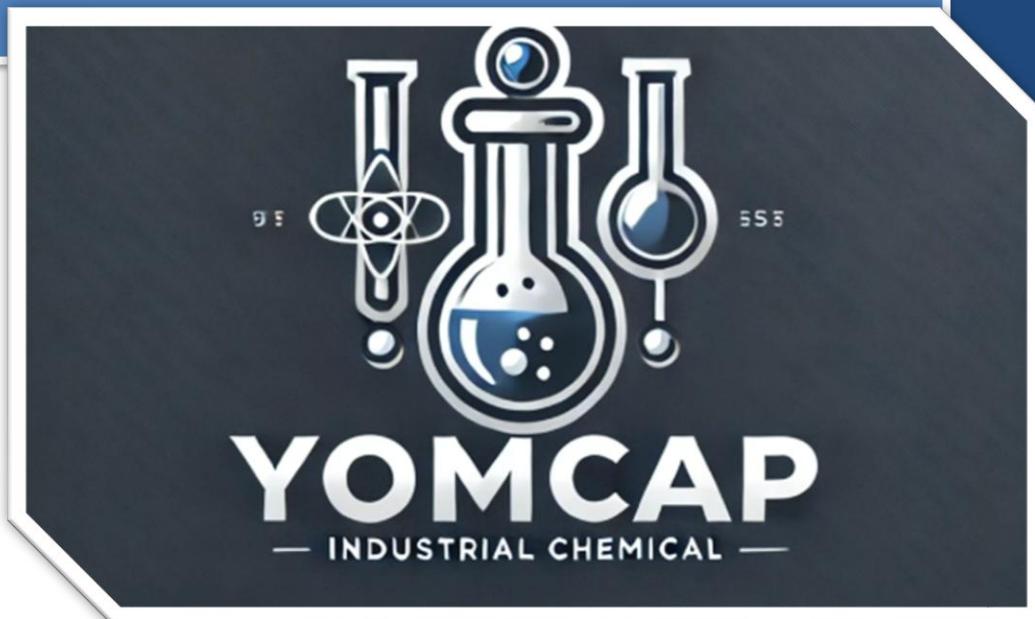


PLANTA DE PRODUCCIÓN DE MDA

PROYECTO DE FIN DE GRADO

INGENIERÍA QUÍMICA



Abel Baños García

Victor C. Becerra Hernández

Yhamiley R. Mila Nuñez

Claude F. Kamnang Tchatchouang

Patrícia Jover Segura

Oscar Lorenzo Lama

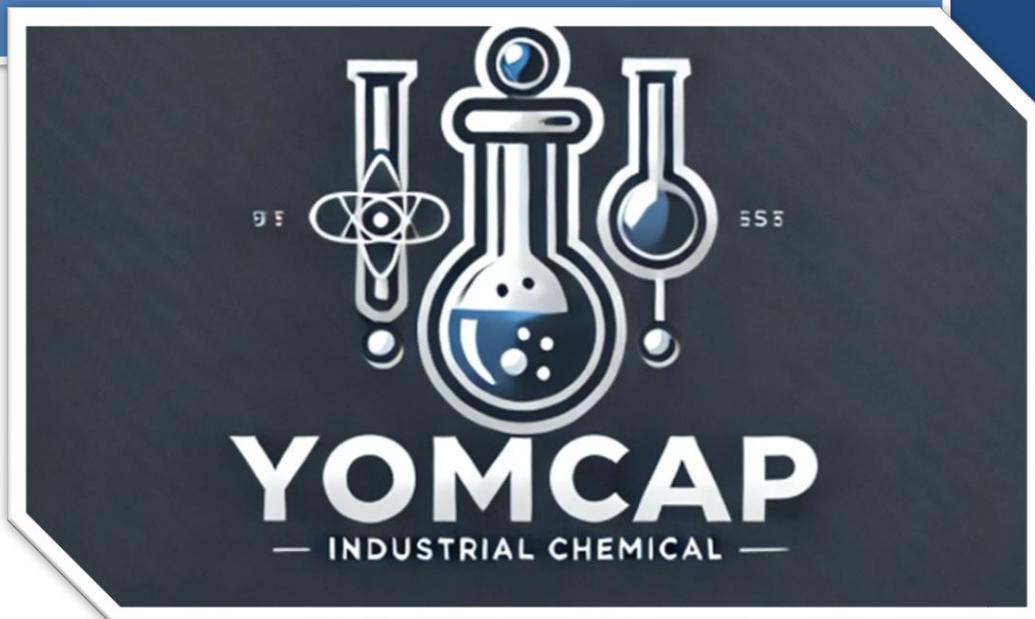
Miquel Ruiz Zamorano

TUTOR:
Antoni Sánchez Ferrer

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE MDA

PROYECTO DE FIN DE GRADO

INGENIERÍA QUÍMICA



CAPÍTULO 5:
SEGURIDAD Y HIGIENE

ÍNDICE

5.1. Introducción	3
5.2. Sustancias químicas	3
5.2.1. Peligrosidad y riesgos	4
5.3. Almacenamiento de productos químicos	6
5.3.1 ITC aplicable	7
5.4. Distancia de seguridad	9
5.3.1. Distancia mínima de seguridad entre recipientes	10
5.4.2. Distancia mínima de seguridad entre instalaciones	11
5.5. Carga y descarga	12
5.6. Señalización en planta	13
5.6.1. Señales en forma de panel, luminosas, acústicas y gestuales	14
5.6.2. Señalización de conducciones	16
5.7. ATEX	17
5.8. Higiene	19
5.8.1. Higiene en el entorno laboral	19
5.8.2. Higiene personal	20
5.9. Protección contra incendios	20
5.10. Plan de autoprotección	23
5.10.1. Plan de emergencia interno	25
5.10.1.1. Análisis del riesgo	25
5.10.1.2. Medidas y medios de protección	25
5.10.1.3. Manual y actuación en emergencias	26
5.10.1.4. Implementación y mantenimiento	26
5.10.2. Plan de emergencia exterior	27
5.10.3. Formatos de notificación de accidentes	27
5.11. Primeros auxilios	28
5.12. Equipo de protección	30
5.12.1. Equipos de protección colectiva (EPC)	30
5.12.2. Equipos de protección individual (EPI)	31
5.13. Riesgo de vertidos	32
5.14. HAZOP	34
RCFP (R-103): Área 100	36
5.14. Bibliografía	39
2. Almacenamiento de productos químicos	39

4. Carga y descarga de productos químicos	39
6. Normativa ATEX	40
8. Protección contra incendios	40
10. Primeros auxilios	41
12. Riesgo de vertidos	41
13. Análisis HAZOP	41

5.1. Introducción

Es importante cumplir con las normas que garantizan la seguridad y salud de los trabajadores, a parte de la protección del medio ambiente, durante el desarrollo de actividades de producción en cualquier entorno.

Según un informe presentado por la federación empresarial de la industria química española (Feique) en 2020, la industria química es uno de los sectores más seguros y con menos accidentes en España, lo que indica que se toman buenas medidas de seguridad, aun así, es importante seguir extremando las medidas que se aplican ya que un simple accidente puede tener repercusiones muy graves.

Para poder evitar los accidentes es necesario analizar los riesgos, planificar e implementar un sistema que funcione de manera óptima en la planta, para así poder minimizar el peligro en caso de accidente. También es importante tener un buen control de las instalaciones y una buena formación para que los trabajadores sepan como trabajar correctamente en la planta y actuar en caso de emergencia.

5.2. Sustancias químicas

Las sustancias utilizadas para la producción del MDA son las siguientes:

- Materias primas: Anilina (C6H5NH2), Ácido clorhídrico (HCl), Formaldehído (CH2O) e Hidróxido de sodio (NaOH).
- Intermedios: Hidrocloruro de anilina (C6H5ClN) e Hidrocloruro de MDA (C13H16Cl2N2).
- Subproductos: Agua (H2O) y Cloruro de sodio (NaCl).
- Producto: MDA (C13H14N2).
- Otras sustancias presentes en la planta: Vapor de agua (H2O), Agua oxigenada (H2O2) y Dióxido de carbono (CO2).

5.2.1. Peligrosidad y riesgos

Una vez conocidas y especificadas las sustancias presentes durante la producción de MDA hace falta conocer sus peligros y riesgos.

Esto se llevará a cabo a partir de pictogramas para determinar los peligros que la sustancia puede llegar a causar, de las “frases H¹” que describen con palabras específicas los peligros de un producto químico, según el SGA².

Tabla 5.1: Pictogramas, palabras de advertencia y frases H para cada compuesto

Compuesto	Pictogramas	Palabra de advertencia	Frases H
Anilina ($C_6H_5NH_2$)		Peligro	H301+H311+H331, H372, H318, H317, H410, H341, H351
Ácido clorhídrico (HCl)		Atención	H290, H314, H335
Hidrocloruro de anilina (C_6H_5ClN)		Peligro	H317, H318, H372, H341, H351, H301+311+331, H400
Formaldehído (CH_2O)		Peligro	H317, H350, H335, H314, H370, H341, H301+H311, H330
Hidróxido de sodio (NaOH)		-	H290, H314
MDA ($C_{13}H_{14}N_2$)		Peligro	H317, H350, H373, H341, H370, H301, H400, H411

¹ Hazard Statements

² Sistema globalmente armonizado de clasificación y etiquetado de productos químicos

			
Hidrocloruro de MDA (C₁₃H₁₆Cl₂N₂)		Atención	Para este compuesto no hay datos disponibles en humanos, pero hay evidencia suficiente de carcinogenicidad en animales, por lo que se determina que posiblemente es cancerígeno para los seres humanos. Todos los estudios que se han hecho son con ratas y ratones, ninguno en humanos.
Agua oxigenada (H₂O₂)		Atención	H319
Dióxido de carbono (CO₂)		Atención	H280

A continuación, se encuentra la explicación de las frases H presentes en la tabla 5.1:

- H280: Contiene gas a presión, lo cual provoca peligro de explosión en caso de calentamiento.
- H290: Puede ser corrosivo para los metales.
- H301: Tóxico si se ingiere.
- H301+H311+H331: Tóxico en caso de ingestión, contacto con la piel o inhalación.
- H301+H311: Es tóxico en caso de ingestión o en contacto con la piel.
- H314: Provoca quemaduras graves en la piel y lesiones oculares graves.
- H317: Puede provocar una reacción cutánea alérgica.
- H318: Provoca irritación ocular grave.
- H319: Provoca irritación ocular grave.
- H330: Mortal en caso de inhalación.
- H335: Puede irritar las vías respiratorias.
- H341: Se sospecha que provoca defectos genéticos.
- H350: Puede provocar cáncer.
- H351: Se sospecha que provoca cáncer.

