

# PLANTA DE PRODUCCIÓN DE ÓXIDO DE ETILENO

Trabajo final de grado  
Grado en Ingeniería Química



Paula Lafuente Simó  
Joan Ramón Pájaro Crespo  
Anabel Rodríguez Rengel  
Carlos Salgado Espinosa  
Ferriol Viñas Francisco  
Veronica Fernanda Zaldivar Sánchez

Tutor: Marc Perís

Año académico: 2019 - 2020



# CAPÍTULO V



**Seguridad e Higiene**



## ÍNDICE

5.1 Introducción .....	3
5.2 Riesgos y accidentes en la industria química .....	4
5.2.1 Clasificación de riesgos .....	4
5.2.2 Tipología de riesgos y sus medidas de prevención .....	5
5.3 Sustancias químicas.....	10
5.3.1 Clasificación general de las sustancias químicas peligrosas .....	10
5.3.2 Clasificación de las sustancias químicas presentes en ETHOXID .....	16
5.3.3 Fichas de seguridad de las sustancias químicas presentes en ETHOXID .....	18
5.4 Almacenamiento de productos químicos .....	20
5.4.1 Normativa aplicable para el almacenamiento .....	21
5.4.2 Zonas de almacenamiento en la planta ETHOXID y sus medidas de seguridad.....	23
5.4.3 Cubetos de retención.....	25
5.4.4 Sistemas de ventilación.....	26
5.4.5 Inertización.....	27
5.4.6 Prevención.....	27
5.5 Distancia de seguridad entre instalaciones.....	28
5.6 Zonas de carga, descarga y transporte de materias .....	32
5.7 Señalización en planta.....	35
5.7.1 Colores de seguridad.....	35
5.7.2 Señales en forma de panel.....	36
5.7.3 Señales luminosas y acústicas .....	38
5.8 Protección contra incendios.....	42
5.8.1 Clasificación de fuegos .....	43
5.8.2 Prevención del fuego.....	43
5.8.3 Métodos de extinción de incendios .....	44
5.8.4 Agentes extintores .....	45
5.8.5 Protección activa contra incendios .....	46
5.8.6 Balsa contra incendios .....	51
5.8.7 Protección pasiva contra incendios.....	53
5.9 Protección contra atmósferas explosivas .....	54
5.9.1 Normativa sobre las ATEX .....	54
5.9.2 Clasificación de las áreas con atmosferas explosivas.....	55

---

5.9.3 Clasificación de las zonas ATEX en la planta ETHOXID .....	56
5.9.4 Protección de los reactores contra explosiones .....	56
5.10 Higiene .....	63
5.10.1 Limpieza y mantenimiento en el sitio de trabajo.....	63
5.10.2 Limpieza de equipos.....	64
5.10.3 Higiene del personal.....	64
5.11 Primeros Auxilios.....	64
5.11.1 Conducta PAS .....	64
5.11.2 Protocolo de actuación general .....	65
5.11.3 Material de primeros auxilios .....	66
5.12 Equipos de protección individual (EPIs) .....	66
5.12.1 Normativa de los EPIs.....	67
5.12.2 EPIs parciales.....	67
5.12.3 EPIs integrales .....	69
5.12.2 EPIs para el almacenamiento de OE.....	70
5.13 Plan de emergencia interno .....	71
5.14 Análisis de riesgos .....	72
5.14.1 Palabras guía HAZOP .....	73
5.14.2 Estudio HAZOP .....	73
5.15 Bibliografía .....	105

---

## 5.1 Introducción

Dentro del sector de la industria, la industria química actualmente se caracteriza por ser una de las industrias con el menor número de accidentes. Pero también hay que recalcar que los que tienen lugar son de gran alcance y conllevan grandes efectos.

La higiene laboral, es una parte la cual se le suele dar menos importancia que la seguridad, pero que tiene la misma relevancia dentro de la planta que la seguridad. Se tiene que prevenir y evitar cualquier patología provocada por las sustancias utilizadas en planta, para garantizar la salud y el bienestar de los trabajadores expuestos a dichas sustancias.

En la industria química se parte de un conjunto de materias primas, que después de realizar unas transformaciones físicas y químicas en ellas, derivan en un producto deseado. Durante dichas transformaciones se utilizan procesos y productos de naturaleza peligrosa, que pueden llegar a ocasionar graves accidentes. Por eso la seguridad es un factor de gran importancia a la hora de diseñar la planta, para que después se consiga eliminar o reducir el número de incidencias que puedan ocurrir durante el funcionamiento de la planta.

Estos accidentes se consiguen disminuir significativamente cuando hay una adecuada información de los peligros que hay en la planta y las medidas de seguridad que se tienen que tomar para prevenir la ocurrencia de accidentes. De esta manera se consigue el objetivo de la seguridad de la planta que es proteger a los trabajadores, la población cercana a la planta y el medio ambiente que la rodea.

## 5.2 Riesgos y accidentes en la industria química

Los accidentes que pueden suceder en una la planta química vienen determinados por el riesgo y el peligro que son dos conceptos diferentes, aunque parezcan parecidos. Por eso se definen los conceptos peligro, accidente y riesgo a continuación:

- Un peligro es la fuente, situación o acto con potencial para causar daño humano, deterioro de la salud, daño físico o una combinación de estos.
- Un accidente es un suceso o sucesos relacionados con el trabajo, en él ocurre o podría haber ocurrido un daño o deterioro de la salud (sin tener en cuenta la gravedad) o una fatalidad.
- Un riesgo es una combinación de la probabilidad de que suceda algo peligroso por la gravedad del daño que podría ocasionar para la salud.

$$R(\text{riesgo}) = P(\text{probabilidad}) \cdot S(\text{severidad})$$

Esta definición es correcta, pero presenta algunos problemas sobre el concepto de severidad ya que, la severidad del daño, es decir la magnitud de la consecuencia no se puede medir únicamente con fatalidades y dinero. Hay que tener en cuenta muchos otros factores como heridos y secuelas que puedan quedar a largo plazo, que afecten a la población cercana o al medio ambiente que rodea la planta. Por otro lado, calcular la probabilidad es difícil pero mucho más factible que calcular la severidad.

### 5.2.1 Clasificación de riesgos

Los riesgos se dividen en 3 grupos, según las medidas de control aplicadas en ellos:

- Riesgo puro: es el riesgo sobre el cual no se ha aplicado nunca ninguna medida de control.
- Riesgo residual: es el riesgo sobre el cual si se han aplicado medidas para reducirlo o mitigarlo.
- Riesgo aceptable: es el riesgo que se ha conseguido reducir o mitigar de tal forma que pueda ser tolerado por la empresa teniendo en cuenta los requisitos legales en cada país, la política de seguridad y salud en el trabajo.

## 5.2.2 Tipología de riesgos y sus medidas de prevención

Se pueden diferenciar cuatro tipos de riesgos, que se presentan a continuación con sus respectivas medidas de prevención:

### 5.2.2.1 Riesgo emisión

La emisión de una sustancia química es la salida incontrolada de un fluido, si el fluido es gas hablamos de fuga, si el fluido es líquido hablamos de derrame. Las fugas de sustancias peligrosas constituyen uno de los accidentes más frecuente en las instalaciones químicas de proceso, y que suelen generar daños graves tanto a los propios equipos como a las personas expuestas. A su vez otra repercusión importante previsible es la interrupción del proceso productivo incluyendo en algunos casos el vaciado de la instalación.

Las fugas suelen generarse principalmente en las conducciones. Dentro de éstas los puntos más vulnerables son las uniones entre diferentes tramos y las conexiones a los equipos. Las causas de tales fugas son múltiples, pero en su mayoría se deben a fallos de proyecto. Es de resaltar que, en los equipos, las bombas de impulsión de fluidos son generadoras de muchos accidentes de esta forma.

