencia energética	Desgaste del motor Desalineación del eje	Consumo excesivo de energía Reducción de vida útil de la bomba	Programa de mantenimiento predictivo	Evaluar consumo eléctrico, Revisar alineación Optimizar operación

Tabla 5.45. Tabla de HAZOP para las bombas

HAZOP					PÁGINA: 5/5
Área	Equipo			TAG	
A-100, A-200, A-300 y A-500	Bombas			PS-101-04, PM-201, PM-202, PS-301-12	
Palabra guía	Desviación	Causa	Consecuencia	Acción correctora	Respuesta
ADEMÁS DE	Ruido excesivo	Desalineación del eje Cavitación Falta de lubricación	Fatiga del equipo Incomodidad para el personal	Lubricación regular Alineación de ejes Monitoreo acústico	Inspeccionar soportes Ajustar alineación Lubricar

5.15. Bibliografía

1. CLP, "Reglamento (CE) 1272/2008":
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32008R1272>
2. BOE, "Real Decreto 255/2003, de 28 de febrero":
<https://www.boe.es/eli/es/rd/2003/02/28/255>
3. ECHA, "Pictogramas CLP":
<https://echa.europa.eu/regulations/clp/clp-pictograms>
4. Publicación de las Naciones Unidas, "Frases H y P":
https://unece.org/DAM/trans/danger/publi/ghs/ghs_rev04/Spanish/ST-SG-AC10-30-Rev4sp.pdf
5. BOE, "Real Decreto 78/2019, de 22 de febrero, sobre medidas de control de sustancias químicas":
https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2019-4357
6. Institut d'Estudis de la Seguretat
https://www.tecnifuego.org/recursos/arxius/20100317_0955Anexo_IDES.pdf
7. Modelado en Ingeniería, "Material de Integración III":
<https://www.modeladoeningenieria.edu.ar/images/IntegracionIII/Material-ext/20102BT24022421824010402121073.pdf>
8. BOE, "Real Decreto 1406/1989, de 10 de noviembre":
<https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2004-21216>
9. Agencia Estatal BOE, "Ley 31/1995, de Prevención de Riesgos Laborales":
<https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-1995-24292>
10. Agencia Estatal BOE, "Real Decreto 39/1997, Reglamento de los Servicios de Prevención":
<https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-1997-1853>
11. Agencia Estatal BOE, "Real Decreto 171/2004, sobre coordinación de actividades empresariales":
<https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2004-1848>
12. BOE, "Real Decreto 374/2001, sobre riesgos por agentes químicos en el trabajo":
<https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2001-8436>
13. Agencia Estatal BOE, "Real Decreto 486/1997, sobre seguridad en los lugares de trabajo":
<https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-1997-8866>

14. Occupational Safety and Health Administration, *"Guía de seguridad para plantas químicas"*:
<https://www.osha.gov>
15. BOE, *"Real Decreto 681/2003, sobre protección en atmósferas explosivas"*:
<https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2003-12099>
16. Tameson, *"Etiquetado ATEX"*:
<https://tameson.es/pages/etiquetado-atex>
17. BOE, *"Real Decreto 773/1997, sobre equipos de protección individual"*:
<https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-1997-12735>
18. BOE, *"Real Decreto 1407/1992, sobre requisitos de comercialización de EPIs"*:
<https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-1992-28644>
19. ISO 7010, *"Pictogramas estandarizados para seguridad laboral, Establece los pictogramas estandarizados para señales de seguridad en entornos laborales"*.
20. Seton, *"Pictogramas y paneles según norma ISO 7010"*:
<https://www.seton.es/pictogramas-paneles-norma-iso7010.html>
21. BOE, *"Real Decreto 485/1997, sobre señalización de seguridad en el trabajo"*:
<https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-1997-8668>
22. UNE 23033-1, *"Señalización de equipos contra incendios"*:
<https://www.distincion.eu/normativa-europea/une-23033-1-seguridad-contra-incendios-senalizacion-de-seguridad>
23. Imagen de señalización de seguridad:
https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcRlp9DF8JKC2TpCirQ9gDqRBZZcuXGc_g27Fg&s
24. Tienda Mundo Laboral, *"Señales de prohibición A3"*:
https://tiendamundolaboral.net/6765-large_default/senales-de-prohibicion-a3.jpg
25. Imagen de señalización de seguridad:
https://tiendamundolaboral.net/6765-large_default/senales-de-prohibicion-a3.jpg
26. Tienda Mundo Laboral, *"Señales de prohibición A3"*:
https://tiendamundolaboral.net/6765-large_default/senales-de-prohibicion-a3.jpg