- H370: Provoca daños en los órganos.
- H372: Provoca daños en los glóbulos rojos, en la sangre tras exposiciones prolongadas o repetidas.
- H373: Puede provocar daños en los órganos tras exposiciones prolongadas o repetidas.
- H400: Muy tóxico para los organismos acuáticos.
- H410: Es muy tóxica para los organismos acuáticos, con efectos nocivos duraderos.
- H411: Muy tóxico para la vida acuática con efectos duraderos.

5.3. Almacenamiento de productos químicos

Tabla 5.2: Sustancias que se almacenan con su indicación de peligro, categoría de toxicidad CLP e ITC aplicable

Sustancia	Estado	Indicación de peligro	Categoría toxicidad CLP	ITC aplicable
Ácido clorhídrico 37% (HCl)	Líquido	H314, H335	Corrosivo (cat. 1B), Toxicos específicos (exp. única cat.3)	MIE APQ-6
Anilina	Líquido	H226, H301, H311, H331, H373, H412	Inflamable (Flam. Liq. 3), Tóxico agudo (cat. 3), Toxicidad específica (exp. repetida cat. 2), Peligroso para el medio acuático (cat. 3)	MIE APQ-7 (mas restrictiva que MIE APQ-1 para liq. Inflamables)
Hidróxido de sodio 50% (NaOH)	Líquido	H314	Corrosivo (cat. 1A)	MIE APQ-6
Formaldehido 37% (CH ₂ O)	Líquido	H301, H311, H331, H351	Toxico agudo (cat. 3), cancerígeno (cat. 2), mutagénico (cat.2), Sensibilizante cutáneo y respiratorio (cat.1)	MIE APQ-7
Peróxido de hidrogeno (H ₂ O ₂)	Líquido	H271, H302, H314	Comburente (cat. 1), toxicos agudos (cat. 4), irritante cutáneo (cat.2), Lesivo ocular grave (cat. 1)	MIE APQ-5, 6
Cloruro sódico (NaCl)	Sólido	No aplicable	No peligroso	No aplicable (sólido)
MDA (4,4'-metilendianilina)	Sólido	H302, H317, H351, H341	Tóxico agudo (cat. 4), cancerígena (cat. 1B), mutagénico (cat. 2), Toxicos específicos (exp. repetida cat.2), Sensibilizante cutáneo (cat.1)	No aplicable (sólido)

5.3.1 ITC aplicable

MIE APQ 6: Líquidos corrosivos (Ácido clorhídrico, Hidróxido de sodio, Peróxido de hidrógeno):

Tabla 5.3: Requisitos para el almacenamiento de sustancias bajo la regulación MIE APQ 6

Aspecto	Requisitos establecidos
Recintos de almacenamiento	Deben estar cerrados, ventilados, y diseñados para confinar derrames mediante cubetos de retención.
Cubetos de retención	Capacidad mínima del $\geq 100\%$ del volumen del mayor recipiente o 10% del volumen total almacenado
Compatibilidad química	Se deben almacenar por separado sustancias incompatibles (ácidos y bases en zonas distintas).
Materiales de construcción	Suelos y cubetos deben ser resistentes a la corrosión de las sustancias almacenadas.
Sistemas de ventilación	Natural o forzada, debe garantizar una correcta dispersión de vapores corrosivos o nocivos.
Etiquetado y señalización	Todos los recipientes deben llevar el etiquetado CLP y la zona debe estar señalizada como corrosiva.
Protección frente a vertidos	Se requiere disponer de kits de contención de derrames, equipos de protección y sistemas de limpieza.
Acceso restringido	Solo personal autorizado y formado debe tener acceso al área de almacenamiento.
Equipos de protección	Instalación de duchas de emergencia, lavaojos y EPI adecuados

MIE APQ 7: Líquidos Tóxicos (Formaldehido y Anilina):

Tabla 5.4: Requisitos para el almacenamiento de sustancias bajo la regulación MIE APQ 7

Aspecto	Requisitos establecidos
Recintos de almacenamiento	Deben ser cerrados o al aire libre, protegidos de inclemencias del tiempo. Los recipientes fijos deben estar diseñados para evitar fugas.
Cubetos de retención	Obligatorios. Impermeables, resistentes y compatibles químicamente. Capacidad mínima: 100% del volumen del mayor recipiente o el 10% del volumen total almacenado.
Compatibilidad química	Se prohíbe el almacenamiento conjunto de líquidos tóxicos con sustancias incompatibles (ácidos, bases, inflamables, comburentes, etc.)
Materiales de construcción	Los tanques deben ser construidos con materiales compatibles con la sustancia almacenada y resistentes a la corrosión y permeabilidad.
Sistemas de ventilación	Obligatorio, existe emisión de vapores tóxicos. Puede ser natural o forzada. Debe evitar acumulación de gases tóxicos en zonas cerradas.
Etiquetado y señalización	Señalización CLP visible. Indicaciones claras del riesgo tóxico, prohibiciones de acceso y procedimientos de emergencia en el área de almacenamiento.
Protección frente a vertidos	Se requiere sistema de recogida y tratamiento de derrames. Además, deben existir procedimientos de actuación ante fugas o roturas de recipientes.

Acceso restringido	Solo personal formado y autorizado puede acceder a las instalaciones. Debe disponerse de control físico o señalizado de acceso.
Equipos de protección	EPI obligatorios: guantes, mascarillas, gafas, y ropa química. También debe haber duchas de emergencia y lavaojos operativos y accesibles en caso de contacto accidental.

MIE APQ 5: Líquidos Comburentes (Peróxido de hidrógeno):

Tabla 5.5: Requisitos para el almacenamiento de sustancias bajo la regulación MIE APQ 5

Aspecto	Requisitos establecidos
Recintos de almacenamiento	Deben estar separados de otros productos (especialmente inflamables), en instalaciones independientes, cerradas y debidamente señalizadas.
Cubetos de retención	Obligatorios. Capacidad $\geq 100\%$ del volumen del mayor recipiente o 10% del volumen total almacenado. Materiales compatibles y no combustibles.
Compatibilidad química	Prohibido almacenar con sustancias inflamables, combustibles o reductoras. Los materiales de los envases, cubetos y superficies deben ser químicamente compatibles.
Materiales de construcción	Deben ser incombustibles (ej. acero inoxidable, hormigón tratado) y resistentes al oxidante almacenado.
Sistemas de ventilación	Obligatoria ventilación natural o forzada. Debe garantizar renovación suficiente para evitar acumulación de vapores oxidantes.
Etiquetado y señalización	Señalización de riesgo de comburentes (pictograma: llama sobre círculo). Etiquetas conforme al reglamento CLP visibles en las zonas de acceso y en los recipientes.
Protección frente a vertidos	Sistemas de contención: suelos impermeables, canalizaciones hacia cubetos, y planes de emergencia para derrames.
Acceso restringido	Solo personal autorizado y formado puede acceder. Se recomienda el cierre físico del área.
Equipos de protección	Obligatorio disponer de EPI adecuados: guantes resistentes, gafas, ropa anticorrosiva, duchas y lavaojos de emergencia cercanos.

MIE APQ 8: Líquidos Comburentes (Peróxido de hidrógeno):

Tabla 5.6: Requisitos para el almacenamiento de sustancias bajo la regulación MIE APQ 8

Aspecto	Requisitos establecidos por la ITC MIE APQ-8
Recintos de almacenamiento	Locales cerrados, bien ventilados y resistentes a la corrosión. Separados de otras clases de productos (inflamables, comburentes, tóxicos, etc.).
Cubetos de retención	Obligatorios. Deben ser estancos y de materiales compatibles. Capacidad $\geq 100\%$ del mayor recipiente o el 10% del volumen total almacenado.
Compatibilidad química	No se deben almacenar juntos productos corrosivos incompatibles (ácidos o bases, por ejemplo). Consultar las tablas de incompatibilidades del reglamento APQ.
Materiales de construcción	Resistentes a la acción corrosiva del producto almacenado (plásticos técnicos, acero inoxidable, materiales tratados con resinas, etc.).

Sistemas de ventilación	Obligatoria ventilación natural o forzada. Evita la acumulación de vapores corrosivos. Las salidas de aire deben conducirse al exterior adecuadamente.
Etiquetado y señalización	Pictogramas CLP (corrosión) visibles. Señales de advertencia en los accesos. Indicar claramente los peligros de contacto con piel y ojos.
Protección frente a vertidos	Suelo impermeable, sistemas de contención, medidas de neutralización disponibles (por ejemplo, cal para ácidos). Plan de actuación ante derrames.
Acceso restringido	Solo personal autorizado y entrenado. Se recomienda cierre físico del recinto o sistemas de control de acceso.
Equipos de protección	EPI obligatorio: guantes químicos, gafas de protección, pantallas faciales, ropa resistente a químicos. Duchas de seguridad y lavaojos próximos y accesibles.