Las fugas pueden ser de varios tipos en función de las características y estado del fluido en cuestión. Las fugas en fase líquida son extremadamente peligrosas en el caso de gases licuados, debido a la gran cantidad de masa que se va a producir en un breve plazo de tiempo. En el caso la planta ETHOXID de producción de óxido de etileno las emisiones que pueden ser tanto de gas como líquido de diferentes sustancias químicas.

#### Medidas de prevención frente a posibles emisiones:

Las premisas siguientes se encuentran detalladas más ampliamente en la *Nota Técnica de Prevención (NTP) 363* sobre prevención de fugas en instalaciones industriales, que recoge el *Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT)*.

- Cumplimiento del *Real decreto 656/2017* por el que se aprueba el *Reglamento de Almacenamiento de Productos Químicos y sus instrucciones técnicas complementarias MIE APQ 0 a 10*.
- Diseño de tuberías: Uno de los aspectos iniciales clave es el diseño de la red de tuberías y las condiciones del ámbito físico en el que se encuentran. Un principio básico consiste en lograr que los puntos de conexión sean los mínimos posibles, en especial para recintos interiores y tratarse de sustancias inflamables y tóxicas. Por otra parte, hay que considerar la necesidad de dividir las líneas de tuberías en tramos de forma que se faciliten los trabajos diversos a realizar sobre aquellas.

- Juntas de estanqueidad: Para asegurar la debida estanqueidad de las diferentes conexiones se deberían seleccionar las juntas adecuadas.

El tipo de junta y el material de que esté constituida estará en función del fluido, de las condiciones en que éste se encuentra y de las características propias de la instalación. También es importante considerar la conveniencia de sustituir las juntas cada vez que se efectúe una intervención por mantenimiento regular o accidental.

- Aislamiento por distancia: Es importante lograr un distanciamiento de seguridad entre los puntos de posibles emisiones y las personas. Tal medida en la planta ETHOXID es difícil de aplicar, ya que al estar situada cerca de la Canonja tiene centros de población y ámbitos urbanos cerca.

La planta ETHOXID se centra en el aislamiento por distancia en ámbito laboral dentro de la planta, en caso de fuga se tiene de disponer de recintos de seguridad en los que el personal pueda refugiarse, al mismo tiempo desde tales lugares poder controlar la instalación.

- Aislamiento de la instalación afectada: Al objeto de minimizar la cantidad de sustancia fugada es necesario disponer de dispositivos de aislamiento por tramos. Con ello se puede lograr reducir sustancialmente la fuga, siempre que ésta pueda ser detectada con celeridad y el accionamiento de las correspondientes válvulas pueda efectuarse, preferiblemente por control remoto.
- Almacenamiento mínimo: El principio de seguridad de limitar las cantidades de sustancias peligrosas almacenadas en los lugares de trabajo a lo estrictamente necesario, debería ser respetado siempre y especialmente en el caso particular de que la posible fuga fuese de difícil control.

#### 5.2.2.2 Riesgo de incendio

Un incendio es una reacción de oxidación-reducción muy exotérmica, según la terminología de los incendios el reductor se denomina combustible y el oxidante, comburente, que en contacto causan una combustión. El incendio puede provocar daños irreversibles a las instalaciones y trabajadores, por lo cual, la prevención debe ser eficiente y en el caso que este riesgo ocurra la protección debe tener un efecto rápido.

Para que se produzca un incendio es necesario que el comburente y combustible estén en contacto en espacio y tiempo en un estado energético suficiente (energía de activación) para que se produzca una reacción entre ambos. La energía de activación es la aportada por los focos de ignición.

Entonces, para que se inicie un incendio es necesario que coexisten tres factores: combustible, comburente y foco de ignición, que conforman un “triángulo del fuego”. Si además está presente suficiente energía desprendida en el proceso, está permite que se produzca una reacción en cadena formando un “tetraedro del fuego”.

El incendio como accidente se entiende el inicio de este y su inmediata propagación. La prevención del incendio se centra en eliminar uno de los factores del “triángulo de fuego”.

Para determinar la probabilidad de inicio de incendio se debe tener en cuenta la coexistencia en espacio, tiempo e intensidad suficiente del combustible y el foco de ignición. Peligrosidad de combustibles depende de su estado físico, ya que en el caso de combustibles sólidos el grado de fragmentación es elevado, para los líquidos y gases inflamables es importante conocer el límite inferior de inflamabilidad y la energía mínima de ignición y en caso de líquidos también la temperatura de inflamación.

Los focos de ignición aportan la energía de activación necesaria y pueden ser de origen térmico (fumar, instalaciones generadoras de calor, rayos solares, realización de soldaduras, etc.), químico, mecánico y eléctrico (chispas debidos a interruptores, motores, cortocircuitos, sobrecargas, electricidad estática o descargas eléctricas en atmosfera, etc.).

Los incendios en la industria química son muy peligrosos y pueden provocar una rápida propagación desprendiendo el calor, se pueden formar humos tóxicos y/o contaminantes, y pueden provocar una onda explosiva.

#### Medidas de prevención frente a posibles incendios:

- Cumplimiento del *Real decreto 656/2017* por el que se aprueba el *Reglamento de Almacenamiento de Productos Químicos y sus instrucciones técnicas complementarias MIE APQ 0 a 10*.
- Cumplimiento del *Real Decreto 513/2017* por el cual se aprueba el *Reglamento contra protección de incendios*.
- Protección Pasiva: son aquellas medidas que no actúan directamente sobre el fuego, pero que pueden dificultar su propagación, evitar el derrumbe del edificio o facilitar la evacuación. Se estudiará y determinará la protección adecuada según siguientes criterios:
  - La localización en relación con el entorno de la planta.
  - Las características de combustibles y su situación y distribución o Las características de construcción: estabilidad de fuego (EF), para llamas (PF) y resistencia al fuego (RF).
  - Las exigencias de comportamiento de los materiales ante el fuego.

- Protección Activa: son las medidas de la lucha contra incendios. Se debe:
  - Proporcionar una organización de la lucha contra incendios.
  - Formación del personal en actuaciones de lucha contra incendios.
  - Determinar e instalar los medios de detección de incendios y alarmas.
  - Determinar medios de lucha contra incendios, tales como, extintores, BIE, etc.
  - Elaborar el plan de emergencia y determinar las vías de evacuación.
  - Proporcionar la facilidad de acceso de los servicios de extinción.
  - Determinar el periodo y formas de mantenimiento de los sistemas de la planta.

#### 5.2.2.3 Riesgo de explosión

Una explosión se puede definir como una liberación repentina de energía, que genera una onda de presión que se desplaza alejándose de la fuente mientras va disipando energía. Se trata de una liberación bastante rápida y concentrada para que la onda que se genera sea audible, dando lugar a la producción de una gran cantidad de volumen de gases a elevada temperatura, acompañado de ruido, efectos luminosos y mecánicos violentos de carácter vibratorio.

Un explosivo es cualquier objeto o sustancia química sólida, líquida o en mezcla, que en forma instantánea libera gases y calor a presión en gran cantidad. Esta reacción puede ser violenta y generalmente la inicia un elemento llamado detonador. Si el oxidante es aire en condiciones atmosféricas, se habla de atmósfera explosiva. Ocasiona daños de magnitud considerable en todas direcciones y una vez ha comenzado no se puede detener fácilmente.

La explosión, que consiste en liberar, de una forma violenta e imprevista, mucha cantidad de energía, lo que puede ser debido a factores tales como: la sobrepresión generada, alcanzamiento de alta temperatura en forma de llamas o radiación térmica, una emisión de agentes químicos peligrosos, el impacto directo de las piezas y el derrumbe o abatimiento de estructuras. Los daños producidos por una explosión suelen ser devastadores o catastróficos en la mayoría de los casos.

#### Medidas de prevención frente a posibles explosiones:

A continuación, se recogen las medidas más importantes de seguridad y prevención para evitar una explosión. Estas medidas son dictadas por el *Real Decreto 681/2003*, el cual trata sobre la protección de la salud y seguridad de los trabajadores expuestos a los riesgos derivados de atmósferas explosivas en el puesto de trabajo.