5.4. Distancia de seguridad

Para garantizar la seguridad en la planta de YOMCAP es importante tener en cuenta las distancias mínimas de seguridad a cumplir entre recipientes e instalaciones que contengan algunos compuestos específicos. La información para clasificarlos y saber que se debe aplicar se encuentra en el Real Decreto 656/2017 por el que se aprueba el Reglamento de Productos Químicos y sus Instrucciones Técnicas Complementarias MIE APQ 0 a 10.

En la tabla 5.7 se muestran los compuestos a los que se debe aplicar las distancias de seguridad y su categoría, en caso de que se le haya podido asignar una, para el resto de los compuestos no se han encontrado distancias mínimas que seguir, pero se deben aplicar las precauciones necesarias en cada caso, según convenga.

Tabla 5.7: Clasificación de los compuestos según categoría

Compuesto	Categoría
Anilina	1
Formaldehído	1B
Hidrocloruro de anilina	1
MDA	1B
Hidróxido de sodio	-

5.3.1. Distancia mínima de seguridad entre recipientes

En la figura 5.1 se encuentra la normativa a seguir para determinar las distancias mínimas entre recipientes que contienen algunos de los compuestos de la tabla 5.7.

Clase de producto	Tipos de recipiente sobre los que se aplica la distancia	Distancia mínima (D = Dimensión según notas 1 y 6)	Observaciones
A	A1 Entre recipientes de subclase A1.	1/2 de la suma de los diámetros de los recipientes.	Nota 2
	A recipientes para productos de las clases A2, B o C.	D (mínimo: 15 metros).	Nota 2
	A2 Entre recipientes a presión para productos de la subclase A2.	1/4 de la suma de los diámetros de los recipientes con un mínimo de 2 metros.	Nota 2
	A recipientes para productos de las clases B ó C.	D (mínimo: 15 metros).	Nota 2
B	A recipientes para productos de las clases B o C.	0,5 D (mínimo: 1,5 metros). El valor puede reducirse a 25 metros si es superior.	Nota 5
C	A recipientes para productos de la clase C.	0,3 D (mínimo: 1,5 metros). El valor puede reducirse a 17 metros si es superior.	Nota 5
Líquidos inestables.	A recipientes para productos de cualquier clase.	D (mínimos: Los indicados arriba según su clasificación A1, A2, B ó C).	-

Nota 1. D será igual al diámetro del recipiente, salvo que su generatriz sea superior a 1,75 veces el diámetro, en cuyo caso se tomará como D la semisuma de generatriz y diámetro.

El valor de D a considerar será el que, una vez aplicadas las distancias del cuadro III-5, de lugar a la distancia mayor.

Nota 2. Cuando la capacidad total de almacenamiento sea inferior a 100 m³ se considerarán las distancias fijadas en el Capítulo VIII «Características específicas para almacenamiento de productos de la clase A», en los demás casos se aplicará el presente cuadro.

Nota 3. Si el almacenamiento de estos productos se efectúa a temperaturas superiores a su punto de inflamación, las distancias entre los recipientes se mantendrán de acuerdo con lo preceptuado para los productos de la clase B.

Nota 4. Si el almacenamiento de estos productos coexiste con el de las clases B o C, dentro de un mismo cubeto, la distancia mínima será de 0,3 D (mínimo: 1,5 metros).

Nota 5. El límite de distancia mínima podrá reducirse a un metro para productos de las clases B o C, cuando la capacidad de los tanques sea inferior a 50 m³.

Figura 5.1: Distancia mínima para compuestos de clase A, B o C.

La tabla que se muestra en la figura 5.1 se debe aplicar a recipientes que contengan Formaldehído y MDA, que serán el RCFP y el segundo RCTA que hay en la planta de YOMCAP. Teniendo en cuenta que el diámetro del RCFP es de 2 m se ha encontrado que la distancia mínima necesaria a aplicar en este caso será de 1,5 m, en el caso del RCTA el diámetro es de 4,6 m y, por tanto, la distancia mínima a aplicar será de 2,3 m.

Para los compuestos corrosivos la normativa indica que se debe mantener como mínimo a 1 m para garantizar un buen acceso, por tanto, se deberá aplicar esta normativa para los recipientes que contengan hidrocloruro de anilina, formaldehído e hidróxido de sodio.

Con relación a recipientes a presión de cualquier producto, los recipientes de líquidos tóxicos estarán en distinto cubeto y nunca alineados con el eje de los recipientes cilíndricos horizontales que estén a menos de 50 m, salvo que exista un muro que los proteja contra el impacto en caso de estallido.

5.4.2. Distancia mínima de seguridad entre instalaciones

Para instalaciones de almacenamiento de líquidos tóxicos no se exigen requisitos específicos de distancias entre ellas, deberán protegerse de los efectos de siniestros procedentes de otras instalaciones que presenten riesgo de incendio o explosión. Respecto a otras instalaciones, las instalaciones de los almacenamientos de líquidos tóxicos se situarán, como mínimo, a las distancias que resulten de aplicar el procedimiento indicado en la figura 5.2 teniendo en cuenta las características concretas en cada caso.

$$\text{Distancia (en metros)} = d \times F_A \times F_B \times F_C$$

En ningún caso la distancia será inferior a 1,5 m.

d = Distancias base en metros

	Clase de almacenamiento		
	1	2	3
Unidades de proceso, edificios propios, hornos, calderas, estaciones contra incendios, bombas, balsas separadoras de inflamables y cargadero de inflamables (clases A y B)	15	8	4
Vallado de la planta	10	5	3
Límites de propiedades exteriores en las que puedan edificarse y vías de comunicación pública (ver nota)	20	10	5
Locales y establecimientos exteriores de pública concurrencia (ver nota)	30	15	10

Notas:

1. La distancia obtenida, después de aplicar los coeficientes, no podrá ser inferior a 1,5 m.
2. En el caso de un edificio que constituya un sector de incendio independiente, considerando los criterios de sectorización del RSCIEI, no serán de aplicación las distancias de la tabla.

Figura 5.2: Medidas básicas a seguir para instalaciones que contengan líquidos tóxicos

Donde FA, FB y FC son los factores de corrección, teniendo en cuenta cada caso específico. En el caso de YOMCAP el único factor de corrección que se debe aplicar es el de FA, que hace referencia a la temperatura de ebullición, valor que se encuentra en la tabla 5.8 para cada compuesto correspondiente.

Tabla 5.8: Compuestos tóxicos presentes en la planta con su correspondiente temperatura de ebullición

Compuesto	Temperatura de ebullición (°C)
Anilina	184
Hidrocloruro de anilina	245
Formaldehído	93-96
MDA	398

Para temperaturas de ebullición superiores a 80°C el factor FA tiene un valor de 0,75 y, por tanto, teniendo en cuenta la tabla de medidas básicas que se encuentra en la tabla 5.9 y sabiendo que la clase de almacenamiento será de categoría 3, ya que no habrá una

exposición excesiva de los compuestos, se pueden encontrar las distancias mínimas de seguridad necesarias para cada caso, valores que se pueden observar en la tabla 5.9.

Tabla 5.9: Distancias mínimas a aplicar en YOMCAP entre instalaciones que contienen líquidos tóxicos

	Distancia (m)
Unidades de proceso, edificios propios, hornos, calderas, estaciones contra incendios, bombas, balsas separadoras de inflamables y cargadero de inflamables (clases A y B)	3
Vallado de la planta	2,25
Límites de propiedades exteriores en las que puedan edificarse y vías de comunicación pública	3,75
Locales y establecimientos exteriores de pública concurrencia	7,5

5.5. Carga y descarga

Durante las operaciones de carga y descarga de productos químicos en la planta, se manipulan sustancias peligrosas por lo que este procedimiento debe ir acorde con las precauciones de la ITC³ aplicable correspondiente. Todas estas operaciones deben realizarse por personal autorizado y formado, así como las áreas deben estar debidamente señalizadas con los pictogramas CLP⁴ que correspondan. El procedimiento a seguir para la carga y descarga debe estar escrito, actualizado y accesible.

Carga en los tanques de almacenamiento.

- Ácido clorhídrico (37%) y NaOH (50%): La carga se realizará mediante circuitos cerrados con bombas resistentes a la corrosión, evitando el contacto directo con el ambiente. Las zonas de carga deben disponer de cubetos de retención y duchas/lavaojos de emergencia en las inmediaciones. Se requiere el uso de EPI⁵: guantes químicos, gafas, pantalla facial, delantal resistente y calzado adecuado.
- Formaldehído (37%): Su carga debe realizarse exclusivamente a través de sistemas cerrados, con extracción localizada o ventilación forzada. Es imprescindible minimizar cualquier posible emisión de vapores. Se utilizará protección respiratoria con filtros A2B2E2K o equipos autónomos, junto con el resto de los EPI.

³ Instalación de Transferencia de Carga

⁴ Classification, Labelling and Packaging

⁵ Equipo de protección individual

- Peróxido de hidrógeno (50%): Su carga debe realizarse con materiales compatibles (como *HDPE*, *PTFE* o acero inoxidable pasivado). Se prohíbe el uso de equipos que hayan contenido sustancias orgánicas. Es obligatoria la ventilación de la zona y el uso de EPI resistentes a oxidantes.
- Anilina: La carga debe realizarse mediante circuitos cerrados con equipos fabricados en materiales compatibles, preferentemente acero inoxidable o *HDPE*⁶. Debe haber ventilación forzada o extracción localizada para evitar la acumulación de vapores. Se deben implementar medidas anti-chispas en los equipos eléctricos y garantizar la conexión a tierra de las conducciones. El uso de EPI es obligatorio: guantes de protección química, gafas cerradas o pantalla facial, ropa antiestática y protección respiratoria con filtros combinados *A2B2* o equipos autónomos si no hay ventilación suficiente.

Descarga de productos sólidos.

- Cloruro sódico: La descarga puede realizarse por gravedad o mediante sistemas mecánicos (tolvas, cintas), manteniendo el producto seco y en un entorno ventilado.
- MDA: Su descarga debe realizarse en una zona restringida y ventilada, evitando la dispersión de partículas. Se debe manipular en envases cerrados y con uso obligatorio de EPI's específicos: guantes resistentes, gafas, mascarilla con filtro *P3* o combinados y ropa protectora de un solo uso. Se recomienda realizar la descarga bajo campana o con extracción localizada.

5.6. Señalización en planta

La señalización en planta es un elemento clave para la prevención y la gestión de accidentes en casos de emergencia. En YOMCAP, siguiendo el *Real Decreto 485/1997*, se encontrarán señales en forma de panel con diferentes formas y objetivos, habrá señales luminosas, acústicas y señales gestuales. Por otro lado, también habrá señalización en las conducciones para identificar el tipo de fluido que haya en el interior.

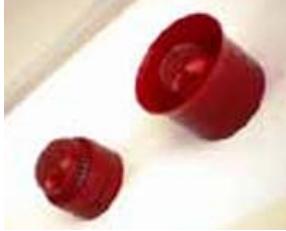
⁶ Polietileno de alta densidad

5.6.1. Señales en forma de panel, luminosas, acústicas y gestuales

Dependiendo de lo que quieran transmitir tendrán una combinación de colores u otra, en la tabla 5.10 se pueden ver los diferentes tipos de paneles que se encontrarán en la planta química.

Tabla 5.10: Señales en forma de panel que se encontrarán en YOMCAP

Tipo	Objetivo	Señales que se encontrarán en YOMCAP							
Advertencia	Advierte de un riesgo o peligro	 materias tóxicas  materias corrosivas  cargas suspendidas  riesgo de tropezar  caída a distinto nivel  vehículo de manipulación  riesgo eléctrico  peligro en general							
Prohibición	Prohibir un comportamiento susceptible de provocar un peligro	 Prohibido fumar  Prohibido fumar y encender fuego  Prohibido pasar a los peatones  Prohibido apagar con agua  Entrada prohibida a personas no autorizadas  Agua no potable  Prohibido a los vehículos de mantenimiento  No tocar							
Obligación	Obliga a un comportamiento determinado	 Protección obligatoria de la vista  Protección obligatoria de la cabeza  Protección obligatoria del oído  Protección obligatoria de las vías respiratorias  Protección obligatoria de los pies  Protección obligatoria de las manos  Protección obligatoria del cuerpo  Protección obligatoria de la cara  Protección individual obligatoria contra caídas  Vía obligatoria para peatones  Obligación general (acompañada, si procede, de una señal adicional)							
Contra incendios	Proporciona información sobre la ubicación de equipos de lucha contra incendios y acciones a seguir en	 Manguera para incendios  Escalera de mano  Extintor  Teléfono para la lucha contra incendios     Dirección que debe seguirse (señal indicativa adicional a las anteriores)							

	caso de incendio	
Salvamento	<p>Proporciona indicaciones relativas a las salidas de socorro, a los primeros auxilios o a los dispositivos de salvamento</p>	 <p>Vía/salida de socorro</p> <p>Dirección que debe seguirse (señal indicativa adicional a las siguientes)</p> <p>Teléfono de salvamento</p> <p>Primeros auxilios</p> <p>Camilla</p> <p>Ducha de seguridad</p> <p>Lavado de los ojos</p>
Luminosas/Acústicas	<p>Señales que deberán provocar un contraste luminoso apropiado respecto a su entorno, y tener un nivel sonoro superior al nivel de ruido ambiental.</p>	
Gestuales	<p>Movimiento o disposición de los brazos o de las manos en forma codificada para guiar a las personas que estén realizando maniobras que constituyan un riesgo o peligro para los</p>	

	trabajadore s.	
--	-------------------	--

5.6.2. Señalización de conducciones

Este tipo de señalización sirve para facilitar la identificación, mediante el uso del color, de la naturaleza, de un fluido que se transporte por tuberías, su estado y su sentido de circulación.

Para aplicarlo se debe seguir el criterio siguiente:

Color básico → Cuando solo se necesite especificar la naturaleza del fluido.

Color básico + complementario → Cuando además de la naturaleza sea necesario especificar su estado.

Los tipos de fluido que se encuentran en la planta química YOMCAP y su color correspondiente en cada caso se pueden observar en la tabla 5.10.

Tabla 5.11: Código de colores para la señalización de conducciones

Fluido	Color básico	Estado Fluido	Color complementario	Ejemplo		
Ácido	Naranja	Concentrado	Rojo			
Agua	Verde	Potable	Verde			
		Uso industrial	Negro			
		Residual	Negro + Negro			
Bases	Violeta	Concentrado	Rojo			
Vapor	Rojo	De alta	Blanco			
		De escape	Verde			
Vacío	Gris					

A parte de seguir estas indicaciones para la señalización de tuberías, también se deberá encontrar una señal complementaria de riesgo permanente, igual que en los recipientes de almacenamiento, esta señal es la que se observa en la figura 5.3.



Figura 5.3: señal de riesgo permanente

5.7. ZONA ATEX

En cumplimiento de la normativa ATEX (*Directivas 2014/34/UE y 1999/92/CE*) sobre atmósferas explosivas, se ha realizado una clasificación de zonas en las distintas áreas de la planta, teniendo en cuenta la presencia de sustancias inflamables o polvos combustibles. Esta zonificación permite identificar los entornos donde pueden generarse mezclas explosivas de forma continua, ocasional o excepcional, con el fin de definir medidas de prevención y protección adecuadas.

Las zonas se clasifican como:

- Zona 0: atmósfera explosiva presente de forma continua o durante largos períodos.
- Zona 1: atmósfera explosiva probable en condiciones normales de operación.
- Zona 2: atmósfera explosiva poco probable y solo durante períodos breves o anómalos.

La tabla 5.12 recoge los equipos y áreas afectadas, el tipo de sustancias manipuladas (líquidos inflamables, vapores, polvos combustibles o comburentes), así como la parte concreta del equipo o entorno clasificado según el riesgo ATEX identificado.

Tabla 5.12: Clasificación ATEX por áreas en la planta.

Área	Equipo	Función	Parte	Zona ATEX
A-100	R-101	Reacción anilina + HCl	Interior del reactor	0
			Entorno del reactor	1
	R-102	Reacción hidrocloruro de anilina + formaldehído	Interior del reactor	0
			Entorno del reactor	2
	R-103	Reacción hidrocloruro de anilina + formaldehído	Interior del reactor	0
			Entorno del reactor	2
	R-104	Reacción hidrocloruro de MDA + NaOH	Interior del reactor	0
			Entorno del reactor	1
A-200	TA-201 TA-202 TA-203	Tanques de almacenamiento de anilina (inflamable)	Interior tanque y tuberías	0
			Entorno del tanque	1
			Área cubeto	2
	TA-204 Los demás tanques de almacenamiento o de reactivos	Tanques no inflamables, pero con sustancias corrosivas o comburentes	Interior tanque	0
			Entorno del tanque	No clasificado
Downstream I	Centrifugadores / secadores	Separación y secado del MDA (sólido) → posible	Interior equipos	1
			Entorno del equipo	2

		formación de polvo fino combustible		
Downstream II	RO-400	Reacción de oxidación de restos orgánicos con peróxido de hidrógeno	Interior del reactor	0
	Evaporadores	Separación de agua y NaCl – no inflamable ni volátil	Entorno del reactor	1
Almacén MDA	Big bags	Almacenamiento de MDA sólido (tóxico, posible polvo combustible)	Interior del equipo	0
Almacén NaCl	Tanque	Almacenamiento de sal (NaCl) – no combustible, sin riesgo de polvo explosivo	General	2

Con el objetivo de minimizar al máximo la extensión y el riesgo de las zonas ATEX en la planta, se implementan diversas medidas técnicas y organizativas. Entre ellas, destaca el uso de nitrógeno como gas inerte en los tanques que contienen líquidos inflamables como la anilina, lo que permite reducir la presencia de oxígeno y, por tanto, el riesgo de formación de atmósferas explosivas. Además, las áreas críticas están dotadas de sistemas de ventilación forzada, lo que facilita la dispersión de posibles vapores inflamables y contribuye a mantener su concentración por debajo de los límites explosivos.

Asimismo, se deben instalar detectores de gases inflamables en puntos estratégicos de la planta, que permiten monitorizar continuamente la concentración de vapores en el ambiente y activar alarmas en caso de superarse valores peligrosos.

Más allá de las medidas técnicas, se contempla la obligatoriedad de señalizar adecuadamente todas las zonas clasificadas según su nivel de riesgo (zonas 0, 1 o 2), conforme al *Real Decreto 681/2003*. Del mismo modo, el personal que trabaja en estas áreas debe contar con formación específica en riesgos ATEX, uso de equipos eléctricos adecuados para atmósferas explosivas (certificados Ex) y conocimiento de los protocolos de actuación en caso de emergencia.



Fuente 5.4: Señal de aviso de zona clasificada ATEX

Finalmente, se requiere una revisión periódica de la zonificación y de las medidas implantadas, especialmente en zonas donde puedan cambiar las condiciones de operación, con el fin de mantener la seguridad y el cumplimiento normativo a lo largo de la vida útil de la instalación.

5.8. Higiene

La higiene tanto en el espacio de trabajo como la personal es muy importante para garantizar la salud y el bienestar de los trabajadores en el entorno laboral.