- Cumplimiento del *Real Decreto 656/2017* por el cual se aprueba el Reglamento de Almacenamiento de Productos Químicos y sus instrucciones técnicas complementarias *MIE APQ 0 a 10*.
- Cumplimiento del *Real Decreto 681/2003* (Normativa ATEX en lo referente a la seguridad y salud de los trabajadores).
- Proporcionar formación e información adecuada sobre la protección en caso de explosiones.
- Toda liberación (intencionado o no) de gases o pulso inflamable que pueda dar lugar a un riesgo de explosión tendrá que ser desviado o evacuado a un lugar seguro.
- Inertización de los equipos donde se trabaje con sustancias explosivas.
- Los trabajadores tienen que contar con ropa adecuada y calzado antiestático, puesto que las descargas electrostáticas producidas por los mismos trabajadores o el entorno a trabajo los hace portadores de carga, la cual puede causar la ignición de la atmósfera explosiva.
- Aislamiento térmico para evitar un aumento de la temperatura y con este la presión dentro del equipo.
- Aislamiento del aparato o recipiente a presión de las zonas de o permanencia del personal.

#### 5.2.2.4 Riesgo ergonómico

Otro tipo de riesgo principal en cualquier industria se el riesgo ergonómico. Este a diferencia de los anterior no hace tanta referencia al posible riesgo que origina la naturaleza de las diferentes sustancias que se están manipulando a la planta, sino que hace referencia al riesgo que se puede originar cuando el trabajador interactúa con el puesto de trabajo.

Es decir, se puede ver afectada la integridad del trabajador por actividades laborales que presenten movimientos, posturas o acciones no adecuadas, y, por lo tanto, dañino para la salud.

Pero, no solo trata los daños físicos si no que, también, se tiene que vigilar el desgaste energético, fatiga mental y todo aquello que comporte un peligro a nivel psicológico.

#### Medidas de prevención frente a riesgos ergonómicos:

A continuación, se recogen algunas de las medidas más importantes de seguridad y prevención para evitar una explosión. Estas medidas su dictadas, principalmente, por el INSHT y por la *ley 31/1995 de prevención de riesgos laborales*, entre otras leyes.

- Realizar pausas en el trabajo para descansar y cuando se trata de trabajos muy repetitivos cambiar de postura cada cierto tiempo para evitar dolencias físicas.
- Efectuar reconocimientos médicos periódicos para detectar alguna posible anomalía en el estado de salud.
- Rotación de lugares de trabajos si el trabajo se demasiado pesada.

Hay que decir que para tener un ambiente correctamente controlado y que permita la minimización de los riesgos se tienen que contemplar todas las medidas de seguridad, anteriormente, comentadas y, no solo aplicar de forma parcial, puesto que todas se encuentran enjarjes entre ellas tal y como se ha visto. Si se consiguen estos objetivos referentes a la seguridad se consigue un entorno seguro tanto por trabajadores como por la población próxima a la planta y el medio ambiente que lo rodea.

### 5.3 Sustancias químicas

En esta planta de producción de óxido de etileno intervienen una serie de sustancias, las cuales algunas resultan ser peligrosas. Por lo tanto, se deben tener localizadas e identificadas para poder aplicar las medidas de seguridad correspondientes. Además, también es necesaria la identificación para que todo el que trabaje en la planta esté informado sobre cómo manipular estas sustancias. La información sobre la peligrosidad y el riesgo derivado de su utilización viene recogida en sus etiquetas y fichas de seguridad.

#### 5.3.1 Clasificación general de las sustancias químicas peligrosas

Una vez se sabe los compuestos que intervienen en esta planta, se debe saber los daños que pueden provocar a los trabajadores o al personal, por lo tanto, se debe saber el tipo de peligro que produce y señalarlo con pictogramas. Los diferentes tipos de peligros a los que se puede enfrentar un operario en una planta se dividen en 3 grandes grupos (los peligros físicos, para la salud o para el medio ambiente) y los peligros o subgrupos que se pueden ver para cada uno de estos 3 grandes grupos son los siguientes:

Peligros físicos:

- **Explosivo:** Sustancias y preparados que pueden explotar por el efecto de una llama o del calor o que sean muy sensibles a los choques y a la fricción. Muchas de las explosiones pueden ser por culpa de polvos o por culpa de calentar un tanque (y que este explote). Los tipos de explosivo que se pueden llevar a cabo son, los explosivos por: inestabilidad, en masa, con peligro de proyección, con peligro de incendio, onda expansiva o proyección, y posible riesgo de este al producirse un incendio.



*Figura 5.1. Pictograma sustancia explosiva.*

- **Comburente:** Sustancias y preparados oxidantes que, en contacto con otras sustancias, sobre todo inflamables, originan una reacción fuertemente exotérmica. Según el estado físico en el que se encuentre el compuesto se clasifican en 3 categorías. En estado gas se encuentran en la categoría 1 y los líquidos o sólidos dependiendo de la peligrosidad de estos pueden permanecer a cualquiera de las tres categorías. Estas categorías son:

- Categoría 1 y 2: Sustancias que pueden provocar un incendio o una explosión (Muy comburente).
- Categoría 3: Sustancia que pueden provocar o empeorar un incendio (Comburente).



*Figura 5.2. Pictograma sustancia comburente.*

- **Inflamable:** Sustancias de las cuales los vapores que emiten son fácilmente quemados y se facilita dicha acción en contacto o al mezclarse con el aire. En función del su punto de inflamación, (temperatura mínima a la que se desprenden la cantidad de vapores suficientes para que se produzca una inflamación del compuesto) se pueden distinguir 3 categorías independientemente del estado físico del compuesto, estas son:

- Categoría 1: Sustancias extremadamente inflamable.
- Categoría 2: Sustancias muy inflamables.
- Categoría 3: Sustancias inflamables.



*Figura 5.3. Pictograma sustancia inflamable.*

- **Gas a presión:** Son los gases los cuales su almacenamiento conllevan un riesgo muy importante ya que están sometidos a presiones muy elevadas, es decir, mayor a 1 atm y su transporte o almacenamiento deben ser correctos y eficaces. Este tipo de peligro no tiene ninguna categoría en el que se distinguen los diferentes compuestos, aunque sí que podrían dividirse, aunque no de manera estricta o que provenga de una normativa.

Aunque se puede distinguir diferentes tipos de gases a presión como son: los inflamables, comburentes, comprimidos, licuados o licuados refrigerados (que pueden provocar quemadura por sus bajas temperaturas), disueltos, tóxicos, corrosivos y aquellos que pueden provocar una explosión en caso de calentamiento del recipiente.



*Figura 5.4. Pictograma gases a presión.*

Peligros para la salud humana:

- **Irritante o Advertencia (señal):** Sustancias y preparados, no corrosivos, que por contacto inmediato, prolongado o repetidas veces en la piel o las mucosas provoca una reacción inflamatoria, es decir, provoca irritaciones y síntomas nocivos para las personas que entren en contacto con estos compuestos. Esta peligrosidad está dividida en 4 subcategorías:

- Categoría 1: Provoca síntomas de enfermedades, alergias, etc.
- Categoría 2: Puede provocar irritaciones graves para las personas.
- Categoría 3: Provoca efectos nocivos específicos como irritación del gastro intestinal al ingerirla.
- Categoría 4: Provoca efectos nocivos con el contacto de la piel o su ingestión.

- **Sensibilizante:** Sustancias y preparados que, por inhalación o penetración cutánea, pueda ocasionar una reacción del sistema inmunitario (hipersensibilización), de forma que una exposición posterior a esta sustancia o preparado dará lugar a una serie de efectos negativos características.