5.8.1. Higiene en el entorno laboral

En el Real Decreto 486/1997 se especifican las medidas necesarias a seguir para asegurar el orden, la limpieza y el mantenimiento adecuados en el lugar de trabajo. Estas medidas, que serán llevadas a cabo en YOMCAP, son las siguientes:

- Mantener libres de obstáculos las zonas de paso, salidas y vías de circulación de los lugares de trabajo y, en especial, las previstas para la evacuación en casos de emergencia
- Limpiar de manera periódica y siempre que sea necesario los lugares de trabajo, incluidos los locales de servicio y sus respectivos equipos e instalaciones, eliminando con rapidez los desperdicios, manchas de grasa, residuos de sustancias peligrosas y demás productos residuales que puedan originar accidentes o contaminar el ambiente de trabajo.
- Realizar las operaciones de limpieza en los momentos, de la forma y con los medios más adecuados.
- Llevar a cabo un mantenimiento periódico de los lugares de trabajo y, en particular, de sus instalaciones para que sus condiciones de funcionamiento satisfagan siempre las especificaciones del proyecto, pudiendo remediar con rapidez las deficiencias que puedan afectar a la seguridad y salud de los trabajadores.

5.8.2. Higiene personal

En toda actividad que exista un riesgo de contaminación se deberán adoptar las medidas necesarias para garantizar una buena higiene personal y protección individual. En YOMCAP se seguirán las medidas siguientes:

- Prohibición de comer, beber o fumar en zonas de trabajo.
- Provisión de ropa de protección adecuada.
- Disposición de lugares separados para ropas de trabajo o protección y la ropa de vestir.
- Disposición de un lugar determinado para el almacenamiento adecuado de los equipos de protección y verificación de que se limpian y se comprueba su buen funcionamiento.
- Disposición de retretes y cuartos de aseo adecuados.

5.9. Protección contra incendios

La protección contra incendios constituye un aspecto fundamental en el diseño de instalaciones industriales, especialmente cuando se manejan sustancias químicas inflamables, combustibles o con propiedades reactivas. En la planta diseñada, la presencia de anilina (una sustancia inflamable y tóxica) en grandes cantidades justifica la necesidad de evaluar el riesgo de incendio en el área de almacenamiento. Para ello, se aplica el cálculo de la densidad de carga de fuego corregida (Q_s), tal como se establece en el Reglamento de seguridad contra incendios en establecimientos industriales (RD 2267/2004), con el fin de clasificar el nivel de riesgo intrínseco (NRI) y definir las medidas de protección adecuadas.

Ecuación 5.1: Ecuación para el cálculo de la carga de fuego corregida.

$$Q_s = \frac{\sum G_i \cdot q_i \cdot C_i}{A \cdot Ra}$$

- Q_s (MJ/m²): Densidad de carga de fuego corregida de cada uno de los sectores o áreas de incendio (i), expresada en MJ/m².

- Gi (kg): Masa de cada uno de los combustibles (i) presentes en el sector o área de incendio, en kilogramos (kg).
- qi (MJ/kg): Poder calorífico de cada uno de los combustibles presentes en el sector de incendio, en MJ/kg.
- Ci: Coeficiente adimensional de peligrosidad por combustibilidad.
- Ra: Coeficiente adimensional que corrige el grado de peligrosidad inherente a la actividad del sector de incendio.
- A (m²): Superficie del sector.

Tabla 5.13: Tabla que indica el coeficiente Ra en función de la actividad del sector.

Actividad del sector	Nivel de riesgo de activación	Valor aproximado de
Almacenamiento de líquidos inflamables	Alto riesgo	1,00
Almacenamiento de productos no inflamables	Bajo	0,60
Actividad industrial ligera (montaje, etc.)	Bajo a medio	0,70 – 0,80

Según la tabla 5.13, en este caso se almacena líquido inflamable (anilina) por lo que el valor de Ra=1

Tabla 5.14: Tabla que indica el coeficiente Ci según la peligrosidad de combustibilidad.

Alto $C_i = 1,60$	Medio $C_i = 1,30$	Bajo $C_i = 1,00$
<ul style="list-style-type: none"> - Líquidos clase A según la ITC MIE-APQ-1 - Líquidos clase B₁ según la ITC MIE-APQ-1 - Sólidos capaces de iniciar su combustión a temperatura inferior a 100 °C - Productos que pueden formar mezclas explosivas con el aire a temperatura ambiente - Productos que pueden iniciar la combustión espontáneamente al aire a temperatura ambiente 	<ul style="list-style-type: none"> - Líquidos clase B₂ según la ITC MIE-APQ-1 - Líquidos clase C según la ITC MIE-APQ-1 - Sólidos que inician su ignición entre 100 °C y 200 °C - Sólidos que emiten gases inflamables 	<ul style="list-style-type: none"> - Líquidos clase D según la ITC MIE-APQ-1 - Sólidos que inician su ignición a temperaturas superiores a 200 °C

Según la tabla 5.14 la anilina cae en el grupo de nivel “medio” de peligrosidad por combustibilidad. Sabiendo esto, ya se puede hacer el cálculo:

Ecuación 5.2: Resolución para el cálculo de Q_s

$$Q_s = \frac{3486000[\text{kg}] \cdot 33 \left[\frac{\text{MJ}}{\text{kg}} \right] \cdot 1,3}{3500[\text{m}^3] \cdot 1,00} = 42690 \left[\frac{\text{MJ}}{\text{m}^2} \right]$$

Una vez realizado el cálculo, es necesario contrastar el valor obtenido de la densidad de carga de fuego corregida con los rangos establecidos en la normativa para clasificar el Nivel de Riesgo Intrínseco (NRI) del sector. Esta clasificación permite determinar el grado de peligrosidad del área en función de la carga térmica acumulada y establecer las medidas de protección contra incendios correspondientes.

Tabla 5.15: Tabla que indica el nivel de riesgo intrínseco en función del valor de Q_s

Q_s (MJ/m^2)	Nivel de riesgo intrínseco (NRI)
< 1.000	Riesgo bajo
1.000 – 3.000	Riesgo medio
> 3.000	Riesgo alto

Como se puede ver en la tabla 5.15 la zona de almacenamiento cae en un nivel de riesgo intrínseco alto. En consecuencia, deben aplicarse una serie de medidas de protección contra incendios reforzadas. Estas medidas incluyen:

- Sectorización con elementos resistentes al fuego
 - Separación mediante elementos constructivos con resistencia al fuego mínima *EI-120*.
 - Instalación de puertas cortafuegos automáticas o de cierre por gravedad, certificadas *UNE* *EN* *1634-1*.
- Instalación de sistema de detección automática de incendios
 - Detectores óptico-térmicos o de llama en zonas elevadas.
 - Conexión a central de detección con señalización zonificada.
- Sistemas de extinción adecuados
 - Rociadores automáticos tipo *ESFR* adaptados a líquidos inflamables.

- Alternativamente, sistemas de espuma de media expansión.
- Hidrantes exteriores tipo *B/E 25/45* según normativa
- Ventilación y control de humos
 - Ventilación forzada ATEX para mantener concentraciones por debajo del *LEL*.
 - Instalación de exutorios automáticos certificados *EN 12101*.
- Señalización de emergencia, control de accesos y formación del personal
 - Señalización fotoluminiscente según *UNE 23034* para rutas de evacuación y zonas ATEX.
 - Control de accesos con llaves de seguridad o tarjetas.
 - Formación específica del personal en extinción de incendios y uso de EPI ignífugos.
- Mantenimiento regular y actualización de las medidas conforme a los riesgos presentes
 - Inspección anual de sistemas de detección, extinción y ventilación conforme al *RD 513/2017 (RIPCI)*⁷.
 - Ejecución de simulacros y actualización del plan de autoprotección cada 3 años o ante cambios relevantes.

5.10. Plan de autoprotección

El plan de autoprotección es un documento donde se encuentran las medidas y procedimientos a seguir en caso de emergencia como incendios, fugas u otros peligros que se puedan producir.

Su objetivo es preservar la seguridad tanto de los trabajadores como del entorno laboral en la empresa, si se hace un buen diseño se pueden prevenir muchas de las situaciones de emergencia que puedan ocurrir y disminuir al máximo sus daños, para que esto se pueda llevar a cabo hace falta una correcta formación sobre seguridad y una realización

⁷ Reglamento de Instalaciones de Protección Contra Incendios

periódica de simulacros para poder estar bien preparados en caso de que ocurra alguna de las situaciones.

Según el Real Decreto 1196/2003 y siguiendo las directrices del Real Decreto 1254/1999 los accidentes se pueden clasificar en las siguientes categorías:

- **Categoría 1:** Son aquellos para los que se prevé, como consecuencia única, daños materiales en el establecimiento accidentado y no se espera ningún daño en el exterior de este.
- **Categoría 2:** Aquellos para los que se prevea, como consecuencias, posibles víctimas y daños materiales en el establecimiento; mientras que las repercusiones exteriores se limitan a daños leves o efectos adversos sobre el medio ambiente en zonas limitadas.
- **Categoría 3:** Para los que se prevé, como consecuencias, posibles víctimas, daños materiales graves o alteraciones graves del medio ambiente en zonas extensas y en el exterior del establecimiento.

Dependiendo de la categoría en la que se clasifique los accidentes producidos, se activará un plan de emergencia u otro. Los dos tipos que se pueden encontrar son el plan de emergencia interno, que se aplica solo cuando los accidentes provocan daños materiales solo en el establecimiento, y el plan de emergencia exterior, que se aplicará cuando el accidente suponga un riesgo grave para la seguridad de las personas y el medio ambiente, notificando a las autoridades pertinentes e implicando la protección de la comunidad.

En YOMCAP se construirá e implementará un plan de autoprotección siguiendo las directrices mencionadas en los puntos siguientes y haciendo un análisis específico de los riesgos que puedan suceder, para un primer boceto se estudiarán solo los puntos más importantes de la planta y que más peligro pueden representar.