*Figura 5.5. Pictograma sustancia sensibilizante e irritante.*

- **Corrosivo:** Sustancias y preparados que, en contacto con tejidos vivos, produce una acción destructiva contra este. Las substancias corrosivas no solo afectan a tejidos vivos, sino que también pueden ser muy corrosivo para metales, cosa que hay que tener mucho cuidado con los metales que se escogen para hacer la planta y no se produzca ningún accidente.



*Figura 5.6. Pictograma sustancia corrosiva.*

- **Tóxico:** Sustancia y preparados que, por inhalación, ingestión o penetración cutánea, puedan provocar dolencias, riesgos sumamente graves, agudos o crónicos, e incluso, la muerte. Para saber el nivel de toxicidad que puede tener un compuesto, estos se separan en 5 categorías y 3 grupos que forman este peligro, para hacer dicha clasificación se debe conocer la DL-50 (dosis letales) según la vía de exposición sobre animales y, por lo tanto, saber cuál es el nivel de toxicidad y a partir de que dosis es mortal (50% de la población). Estas categorías son:

- T+: Muy tóxicos (Categoría 1 y 2: Mortal).
- T: Tóxicos (Categoría 3: Tóxico).
- X: Nocivos (Categoría 4: Nocivo).



*Figura 5.7. Pictograma sustancia tóxica.*

- **Cancerígeno:** Sustancias y preparados que, por inhalación, ingestión o penetración cutánea, pueda producir cáncer o aumentar su frecuencia. Hay 3 categorías:

- Categorías 1A y 1B: Pueden provocar cáncer (Siendo la A la más peligrosa).
- Categoría 2: Sospechas de que pueda provocar cáncer.

- **Mutágeno:** Sustancias o preparados que, por inhalación, ingestión o penetración cutánea, pueden producir defectos genéticos hereditarios o aumentar la frecuencia de la mutación, por lo tanto, se puede decir que altera el ADN (material genético) cuando una persona está en contacto o expuesto ha dicho compuesto. Es un factor muy importante debido a que las mutaciones son irreversibles y de carácter muy dañino. Se clasifican en 3 categorías:

- Categoría 1A y 1B: Puede provocar defectos genéticos.
- Categoría 2: Sospechas de que pueda provocar efectos genéticos.

- **Tóxicos para la reproducción:** Sustancia que, por inhalación, ingestión o penetración cutánea, pueden producir efectos negativos no hereditarios en la descendencia de forma irreversible, o aumenta la frecuencia de este, i/o afectar de forma negativa a la función o a la capacidad reproductora del hombre y la mujer.



**Figura 5.8.** Pictograma sustancia cancerígena, mutágeno o tóxica para la reproducción.

- **Peligrosos para el ambiente o medio ambiente:** Sustancia que, en caso de tener contacto con el medio ambiente, supondrá o pondrán en peligro un peligro inmediato o futuro para uno o más componentes de este. Y sobre todo este tipo de compuestos puede ser muy tóxico con efecto duradero del medio u organismos acuáticos.



**Figura 5.9.** Pictograma sustancia peligrosa para el medio ambiente.

### 5.3.2 Clasificación de las sustancias químicas presentes en ETHOXID

Una vez conocidas las diferentes categorías en que se pueden clasificar las sustancias químicas peligrosas en función de su naturaleza, se procede a clasificar las sustancias presentes en la planta de ETHOXID de producción de óxido de etileno.

**Tabla 5.1.** Clasificación de las sustancias químicas presentes en la planta ETHOXID.

Sustancia	Categoría
Etileno	Inflamable, gas a presión, irritante.
Oxígeno	Comburente, gas a presión.
Nitrógeno	Gas a presión.
Óxido de etileno	Inflamable, gas a presión, toxico, peligroso para la salud humana.
Monoetanolamina	Corrosiva, irritante, toxica.
Agua	-
1,2,3,4-Feniletíl-naftaleno	Peligroso para el medio ambiente.

El 1,2,3,4-feniletíl-naftaleno es la sustancia química por la cual está formado el fluido de transmisión de calor “DOWTHERM RP Heat Transfer Fluid” utilizado en la planta de ETHOXID para algunos equipos.

La sustancia química más peligrosa en la planta ETHOXID es el óxido de etileno ya que es una sustancia altamente inflamable y muy reactiva. Las reacciones dadas a partir o con óxido de etileno como por ejemplo su descomposición o polimerización, pueden ser sumamente exotérmicas y muy peligrosas. A continuación, se exponen los 4 principales peligros del óxido de etileno:

### **Inflamabilidad:**

El óxido de etileno es altamente inflamable y posee un punto de inflamación por debajo de  $-18^{\circ}\text{C}$ . Resulta inflamable en el aire a cualquier concentración superior al 2,6% (en volumen). No existe un límite superior de inflamabilidad, en los términos en que normalmente se considera este parámetro, porque la combustión es reemplazada por la descomposición exotérmica a las concentraciones más altas, hasta el 100% de vapor de óxido de etileno.

Por su bajo punto de ebullición y su inflamabilidad, el óxido de etileno se asemeja, en cierto modo, al GLP. Sin embargo, una diferencia importante es que el óxido de etileno es totalmente miscible en agua. Otra diferencia importante es que las mezclas en aire de óxido de etileno tienen una energía de ignición muy baja.

La temperatura de autoinflamación del óxido de etileno en aire, a presión atmosférica, es de  $429^{\circ}\text{C}$ . Sin embargo, la presencia de cualquier contaminante como, por ejemplo, óxido de hierro, puede reducir significativamente esta temperatura.

Las disoluciones de óxido de etileno en agua pueden producir vapores inflamables. Incluso una disolución al 1% de óxido de etileno en agua tiene un punto de inflamación en vaso cerrado de  $22^{\circ}\text{C}$ . Para la dilución debe utilizarse la mayor cantidad de agua posible. El riesgo de inflamación puede seguir presente si mezclas insuficientemente diluidas penetran en el sistema de alcantarillado.

Si el óxido de etileno entra en contacto con ciertos materiales aislantes puede auto calentarse. Se han registrado temperaturas de hasta  $700^{\circ}\text{C}$  por este fenómeno. Al arder, el material aislante puede calentar la pared del recipiente por encima de la temperatura de descomposición y provocar una explosión.

### **Reactividad**

El óxido de etileno es un producto químico muy reactivo, que reacciona exotérmicamente, siendo las reacciones catalizadas por impurezas o compuestos como por ejemplo agua, alcoholes, amoníaco, aminas y ácidos/bases. Estas reacciones pueden ser sumamente exotérmicas y autoacelerativas, incluso en presencia de apenas unas trazas de estos compuestos.

### **Descomposición**

Los vapores del óxido de etileno puro se descomponen explosivamente en caso de ignición, incluso en ausencia de aire. La descomposición del óxido de etileno se inicia si el producto se calienta por encima de  $560^{\circ}\text{C}$ , que es la temperatura de autodescomposición.

La descomposición puede ser catalizada por acetiluros metálicos, así como por metales como cobre, plata, mercurio y sus aleaciones. El aumento de la presión reduce la temperatura de autodescomposición.

### **Polimerización**

El óxido de etileno es estable a temperatura ambiente en ausencia de catalizadores/contaminantes. La iniciación estrictamente térmica de la polimerización comienza alrededor de 100°C.

La polimerización del óxido de etileno es sumamente exotérmica y, si no se enfría para controlar la temperatura, resulta autoacelerativa. Esto puede originar la vaporización del óxido de etileno que no haya reaccionado y, tal vez, también descomposición explosiva del vapor.

Esta polimerización puede ser promovida por impurezas o contaminantes que actúen como catalizador, como ácidos, bases, óxidos metálicos y cloruros anhidros de hierro, aluminio y estaño. Por lo tanto, es muy importante mantener limpios los equipos que vayan a contener óxido de etileno, y evitar la mezcla accidental con otros productos incompatibles.

A temperatura ambiente, la polimerización del óxido de etileno en presencia de herrumbre es muy baja. El polímero es un líquido viscoso, térmicamente estable y soluble en el monómero. Si se expone al agua a temperatura superior a 50 °C, el polímero reacciona produciendo polietilenglicol, que es muy pegajoso y difícil de eliminar de los equipos.

#### 5.3.3 Fichas de seguridad de las sustancias químicas presentes en ETHOXID

Las fichas de seguridad (FDS) son una fuente información importante, ya que suelen ser complementarias a la información que presente en las etiquetas de los productos. En el caso de la planta de ETHOXID no hay ninguna sustancia etiquetada y distribuida en pequeñas cantidades. Debido a que las materias primas son gases, el producto final se almacena en estado líquido y se transportan ambos en grandes cantidades.

Las FDS son una herramienta fundamental para la prevención de riesgos laborales y en la protección del medio ambiente, ya que recopilan toda la información referente a las propiedades de una sustancia, la forma de manipularla y almacenarla.

De esta forma se toman las medidas necesarias para la protección de la salud en el sitio de trabajo y se controla mejor el posible riesgo de accidente.

Es obligatorio que el responsable de la comercialización de la sustancia facilite de forma gratuita la ficha de seguridad al destinatario. Esta ficha se puede entregar en 2 formatos diferentes, en papel o por vía electrónica los dos igualmente válidos.

Las FDS están reguladas por los *Reales Decretos 363/1995* y *255/2003*, los cuales establecen que las FDS se tienen que redactar, al menos con la lengua oficial del Estado Español y tienen que cumplir de forma obligatoria estos capítulos:

1. Identificación de la sustancia o preparado y de la sociedad o empresa
2. Identificación de los peligros
3. Composición/ información sobre los componentes
4. Primeros auxilios
5. Medidas de lucha contra incendios
6. Medidas en caso de liberación accidental
7. Manipulación y almacenamiento
8. Control de exposición/ protección individual
9. Propiedades físicas y químicas
10. Estabilidad y reactividad
11. Información toxicológica
12. Información ecológica
13. Consideraciones sobre eliminación
14. Información sobre el transporte
15. Información reglamentaria
16. Otra información

Se ha creado un anexo de este capítulo, *Capítulo 5: Seguridad e Higiene*, para recopilar todas las fichas de seguridad referentes a las sustancias presentes en la planta ETHOXID. Las fichas técnicas son las proporcionadas por el *Instituto Nacional de la Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST)* y también por otras empresas externas.

Para más detalle sobre las FDS, se puede revisar la *NTP 371 del INSST*, donde se explica detalladamente cada una de las partes que forman una FDS mencionadas anteriormente.

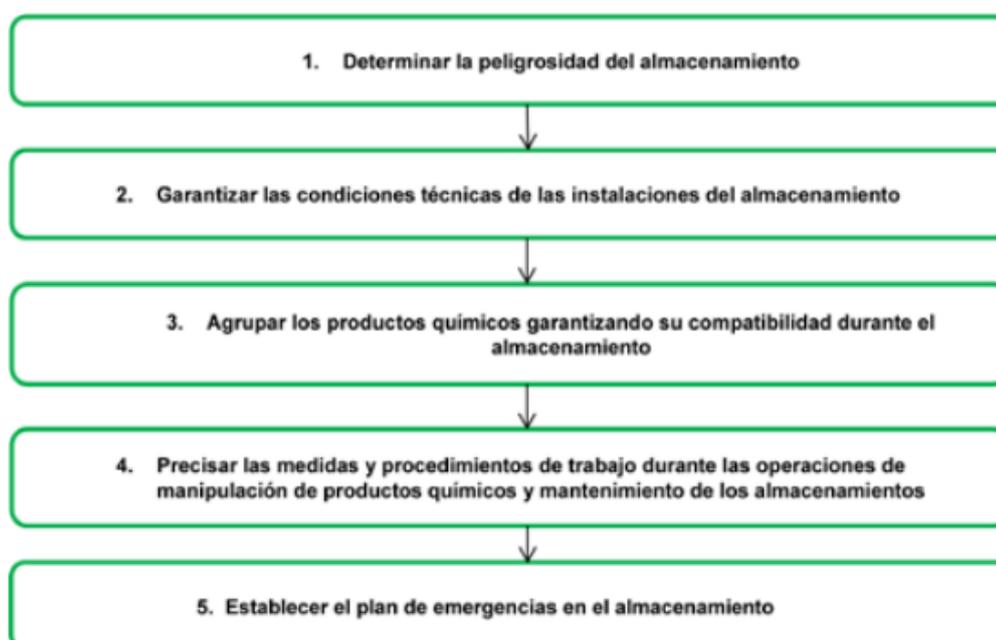
## 5.4 Almacenamiento de productos químicos

En el apartado anterior se han presentado las sustancias químicas que se utilizan en la planta de producción de óxido de etileno de ETHOXID, en este se comenta como se almacenan dichas sustancias dentro de la planta.

El almacenamiento conjunto de productos químicos dentro de un mismo cubeto, en un mismo recipiente subdividido o en una misma dependencia, sin la adopción de las medidas de seguridad oportunas, puede suponer un grave riesgo de accidentes debido principalmente a las posibles reacciones que se pueden generar entre estos productos y que pueden originar incendios, explosiones, emisión de gases tóxicos, etc.

No obstante, en dicho almacenamiento conjunto también hay que considerar otras incompatibilidades entre los productos químicos que, sin conllevar el riesgo de producir reacciones peligrosas, pueden dar lugar a un agravamiento de las consecuencias en caso de incendio.

Por ejemplo, se debe evitar almacenar conjuntamente productos que, pudiendo originar o propagar fuego, requieran distintos tipos de agentes extintores. Por lo tanto, uno de los aspectos esenciales al poner en servicio el almacenamiento de productos químicos es garantizar que no se están almacenando conjuntamente productos incompatibles. Para ello, se propone adoptar procedimientos que contemplen los aspectos expuestos en la siguiente *Figura 5.10*.



**Figura 5.10.** Puntos críticos para garantizar la seguridad en el almacenamiento de productos químicos.

#### 5.4.1 Normativa aplicable para el almacenamiento

El tipo de almacenamiento viene determinado, principalmente, por la peligrosidad de la sustancia. Esta peligrosidad está indicada en la ficha de seguridad de cada sustancia, a parte de la peligrosidad entre otros datos en las fichas de seguridad también se pueden encontrar datos relacionados con el almacenaje.

La normativa aplicable para un correcto almacenaje se encuentra en el *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 MIE APQ 0 a 10*. Este reglamento está formado por 10 instrucciones técnicas complementarias que hacen referencia a una o varias sustancias. Se presentan a continuación:

- *ITC MIE-APQ-1 "Almacenamiento de líquidos inflamables y combustibles"*.
- *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 en nitrógeno"*.
- *ITC MIE-APQ-9 "Almacenamiento de peróxidos orgánicos y de materias autorreactivas"*.
- *ITC MIE-APQ-10 "Almacenamiento en recipientes móviles"*.

El reglamento sobre el almacenaje de las sustancias presentes en la planta ETHOXID está comprendido entre las *ITC MIE-APQ-1,2,5 y 6*.

En el caso dado que una sustancia este comprendida en más de una ITC habrá que seguir las medidas que sean más estrictas y restrictivas, para garantizar el cumplimiento total del Real Decreto y de esta manera garantizar la seguridad en planta.

A continuación, se presentan las diferentes sustancias químicas almacenadas en planta, juntamente con las ITC que tienen que seguir.

**Tabla 5.2.** Clasificación de las sustancias químicas presentes en la planta ETHOXID según la ITC MIE-APQ que aplican.

Sustancia	ITC MIE-APQ
Etileno	1 y 5
Oxígeno	1 y 5
Nitrógeno	5
Óxido de etileno	1, 2 y 5
Monoetanolamina	6
Agua	-
1,2,3,4-Feniletíl-naftaleno	-

Dentro de las *ITC MIE-APQ 1, 5 y 6* hay una clasificación de sustancias químicas por categorías, las sustancias son clasificadas según ciertas propiedades de cada sustancia para poder después aplicar la normativa asociada a su categoría.