5.10.1. Plan de emergencia interno

Para llevar a cabo el plan de emergencia interno se deberá tener en cuenta la identificación de los accidentes que justifiquen su activación, basándose en un análisis de riesgo acorde a su grado de afectación o el informe de seguridad. Se deberán describir los criterios para la activación y desarrollar los procedimientos de actuación tanto generales como específicos para cada hipótesis accidental que se contemple en el análisis de riesgos.

5.10.1.1. Análisis del riesgo

Para llevar a cabo un buen análisis del riesgo se debe hacer una descripción del emplazamiento, características constructivas y ocupación, accesibilidad y vías de evacuación de medios externos, además del estudio de las instalaciones y zonas donde puedan estar presentes sustancias peligrosas; se debe incluir también una descripción y justificación breve de los principios y la metodología utilizada para la evaluación de riesgo y la determinación de los posibles accidentes y sus consecuencias.

Para acabar, se tendrán que localizar en planos a escala adecuada todos los elementos que contribuyan al riesgo de accidente, incluyendo todos los elementos vulnerables que se consideren de interés.

Para poder llevar a cabo un buen análisis hay muchos métodos, en YOMCAP se ha decidido utilizar el método HAZOP para estudiar los puntos más peligrosos de la planta, éste estudio se puede observar en el punto 5.13.

5.10.1.2. Medidas y medios de protección

Para las medidas y medios de protección se deben tener en cuenta los medios materiales, donde se explicarán los materiales e instalaciones disponibles a utilizar en caso de accidente y sus posibles deficiencias de funcionamiento o diseño y los equipos humanos para identificar los recursos humanos directamente relacionados con las

actuaciones en emergencias, indicando la dependencia organizativa y los procedimientos de movilización teniendo en cuenta todas las situaciones posibles.

Por otro lado, también se deben identificar las medidas de prevención y protección existentes que puedan contribuir directamente a prevenir los accidentes y mitigar sus efectos, y planes específicos para localizar con el adecuado detalle los medios y equipos de protección que se puedan utilizar y las rutas de evacuación.

5.10.1.3. Manual y actuación en emergencias

Su objetivo es describir la manera de actuar en los diferentes niveles de gravedad de los accidentes y la organización de las personas en estas situaciones para garantizar su seguridad, clasificando correctamente los tipos de emergencia según su gravedad y definiendo diferentes grupos de personas con sus respectivas tareas para actuar eficazmente en caso de emergencia.

5.10.1.4. Implantación y mantenimiento

Una vez se ha redactado el plan de emergencia interno, es importante asegurarse de que sea efectivo y que esté actualizado en todo momento, esto será posible si se tienen en cuenta los siguientes factores:

- Responsabilidades y organización: Donde se detallará la organización y asignación de responsabilidades para su implantación y mantenimiento para cada fase.
- Programa de implantación: Descripción de las etapas previstas para su implantación, teniendo en cuenta la adecuación de deficiencias e incorporación de medios. Es importante tener en cuenta las formaciones necesarias para su correcto funcionamiento.
- Programa de formación: Se programarán las formaciones a desarrollar para garantizar la operatividad del plan en función de las tareas asignadas al personal.
- Programa de mantenimiento: Se debe establecer un plan para el correcto mantenimiento de las instalaciones.

- Programa de revisiones: Se deberán incluir los mecanismos de revisión del plan y, además, establecer los procedimientos y responsabilidades para la incorporación de mejoras.

5.10.2. Plan de emergencia exterior

El plan de emergencia exterior es aquel que establece las medidas de prevención y información, así como la organización y procedimientos de actuación y coordinación de los medios y recursos de la propia comunidad autónoma, con el objetivo de prevenir y mitigar las consecuencias de los accidentes que ocurren sobre la población, el medio ambiente y los bienes que puedan verse afectados.

Éste deberá contener toda la información útil para que la población adopte una conducta adecuada durante las emergencias, teniendo en cuenta todas las hipótesis y escenarios accidentales posibles.

Para su correcto mantenimiento de operatividad se deberá contar con:

- Comprobaciones periódicas.
- Simulacros.
- Evaluación de la eficacia de la información a la población.
- Revisiones y procedimiento de distribución de éstas.

5.10.3. Formatos de notificación de accidentes

Para notificar de accidentes hay diferentes formatos de notificación, los cuales son:

A) Identificación del accidente: Se encuentra la información básica que identifica al accidente, como el tipo de actividad y el establecimiento, entre otros factores. Debe ir acompañado de los informes B y C.

B) Informe inmediato: Tiene como objetivo recoger la información básica y concisa que describa las características más importantes del accidente, como supuestas causas y efectos inmediatos, entre otros. Se debe enviar en un plazo de 1 a 3 días.

C) Informe detallado: Contiene la información más relevante en cuanto al análisis de accidente, y es muy importante que se cumplimente. Se divide en tres partes:

- Suceso → Descripción detallada del accidente en sí.
- Consecuencias → Descripción de las consecuencias sobre personas, bienes y medio ambiente.
- Respuesta → Descripción de las medidas tomadas, tanto de emergencia como de tipo legal.

5.11. Primeros auxilios

La manipulación directa de las sustancias presentes en la planta por parte del personal operativo se ha minimizado al máximo, gracias a la automatización y al diseño de los procedimientos, que buscan reducir cualquier exposición innecesaria.

No obstante, todas las tareas se realizan cumpliendo estrictamente con la normativa vigente en materia de seguridad y prevención de riesgos laborales.

A pesar de estas medidas, es fundamental que el personal que pueda entrar en contacto con estas sustancias conozca con claridad el protocolo de actuación en caso de exposición accidental, ya sea por vía dérmica, ocular, respiratoria o digestiva.

Las medidas de primeros auxilios correspondientes a cada tipo de sustancia y vía de exposición se detallan en la tabla 5.15.

Tabla 5.16: Primeros auxilios en función de la sustancia y el contacto realizado con la misma

Sustancia	Piel	Ojos	Ingestión	Inhalación
Peróxido de hidrógeno (H_2O_2)	Enjuagar con agua abundante 15 minutos. Quitar ropa contaminada. Consultar al médico.	Enjuagar con agua suavemente 15 minutos. Buscar atención médica urgente.	NO inducir el vómito. Enjuagar boca. Dar agua si la persona está consciente. Acudir inmediatamente al hospital.	Retirar a la persona al aire libre. Consultar de inmediato a un médico.
Ácido clorhídrico (HCl)	Enjuagar con agua abundante 15 minutos. Quitar ropa contaminada. Consultar al médico.	Irrigar los ojos con agua o suero fisiológico durante 15 minutos. Buscar atención médica urgente.	NO inducir el vómito. Enjuagar boca. Dar agua si la persona está consciente. Acudir inmediatamente al hospital.	Sacar al aire libre. Oxígeno o respiración asistida si es necesario. Atención médica inmediata.

Anilina	Lavar con abundante agua y jabón. Retirar ropa contaminada. Atención médica urgente por riesgo de absorción sistémica.	Enjuagar con agua durante 15 minutos. Atención médica inmediata.	NO provocar el vómito. Urgente traslado a centro médico.	Aire fresco. Oxígeno si hay dificultad respiratoria. Atención médica inmediata (riesgo de toxicidad sistémica)
Hidrocloruro de anilina	Lavar con agua y jabón. Quitar ropa contaminada. Observar si aparecen síntomas sistémicos.	Enjuagar durante 15 minutos con agua. Atención médica si hay irritación.	No provocar el vómito. Enjuagar boca. Observar síntomas. Atención médica recomendada.	-
Formaldehído 37%	Lavar con agua y jabón 15 minutos. Atención médica urgente.	Lavar con agua abundantemente y consultar inmediatamente con un oftalmólogo.	No inducir el vómito. Enjuagar boca con agua. Atención médica inmediata. (Riesgo cancerígeno)	Aire libre. Si hay síntomas respiratorios, aplicar oxígeno. Atención médica inmediata (toxicidad aguda)
Hidróxido de sodio (NaOH)	Lavar con agua abundante 15 minutos. Retirar ropa contaminada. Atención médica necesaria.	Lavar con agua o suero fisiológico 15 minutos. Atención oftalmológica urgente.	NO inducir el vómito. Enjuagar boca y dar agua si está consciente. Atención médica urgente.	-
Cloruro de sodio (NaCl)	-	Enjuagar con agua si hay molestias.	-	-
MDA (4,4'-metilendianilina)	Lavar con agua y jabón 15 minutos. Quitar ropa contaminada. Atención médica inmediata.	Irrigar con agua abundante 15 minutos. Atención médica inmediata.	NO inducir vómito. Enjuagar boca. Urgente traslado a centro médico (riesgo cancerígeno y toxicidad hepática)	No se espera exposición por inhalación en condiciones normales. Atención médica si se presentan síntomas.
Hidrocloruro de MDA	Lavar con agua abundante. Retirar ropa contaminada. Atención médica si hay síntomas.	Lavar con agua 15 minutos. Atención médica si persiste la irritación.	No inducir el vómito. Enjuagar boca. Atención médica si hay síntomas.	-

5.12. Equipo de protección

La seguridad y protección de los trabajadores es imprescindible, sobre todo considerando los riesgos inherentes que se encuentran en la industria química. Para determinar las medidas necesarias para los equipos de protección colectiva (EPC) y los equipos de protección individual (EPI) se ha seguido la normativa del *Real Decreto 773/1997*, que indica los tipos de protección necesarios, las obligaciones de la empresa y las condiciones mínimas de seguridad respecto a estos.