En la *ITC MIE-APQ 1* la clasificación es la siguiente:

1. Clase A. Productos licuados cuya presión absoluta de vapor a 15 °C sea superior a 1 bar. Según la temperatura a que se los almacena puedan ser considerados como:
  - a. Subclase A1. Productos de la clase A que se almacenan licuados a una temperatura inferior a 0 °C.
  - b. Subclase A2. Productos de la clase A que se almacenan licuados en otras condiciones.
2. Clase B. Productos cuyo punto de inflamación es inferior a 55°C y no están comprendidos en la clase A. Según su punto de inflamación pueden ser considerados como:
  - a. Subclase B1. Productos de clase B cuyo punto de inflamación es inferior a 38°C.
  - b. Subclase B2. Productos de clase B cuyo punto de inflamación es igual o superior a 38°C e inferior a 55°C.
3. Clase C. Productos cuyo punto de inflamación se comprende entre 55°C y 100°C.
4. Clase D. Productos cuyo punto de inflamación es superior a 100°C.

Si aplicamos esta clasificación para las sustancias de la planta ETHOXID comprendidas en la *ITC MIE-APQ-1*, obtenemos la siguiente tabla:

**Tabla 5.3.** Clasificación de las sustancias químicas presentes en la planta ETHOXID según la ITC MIE-APQ-1.

		A	B	C	ln (Pv)	Pv (mm Hg)	Pv (bar)	Clase
<b>Etileno</b>	<b>C<sub>2</sub>H<sub>4</sub></b>	15,833	1427,200	-14,308	10,62	40879,30	54,501	A2
<b>Oxígeno</b>	<b>O<sub>2</sub></b>	15,699	780,260	-4,176	12,95	420795,38	561,01	A2
<b>Óxido etileno</b>	<b>C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>O</b>	16,527	2478,100	-33,158	6,80	900,49	1,201	A2

\*Para obtener la presión de vapor de las sustancias comprendidas en la ITC MIE-AQP-1 se ha aplicado la ecuación de Antoine, que se encuentra en el banco de datos proporcionado en la asignatura de 2do curso "Termodinámica Aplicada".

En la ITC MIE-APQ-6 la clasificación se presenta en 3 grandes grupos:

1. Clase A): sustancias muy corrosivas. Pertenecen a este grupo las sustancias que provocan una necrosis perceptible del tejido cutáneo en el lugar de aplicación, al aplicarse sobre la piel intacta de un animal por un período de tiempo de tres minutos como máximo.

2. Clase B): sustancias corrosivas. Pertenecen a este grupo las sustancias que provocan una necrosis perceptible del tejido cutáneo en el lugar de aplicación, al aplicarse sobre la piel intacta de un animal por un período de tiempo comprendido entre tres minutos como mínimo y sesenta minutos como máximo.

3. Clase C): sustancias con un grado menor de corrosividad. Pertenecen a este grupo las sustancias que provocan una necrosis perceptible del tejido cutáneo en el lugar de aplicación, al aplicarse sobre la piel intacta de un animal por un período de tiempo a partir de una hora y hasta cuatro horas como máximo.

La monoetanolamina pertenece a la clase A, debido a su alto grado de corrosividad.

#### 5.4.2 Zonas de almacenamiento en la planta ETHOXID y sus medidas de seguridad

En la planta de ETHOXID hay 2 áreas destinadas básicamente al almacenamiento de sustancias y una tercera área donde también se encuentran tanques de almacenaje para los servicios de planta, a continuación, se exponen estas áreas juntamente con el número de tanques de almacenamiento que hay por área:

- A-100: Obtención, acondicionamiento y almacenamiento de reactivos (1 oxígeno, 1 etileno, 2 nitrógeno, 2 monoetanolamina).
- A-600: Almacenamiento de óxido de etileno. (6 tanques)
- A-1000: Servicios de planta (2 nitrógeno).

Para poder evitar accidentes, explosiones o incendios en las zonas destinadas al almacenamiento, se tienen que tomar una serie de medidas de seguridad.

La primera y más básica, de las medidas de seguridad es identificar los diferentes peligros que presentan las sustancias a almacenar. Seguidamente comprobar la compatibilidad de las sustancias almacenadas en una misma área, ya que no está permitido el almacenamiento de sustancias que requieren agentes extintores los cuales pueden ser incompatibles entre ellos.

Otras medidas que se toman son las siguientes:

- Controles de nivel para cada tanque para evitar vertidos o fugas accidentales, pero también para evitar que el tanque se quede vacío y la bomba en vez de absorber líquido absorba aire, y de esta manera provocando la cavitación de la bomba.
- Uso de pintura externa en los tanques para evitar la corrosión externa debido a las condiciones ambientales, además el tanque de monoetanolamina también tendrá una capa de pintura interna para proteger el tanque de la corrosión.
- Presencia de algún agente extintor en caso de emergencia. Es necesario que sea compatible con todas las sustancias almacenadas y que sea capaz de extinguir rápidamente cualquier incendio que se pueda producir.
- Presencia de duchas y limpiadores de ojos. Estas herramientas de seguridad no se situarán más lejos de 10 metros de los sitios de trabajo indicados, estarán libres de obstáculos y señalizados debidamente en planta.
- Disponer de cubetos de retención para que el fluido no se escape en el caso de vertido o fuga accidental, y se convierta en un potencial peligro para la planta.
- Disponer de sistemas de venteo, los cuales no son más que válvulas de seguridad que previenen la formación de vacío o presión interna dentro del tanque, y poder generar deformaciones en estos.
- Todas las áreas de almacenamiento se encuentran al aire libre, pero los tanques de sustancias inflamables como el etileno y el óxido de etileno están provistos con una cubierta que les protege de las condiciones atmosféricas tales como la lluvia o los rayos solares.

### 5.4.3 Cubetos de retención

Como medida de seguridad frente a posibles derrames o vertidos durante el almacenamiento o trasvase de productos peligrosos, se utilizarán cubetos de retención.

El cubeto debe tener una capacidad del 100% del volumen de los recipientes depositados en él. El diseño de los cubetos de retención se ha realizado respetando las instrucciones técnicas recogidas en la *ITC MIE-APQ1*.

Para su diseño también se ha tenido en cuenta el número de tanques que habrá en la cubeta y la distancia que habrá entre tanque y tanque. En la planta de producción de ETHOXID habrá 5 cubetos, situados en la A-100 y uno situado en la A-600.

Los 4 cubetos situados en la A-100 están repartidos para contener cada sustancia por separado en caso de vertido o derrame, con lo que hay un cubeto para el tanque de oxígeno, un cubeto para el tanque de etileno, un cubeto para los tanques de nitrógeno y un cubeto para los tanques de monoetanolamina.

Los cubetos tendrán una pendiente de un 1%, por lo que en caso de que se produjese un derrame o vertido el fluido se dirija directamente a la zona de recogida.

Los recipientes de almacenamiento de óxido de etileno estarán colocados dentro de un área rodeada por muretes de altura no superior a un metro con salida directa a una canaleta de evacuación, el suelo estará pavimentado y tendrá pendiente hacia uno de los cuatro lados.

Este lado será el opuesto al que se encuentren las tuberías y válvulas de entrada y salida del óxido de etileno desde los recipientes, y no será adyacente a áreas de proceso o zonas de fuego abierto.

El objeto de esta disposición es que los posibles derrames de óxido de etileno líquido en caso de escape, o el agua procedente de la lluvia o el agua de los sistemas de riego contra incendios, una vez en el suelo y por medio de la pendiente se alejen del área que corresponda a la de la proyección vertical de los recipientes, y sean conducidos por gravedad hacia la canaleta de evacuación.

Los recipientes estarán separados entre sí por muretes de altura no superior a 30 centímetros para evitar la dispersión de derrames procedentes de uno de ellos hacia los otros. Tanto los muros de cerramiento laterales como los intermedios serán de hormigón u obra de fábrica, asimismo el pavimento será de hormigón con sellado de las juntas de dilatación.

Todos los drenajes de óxido de etileno se recogerán mediante conducciones apropiadas, y se llevarán a una instalación de dilución con agua hasta garantizar que la concentración de óxido de etileno no sobrepasa al uno por ciento en peso en ningún punto y así evitar atmósferas explosivas.

La canaleta de recogida de las aguas superficiales de la zona de recipientes también estará conectada a dicha instalación de dilución. Todas las conexiones a un colector de recogidas dispondrán, aguas arriba del injerto, de un sifón en carga permanente que impida el paso de gases desde la instalación de dilución de los drenajes hacia el colector.

Cuando un cubeto contenga un solo recipiente, su capacidad se establece considerando que tal recipiente no existe, es decir, será el volumen de líquido que pueda quedar retenido dentro del cubeto, incluyendo el del recipiente hasta el nivel de líquido en el cubeto. Cuando un cubeto contenga dos o más recipientes, su capacidad se establece:

- a. Referido al recipiente mayor, considerando que no existe éste, pero sí los demás, es decir, descontando del volumen total del cubeto vacío el volumen de la parte de cada recipiente que quedaría sumergido bajo el nivel del líquido, excepto el del mayor.
- b. Referido a la capacidad global de los recipientes: el volumen total del cubeto, considerando que no existe ningún recipiente en su interior.

#### 5.4.4 Sistemas de ventilación

Todo recipiente de almacenamiento deberá disponer de sistemas de venteo para prevenir la deformación de este como consecuencia de llenados, vaciados o cambios de temperatura ambiente.

Los venteos normales de un recipiente se dimensionarán de acuerdo con las reglamentaciones técnicas vigentes sobre la materia y, en su ausencia, con códigos de reconocida solvencia. En ausencia de estos, tendrán como mínimo un tamaño igual al mayor de las tuberías de llenado o vaciado y en ningún caso inferiores a 35 mm de diámetro interior.

Si cualquier recipiente tiene más de una conexión de llenado o vaciado, la dimensión del venteo se basará en el flujo máximo posible. La salida de todos los venteos en recipientes que permitan presiones manométricas mayores de 0,15 bar se dispondrá de forma que la descarga, en caso de inflamarse, no pueda producir recalentamientos locales o que el fuego incida en cualquier parte del recipiente.

Las válvulas de venteo pueden actuar como corta llamas cuando su construcción garantice una velocidad de salida superior a la velocidad de propagación de la llama durante todo el tiempo de apertura.

Todo recipiente de almacenamiento de superficie tendrá alguna forma constructiva o dispositivo que permita aliviar el exceso de presión interna causado por un fuego exterior.

Cada dispositivo de venteo deberá llevar estampado sobre él la presión de apertura, la presión a la cual la válvula alcanza la posición totalmente abierta y su capacidad de venteo en esta última posición.

#### 5.4.5 Inertización

El óxido de etileno se almacena en estado líquido, bien como líquido refrigerado o bien como gas comprimido licuado a temperatura ambiente, pero siempre bajo presión de gas inerte (nitrógeno de pureza mínima 99,99 por 100).

La presión en el interior de los recipientes se mantendrá constante mediante aporte de gas inerte cuando tienda a bajar o venteando a una instalación de tratamiento o a un sitio alto y seguro cuando tienda a subir. En ningún caso el llenado máximo del recipiente superará 0,78 kilogramos de óxido de etileno por decímetro cúbico del recipiente.

#### 5.4.6 Prevención

El personal de almacenamiento, para prevenir accidentes el área de almacenamiento A-600, recibirá en un plan de formación, en este habrá instrucciones específicas del titular del almacenamiento sobre:

1. Propiedades del óxido de etileno.
2. Función y uso correcto de los elementos e instalaciones de seguridad y del equipo de protección personal.
3. Consecuencias de un incorrecto funcionamiento o uso de los elementos e instalaciones de seguridad y del equipo de protección personal.
4. Peligro que pueda derivarse de un derrame o fuga de óxido de etileno.
5. Acciones que deban adoptarse en caso de derrame o fuga.

## 5.5 Distancia de seguridad entre instalaciones

Las distancias establecidas entre los diferentes puntos de la planta se determinan a partir de las distancias mínimas que deben tener dichos puntos entre ellos para consolidar la seguridad en toda la planta de ETHOXID.

Estas distancias están constituidas a partir del *Reglamento de almacenamiento de productos químicos (RAPQ)*. Para determinar las distancias entre equipos y áreas de la planta ETHOXID, se han utilizado las *ITC MIE-APQ -2* y *ITC MIE-APQ-1*. Respectando primero las distancias proporcionadas por la *ITC MIE-APQ- 2* referenciada al almacenamiento del óxido de etileno ya que son más restrictivas que las distancias proporcionadas en la *ITC MIE-APQ-1*.

Para determinar las distancias entre las áreas, equipos y zonas se han empleado las tablas siguientes, siendo las distancias más importantes:

- 5 metros entre tanques de OE, como se puede ver la excepción (1) en la **tabla 5.4**.
- 2 metros entre tanques del resto de sustancias de la planta ETHOXID, como se puede ver en la **tabla 5.5**, se respeta la distancia entre sustancias A2, especificada como  $\frac{1}{4}$  de la suma de los diámetros con un mínimo de 2 metros.
- 2 metros entre unidades del proceso, como no se especifica en las **tablas 5.4 y 5.6**, se ha tomado como distancia mínima los 2 metros cogiendo como referencia el de los tanques del resto de sustancia de la planta ETHOXID.
- 60 metros des de la antorcha a cualquier equipo/área, siguiendo las directrices de la *ITC MIE-APQ-1*.
- 15 metros des de tanques de OE a la zona de carga de OE, como se especifica en la excepción (2) de la **tabla 5.4**.

**Tabla 5.4. Distancias mínimas según ITC MIE-APQ-2.**

**Distancias, en metros, entre instalaciones fijas de superficie con capacidad global superior a 950 m<sup>3</sup>**

	Recipientes y bombas de trasvase de óxido de etileno (1)	Carga-descarga de óxido de etileno, incluidas sus bombas
Proceso, hornos, calderas y sus tomas de aire, tomas de aire de compresores	60	60
Bombas de agua contra incendios.	60	30
Bombas de otros productos	30	30
Recipientes y bombas de trasvase de óxido de etileno	(1)	30 (2)
Recipientes con productos inflamables y combustibles (3) y almacenamientos en recipientes a presión o que contengan otros productos peligrosos (4)	(6)	30
Carga-descarga de inflamables y combustibles (3), incluidas sus bombas	30 (2)	30 (5)
Carga-descarga de otros productos peligrosos (4)	25	30 (5)
Edificios administrativos y sociales, laboratorios, talleres, almacenes y otros edificios independientes.	60	40
Vallado de la planta	30	30
Límites de propiedades exteriores en las que pueda edificarse y vías de comunicación pública	60	60
Locales y establecimientos exteriores de pública concurrencia	100	100
(1)	Entre recipientes y bombas, mínimo, cinco metros.	
(2)	Mínimo 15 metros.	