La empresa tiene como obligación determinar las zonas y puestos de trabajo en que es necesario la utilización de los equipos de protección individual y el tipo que deberá utilizarse en cada caso, proporcionarlos de manera gratuita a los trabajadores, asegurarse de que se cumple su utilización y asegurar su correcto mantenimiento.

5.12.1. Equipos de protección colectiva (EPC)

La protección colectiva es aquella que tiene como objetivo la protección simultánea de varios trabajadores expuestos a un determinado riesgo, esta se debe anteponer a la protección individual.

Algunas de las medidas de protección colectiva que se encontrarán en esta planta son:

- Plataformas de trabajo: Son necesarias para poder realizar correctamente todas las tareas de mantenimiento y/o reparación que puedan conllevar riesgo de caída desde una altura.
- Barandillas de protección: Se instalarán en todas las plataformas de trabajo, escaleras y pisos donde haya riesgo de caída.
- Sistemas de extracción de aire: Se encontrarán en todas las salas cerradas donde haya riesgo de acumulación de contaminantes químicos en el ambiente.
- Sistemas de extracción de aire localizado: Se colocarán en todos los puntos donde haya posible emisión de gases o vapores químicos.

- Extintores de incendios: Se encontrarán en zonas de alto riesgo, en puntos de entrada y salida, y en todos aquellos puntos en los que estratégicamente sea mejor para poder actuar rápidamente.

5.12.2. Equipos de protección individual (EPI)

Los equipos de protección individual (EPI) son aquellos que deben llevar los trabajadores para protegerse de cualquier riesgo que pueda amenazar su seguridad en la planta.

En la tabla 5.17 se pueden observar los tipos de protección individual que se utilizarán en la planta YOMCAP y los riesgos frente a los que protegerán, acompañado de un ejemplo.

Tabla 5.17: Tipos y ejemplos de protección individual presentes en YOMCAP

Tipo	Riesgos	Ejemplo	Imagen
Para la cabeza	Golpes resultantes de caídas o proyecciones de objetos y choques contra obstáculos, entre otros.	Cascos	
Auditiva	Nivel de ruido elevado.	Orejeras	
Para ojos y cara	Impacto de partículas voladoras y salpicadas de líquidos perjudiciales, entre otros.	Gafas de montura y pantallas faciales	
Respiratoria	Partículas, gases y aerosoles sólidos o líquidos.	Equipos filtrantes	
Para manos y brazos	Riesgos mecánicos, térmicos, químicos y eléctricos, entre otros.	Guantes	

Para pies y piernas	Riesgos mecánicos, térmicos, químicos y resbalones, entre otros.	Calzado	
De cuerpo	Riesgos mecánicos, térmicos, químicos, enredos y atrapamientos, entre otros.	Chalecos para protección parcial.	

5.13. Riesgo de vertidos

En caso de vertidos la primera línea de defensa obligatoria siempre que se trata con sustancias químicas con cierto grado de peligrosidad son los cubetos de retención, tal y como establece el Reglamento de Almacenamiento de Productos Químicos (RD 656/2017) en sus correspondientes Instrucciones Técnicas Complementarias (ITC). Como se ha dicho con anterioridad estos deben tener un volumen mínimo del 100% de la capacidad máxima del mayor tanque al que afecte este cubeto o el 10% del total almacenado entre todos los tanques a los que afecte este cubeto, el valor que sea mayor.

Cubetos de retención para los tanques de almacenamiento:

Tabla 5.18: Dimensiones y materiales de construcción de los cubetos de retención de los tanques de almacenamiento

	Número de tanques	Longitud (m)	Anchura (m)	Altura (m)	Volumen (m ³)	Material
HCl	4	52,88	9,25	4,15	2028,32	Hormigón armado con revestimiento de vinil éster
Anilina	4	54,70	9,58	2,27	1187,48	Hormigón armado con revestimiento epoxi
NaOH	4	48,29	8,42	3,74	1520,17	Hormigón armado con revestimiento epoxi
H ₂ O ₂	1	10,55	8,55	21,91	1976,19	Hormigón armado con revestimiento epoxi
Formaldehido	4	42,16	7,30	3,2	984,94	Hormigón armado con revestimiento epoxi

Dado que las sustancias almacenadas presentan incompatibilidades químicas (ácido/base, oxidantes/orgánicos, etc.), se ha previsto un cubeto de retención independiente para cada tipo de producto, con el fin de evitar reacciones peligrosas en caso de vertido accidental.

Cubetos de retención para los reactores:

Tabla 5.19: Dimensiones y materiales de construcción de los cubetos de retención de los reactores

	Longitud (m)	Anchura (m)	Altura (m)	Volumen (m ³)	Material
Primer RCTA (R-101)	8,77	7,42	0,43	27,74	Hormigón armado con revestimiento de vinil éster
Tanque de mezclado (R-102)	4,52	7,05	0,69	21,89	Hormigón armado con revestimiento de vinil éster
Segundo RCTA (R-104)	6,63	11,26	1,99	148,75	Hormigón armado con revestimiento de vinil éster
Reactor Oxidante (RO-400)	4,50	7,01	0,68	21,32	Hormigón armado con revestimiento epoxi

Los cubetos se diseñan con forma rectangular, fondo impermeable con pendiente hacia sumidero, y materiales compatibles con la sustancia almacenada. Se integran también cubetos específicos para los reactores principales, aunque no son elementos de almacenamiento, como medida adicional de contención ante posibles fugas durante el proceso.

5.14. HAZOP

Como parte de la evaluación de riesgos de la planta, se ha llevado a cabo un análisis HAZOP⁸ con el objetivo de identificar posibles desviaciones en el funcionamiento normal de equipos críticos, así como sus causas, consecuencias y salvaguardas.

Se ha optado por realizar un HAZOP reducido, centrado en cuatro nodos representativos de la instalación: el tanque de almacenamiento de anilina, la línea de transferencia hacia el primer reactor, el reactor RCFP (donde reaccionan formaldehído e hidrocloruro de anilina) y el secador de MDA. Estas zonas han sido seleccionadas por implicar la manipulación de sustancias inflamables o tóxicas, la presencia de condiciones críticas de proceso (como presión, temperatura o caudal) y su papel clave en las operaciones de planta.

Para cada nodo se han analizado las variables más relevantes desde el punto de vista de la seguridad de proceso, describiendo para cada desviación potencial las salvaguardas existentes y, cuando ha sido necesario, recomendaciones de mejora. Este enfoque permite ilustrar de forma clara la aplicación práctica de la metodología HAZOP en un entorno industrial.

Tanque almacenamiento de anilina (TA-201): Área 200

Tabla 5.20: Análisis HAZOP para uno de los tanques de almacenamiento de anilina

Variable	Palabra guía	Desviación	Causa	Consecuencia	Salvaguardas	Acciones recomendadas
Nivel	MÁS	Nivel alto / sobrellemando	Error de válvula, fallo sensor de nivel, error en carga manual	Derrame por rebosé, emisión de vapores inflamables	Sensor de nivel (LI), válvula automática de corte	Paro automático por nivel alto, interlock de carga
	MENOS	Nivel bajo	Fuga, error de medición, descarga inesperada	Entrada de aire si pierde sellado, riesgo de ignición	Alarma de bajo nivel (LS)	Revisión de válvulas, alarma sonora
Presión	MÁS	Sobrepresión	Exceso de N ₂ , bloqueo de venteo, fallo de válvula PCV	Ruptura del tanque, fuga de anilina, riesgo de incendio	Válvula de alivio (PSV), control de presión (PCV)	Verificación periódica de venteos, mantenimiento PSV

⁸ Hazard and Operability Study

Temperatura	MÁS	Sobrecalentamiento	Fallo de refrigeración, exposición solar prolongada	Aumento de presión de vapor, riesgo de inflamabilidad	Termómetro (TT), diseño bajo sombra	Aislamiento térmico, alarma de temperatura
Caudal	NO	No entra anilina	Bomba averiada, válvula cerrada, error en carga	Parada del proceso aguas abajo	Caudalímetro (FIT), válvulas motorizadas (HV)	Interlock de proceso, mantenimiento programado
	MÁS	Flujo excesivo	Fallo en control, apertura no deseada de válvula HV	Possible sobrelleñado, daño a equipos por presión/flujo alto	Control por PLC, válvula motorizada	Ajuste de lazo de control, alarma de caudal alto

Línea desde tanque de anilina (TA-201) al primer reactor (R-101): Área 200

Tabla 5.21: Análisis HAZOP para la línea de caudal desde el tanque de anilina (TA-201) al primer reactor (R-101)

Variable	Palabra guía	Desviación	Causa	Consecuencia	Salvaguardias	Recomendaciones
Caudal	NO	No fluye anilina	Válvula HV cerrada, obstrucción, pérdida de presión, fallo de señal	Reactor no recibe reactivo, parada de proceso	Medidor de caudal en la línea (FIT), válvula de control de caudal (FCV) y alarma en caso de flujo insuficiente	Interlock de proceso, revisión periódica de válvulas
	MÁS	Flujo excesivo	Fallo de control, válvula mal calibrada, error en PLC	Sobrecarga de reactor, posible derrame	Medidor de caudal (FIT), válvula de control automatizada (FCV) y sistema de control programado (PLC)	Limitar apertura máx. en FCV, alarma de caudal alto
Presión	MÁS	Sobrepresión en línea	N ₂ excesivo, cierre aguas abajo, obstrucción	Riesgo de rotura, fuga de anilina inflamable	Válvula de control de presión en la línea (y válvula de seguridad en el reactor)	Inspección periódica de venteo y PCV

Sentido flujo	INVER SO	Retorno desde reactor	Fallo en válvula anti-retorno, presión superior en R-101	Contaminación en el tanque de anilina, sobrepresión	Válvula de retención (antirretorno) y diseño de la línea con pendiente adecuada	Confirmar check valve, incluir sonda de presión diferencial
Contención	PÉRDIDA	Fuga en conexión / brida	Juntas defectuosas, vibración, fallo de sellado	Exposición del personal, emisión de vapores, riesgo de incendio	Sistema de tuberías cerrado y revisiones visuales o sensores para detectar fugas	Inspección regular, bandejas de contención localizadas

RCFP (R-103): Área 100

Tabla 5.22: Análisis HAZOP para el reactor de flujo pistón (R-103)

Parámetro	Palabra guía	Causas posibles	Consecuencias	Acciones
Flujo	NO	Válvula cerrada, bomba fallida, tapón en línea	Reacción detenida, presión negativa	Alarmas de flujo, mantenimiento preventivo
	MÁS	Fallo en la válvula de control de caudal o error de set-point	Menor tiempo de residencia, reacción incompleta	Sistema de control de caudal automático mediante válvula reguladora y transmisor
	MENOS	Obstrucción parcial, mal funcionamiento de válvula	Mayor tiempo de residencia, degradación	Detección diferencial de presión, válvula de bypass
Temperatura	MÁS	Exceso de vapor, fallo del control de temperatura	Reacción secundaria, formación de subproductos	Control automático de temperatura mediante transmisor de temperatura y válvula de control de presión, con respaldo de sistema de refrigeración
	MENOS	Corte de vapor, control defectuoso	Reacción incompleta	Control automático,

				fuente redundante de calor
Composición	A PARTE DE	Mala purga previa, arrastre de reactivos anteriores	Reacciones paralelas o inhibición	Análisis en línea, purga automática previa
Formaldehíd o	A MÁS	Error en mezcla, dosificación incorrecta	Sobrepresión, subproductos tóxicos	Control de dosificación, control de composición
Hidrocloruro de anilina	A MÁS	Mal ajuste en flujo desde R-102	Bajo rendimiento, exceso de reactivo tóxico	Medición de relación molar, balance de masa
Reacción	NO	Temperatura o mezcla insuficiente, concentración inadecuada	Acumulación de reactivos, pérdida de producción	Control automático de condiciones críticas con interlocks de seguridad que actúan ante desviaciones peligrosas
Flujo	INVERSO	Contrapresión aguas abajo, válvula cerrada	Contaminación aguas arriba, daños mecánicos	Válvula antirretorno, monitoreo de presión diferencial
Productos	A PARTE DE	Condiciones fuera de especificación (T, mezcla, impurezas)	Pérdida de calidad, necesidad de reprocesado	Control estricto de condiciones de operación

Secador de MDA (S-300): Downstream I

Tabla 5.23: Análisis HAZOP para el secador de MDA

Parámetro	Palabra guía	Causas posibles	Consecuencias	Acciones
Flujo	NO	Bomba detenida o tubería obstruida	No se realiza el secado, acumulación en etapas anteriores	Alarma de flujo, revisión de bomba y línea
	MÁS	Fallo en válvula o en el control de caudal	El producto no se seca completamente	Control automático del caudal con

				sensores de entrada
	MENOS	Restricción parcial o error de dosificación	Pérdida de eficiencia, consumo innecesario de energía	Supervisión de caudal mínimo y alarmas
Temperatura	MÁS	Exceso de vapor, fallo en el control	Degradación del MDA o riesgo térmico	Control automático de temperatura y válvula de seguridad
	MENOS	Falta de vapor o control mal ajustado	Secado incompleto del producto	Sensor de temperatura y ajustes manuales o automáticos
Condiciones	A PARTE DE	Entrada de aire atmosférico o fuga de vapor	Pérdida de eficiencia del secado, posible oxidación	Válvulas de cierre hermético y purga previa
Tiempo de residencia	A MÁS	Salida parcialmente bloqueada o mal transporte	Sobrecalentamiento o apelmazamiento del producto	Control del flujo de salida y verificación de sinfín
Flujo de aire/vapor	INVERSO	Condiciones de presión invertidas	Mezcla de producto seco con humedad, mal funcionamiento	Válvula antirretorno y control de presiones
Producto	NO	Sinfín detenido o bloqueo en el sistema	Acumulación interna y parada del proceso	Sensor de nivel, alarma y mantenimiento del sistema de descarga

5.14. Bibliografía

2. Almacenamiento de productos químicos

- Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado. (2017). *Real Decreto 656/2017, de 23 de junio, por el que se aprueba el Reglamento de Almacenamiento de Productos Químicos y sus Instrucciones Técnicas Complementarias (ITC-APQ)*. <https://www.boe.es/eli/es/rd/2017/06/23/656>
- Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST). (2020). *Almacenamiento seguro de productos químicos*. <https://www.insst.es>
- Ministerio de Industria, Comercio y Turismo. (2017). *Reglamento de Almacenamiento de Productos Químicos (RAPQ) y sus Instrucciones Técnicas Complementarias MIE APQ 0 a 10, aprobado por el Real Decreto 656/2017, de 23 de junio*. <https://www.boe.es/eli/es/rd/2017/06/23/656>
- Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST). (2020). *Guía técnica del Reglamento de Almacenamiento de Productos Químicos*. <https://www.insst.es>

4. Carga y descarga de productos químicos

- **Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST)**. (2022). *Guía de buenas prácticas para la manipulación segura de productos químicos peligrosos*. <https://www.insst.es>
- **European Chemicals Agency (ECHA)**. (2023). *Substance information: formaldehyde, hydrogen peroxide, sodium hydroxide, hydrochloric acid, MDA....* <https://echa.europa.eu>

- **National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH).** (2020). *NIOSH Pocket Guide to Chemical Hazards.* <https://www.cdc.gov/niosh/npg/>
- **American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH).** (2023). *Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents & Biological Exposure Indices.*
- **Chemical Compatibility Database.** (2022). *Cole-Parmer Chemical Resistance Guide.* <https://www.coleparmer.com/Chemical-Resistance>

6. Normativa ATEX

- Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado. (2003). *Real Decreto 681/2003, de 12 de junio, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores expuestos a riesgos derivados de atmósferas explosivas en el lugar de trabajo.* <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2003-13883>
- Unión Europea. (2014). *Directiva 2014/34/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 26 de febrero de 2014, relativa a los aparatos y sistemas de protección para uso en atmósferas potencialmente explosivas.* <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=celex:32014L0034>
- Unión Europea. (1999). *Directiva 1999/92/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre de 1999, sobre la protección de la seguridad y salud de los trabajadores frente a atmósferas explosivas.* <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=celex:31999L0092>
- Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST). (2021). *Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos derivados de atmósferas explosivas en el lugar de trabajo.* <https://www.insst.es>
- European Committee for Standardization. (2020). *EN 60079-10-1: Atmósferas explosivas - Parte 10-1: Clasificación de áreas - Atmósferas explosivas de gas.* Bruselas: CEN.
- National Fire Protection Association (NFPA). (2019). *NFPA 497: Recommended Practice for the Classification of Flammable Liquids, Gases, or Vapors and of Hazardous (Classified) Locations.* Quincy, MA: NFPA.

8. Protección contra incendios

- **Ministerio de la Presidencia.** (2004). *Real Decreto 2267/2004, de 3 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de seguridad contra incendios en los establecimientos industriales.* Boletín Oficial del Estado. <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2004-21249>
- **Ministerio del Interior.** (2017). *Real Decreto 513/2017, de 22 de mayo, por el que se aprueba el Reglamento de instalaciones de protección contra incendios (RIPCI).* Boletín Oficial del Estado. <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2017-6082>
- Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. (2004). *Reglamento de seguridad contra incendios en los establecimientos industriales (RD 2267/2004).* <https://www.boe.es>

- **UNE.** (2004). *UNE 23034: Señales y señalización de seguridad contra incendios y evacuación. Requisitos generales.* Asociación Española de Normalización (UNE).
- **UNE.** (2005). *UNE-EN 12101: Sistemas para el control de humo y calor. Especificaciones para dispositivos de extracción natural de humos y calor (DENFC).* Asociación Española de Normalización (UNE).
- **UNE.** (2018). *UNE-EN 12845: Sistemas fijos de lucha contra incendios. Sistemas de rociadores automáticos. Diseño, instalación y mantenimiento.* Asociación Española de Normalización (UNE).

10. Primeros auxilios

- Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST). (2022). *Fichas internacionales de seguridad química (FISQ).* <https://www.insst.es>
- European Chemicals Agency (ECHA). (2023). *Substance Information – Aniline, Formaldehyde, HCl, NaOH, MDA....* <https://echa.europa.eu>
- National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). (2020). *Pocket Guide to Chemical Hazards.* <https://www.cdc.gov/niosh>

12. Riesgo de vertidos

- **European Chemicals Agency (ECHA).** (2023). *Information on chemicals: compatibility and containment materials.* <https://echa.europa.eu>
- **Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology.** (2021). *Containment systems: materials selection for chemical resistance.* Wiley Online Library.
- **American Concrete Institute (ACI).** (2019). *ACI 350-06: Code Requirements for Environmental Engineering Concrete Structures.* Farmington Hills, MI: ACI.
- **National Fire Protection Association (NFPA).** (2021). *NFPA 30: Flammable and Combustible Liquids Code.* Quincy, MA: NFPA.

13. Análisis HAZOP

- Center for Chemical Process Safety (CCPS). (2008). *Guidelines for Hazard Evaluation Procedures* (3rd ed.). American Institute of Chemical Engineers (AIChE).
- Institution of Chemical Engineers (IChemE). (2000). *Hazop and Hazan: Identifying and Assessing Process Industry Hazards* (5th ed.). Rugby, UK: IChemE.
- Agencia Europea de Sustancias y Mezclas Químicas (ECHA). (2023). *Información sobre sustancias peligrosas y escenarios de exposición.* <https://echa.europa.eu>