**Tabla 5.5. Distancias mínimas entre recipientes según ITC MIE-APQ-1.**

**Distancia entre paredes de recipientes**

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, C ó D.	D (mínimo: 15 metros).	Nota 2.
A/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, C ó D.	D (mínimo: 15 metros).	Nota 2.
B	A recipientes para productos de las clases B, C ó D.	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 las clases C ó D.	0,3 D (mínimo: 1,5 metros). El valor puede reducirse a 17 metros si es superior.	Nota 5.
D	A recipientes para productos de clase D.	0,25 D (mínimo: 1,5 metros).	Notas 3, 4 y 5.
Líquidos inestables	A recipientes para productos de cualquier clase.	D (mínimos: Los indicados arriba según su clasificación A1, A2, B, C ó D).	-
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 II-5, de lugar a la distancia mayor.		
Nota 2.	Cuando la capacidad total de almacenamiento sea inferior a 100 m <sup>3</sup> 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 ó C, dentro de un mismo cubeto, la distancia mínima será de 0,3 D (mínimo: 1,5		

**Tabla 5.6. Distancias mínimas según ITC MIE-APQ-1.**

1	(1)									
2	(3) 20	(2)								
3.1	60	(4) 30	(6)							
3.2	30	(4) 15	(6)	(6)						
3.3	30	(4) 15	(6)	(6)	(6)					
4.1	60	(5) 30	(7) 30	(7) 30	(7) 30	(2)				
4.2	30	(5) 20	(7) 30	(7) 20	(7) 15	(11) 30	(2)			
4.3	20	(5) 15	(7) 25	(7) 20	(7) 15	(2)	(2)	(2)		
5	30	(5) 15	30	20	15	30	20	15	(1)	
6	(1)	30	60	30	20	60	20	15	30	(1)
7	(1)	20	60	30	20	40	20	15	20	(8)
8	(1)	20	60	30	25	30	30	25	20	20
9	(1)	15	30	20	15	30	20	15	(9) 20	(8)
10	(1)	20	60	30	25	60	(10) 40	(10) 20	20	(8)
11	(1)	30	100	60	40	100	60	30	40	(8)
	1	2	3.1	3.2	3.3	4.1	4.2	4.3	5	6

**Leyenda:**

1. Unidades de proceso.
2. Estaciones de bombeo y compresores.
- 3.1 Recipientes de almacenamiento. Clase A (Paredes del tanque).
- 3.2 Recipientes de almacenamiento. Clase B (Paredes del tanque).
- 3.3 Recipientes de almacenamiento. Clase C (Paredes del tanque).
- 4.1 Cargaderos. Clase A.
- 4.2 Cargaderos. Clase B.
- 4.3 Cargaderos. Clases C.
5. Balsas separadoras.
6. Zonas de fuego abierto.
7. Edificios administrativos y sociales, laboratorios, talleres, almacenes y otros edificios independientes.
8. Estaciones de bombeo de agua contra incendios.
9. Vallado de la planta.
10. Límites de propiedades exteriores en las que pueda edificarse y vías de comunicación públicas.
11. Locales y establecimientos exteriores de pública concurrencia.

## 5.6 Zonas de carga, descarga y transporte de materias

La carga y descarga de los compuestos líquidos que se tengan es muy importante, ya que se tiene que procurar que no haya ningún tipo de vertido o fuga. Por ello es importante que, en las zonas de carga y descarga, principalmente para los compuestos inflamables y combustibles, estén controlados por las APQ.

Esta normativa dice que las plataformas de estacionamientos de carga y descarga deberán tener una pendiente de un 1% hacia los llamados sumideros, que al producirse cualquier tipo de derrame este se vaya directamente hacia ellos. Estos sumideros estarán conectados a la red de aguas contaminadas, recipiente o balsa de recogida, donde la capacidad debe ser del volumen de dicho derrame.

La entrada de líquidos al colector de aguas contaminadas se realizará por una arqueta y a través de un cierre sinfónico, de modo que no escapen gases del colector general por dicho injerto. La pendiente y configuración de la plataforma, si hubiera un sistema de agua pulverizada, pasando a una conducción con diámetro y pendiente adecuados para dicho caudal.

Para los compuestos gaseosos que se utilizan en la planta ETHOXID, se prohíbe la utilización de elevadores magnéticos o el uso de cuerdas, cadenas o eslingas, siempre y cuando estas últimas no estén sujetas a un elemento elevador, aunque puede usarse sistemas de manipulación o transporte si se utiliza la plataforma o algún sistema siempre y cuando este tenga sujeciones para los recipientes. Además de que los recipientes de almacenaje de estos compuestos llenos no se pueden almacenar juntamente con los recipientes vacíos.

Para los demás compuestos que se tienen como materias primeras (estos incluyen inflamables y corrosivos, principalmente) se consideran instalaciones de carga y descarga, aquellos lugares en los que se efectúa las siguientes operaciones, que son:

- Traslado entre equipos de transporte y los almacenamientos o viceversa.
- Traslado entre equipos de transporte y las instalaciones de proceso o viceversa.
- Traslado entre almacenamientos o instalaciones de proceso a recipientes móviles o viceversa.

En las instalaciones de carga y descarga de las sustancias peligrosas que hay en planta deben tener, lugares donde se haga el trasvase de dichas sustancias, y que, por lo tanto, prevengan derrames de todo tipo, estos lugares se llaman cargaderos.

### Los cargaderos:

Las instalaciones de cargaderos terrestres de camiones o vagones cisterna deberán adaptar su diseño y criterios de operación a los requisitos de la reglamentación sobre transporte, carga y descarga de mercancías peligrosas:

a) Un cargadero puede tener varios puestos de carga o descarga de camiones cisterna o contenedores. Su disposición será tal que cualquier derrame accidental fluya rápidamente, mediante la adecuada pendiente, se conectará con la red de aguas contaminadas, un recipiente, un canal o sumidero de recogida, de modo que no pueda llegar a una vía o cauce públicos, sin que afecte a otros puestos de carga ni otras instalaciones.

Se procurará evitar derrames de producto sobre el suelo en las conexiones y desconexiones, empleando los medios de recogida que se consideren apropiados y puedan alcanzar las redes públicas de alcantarillado.

b) Los cargaderos de camiones se situarán de forma que los camiones que a ellos se dirijan o de ellos procedan puedan hacerlo por caminos de libre circulación. Los camiones cisterna se dispondrán en el cargadero de forma que puedan efectuar su salida sin necesidad de maniobra, es decir, los transportes estacionados a la espera deberán situarse de modo que no obstaculicen la salida de los que estén cargando o descargando. Los accesos serán amplios y bien señalizados. A demás, si la sustancia es inflamable se tiene que procurar que la carga y descarga de los camiones cisterna deberán realizarse con el motor parado, para evitar que se inflame y produzcan incendios en esa zona.

c) El pavimento de las zonas de estacionamiento para operación de carga y descarga de camiones y de vagones cisterna deberá ser impermeable y resistente a las sustancias trasvasadas.

d) Se dispondrá de toma de tierra, si hay otros productos inflamables en proceso de carga y descarga, para evacuar la carga electrostática.

e) Antes de iniciar la operación de carga o descarga, el personal de la instalación efectuará una comprobación visual del estado de las mangueras/brazos y conexiones de carga y descarga.

f) Anualmente se comprobará la estanquidad de las mangueras sometiéndolas a las pruebas establecidas en las normas aplicables o las recomendaciones del fabricante.

La señalización estándar para el transporte de sustancias está sujeta a la normativa ADR (*Acuerdo Europeo sobre el Transporte Internacional de Mercancías Peligrosas por Carretera*), consiste en un panel naranja y rectangular, este panel está dividido en dos mitades, una inferior y otra superior.



**Figura 5.11.** Panel de identificación para el transporte de sustancias.

En la parte superior, habrá un número compuesto por dos o tres cifras en color negro. Cada cifra indica una información sobre el producto que se transporta, la primera cifra indicará el peligro principal de la sustancia y los dos siguientes indicarán peligros secundarios.

En la parte inferior, habrá un número de identificación de la sustancia en color negro (ONU). Consiste en un número de cuatro cifras que identifica las sustancias peligrosas en el marco del transporte internacional.

**Tabla 5.4.** Significado de las cifras de la parte superior de los paneles de identificación.

Cifra	Significado primera cifra	Significado segunda y tercera cifra
0	-	Sin significado
1	-	Explosión
2	Gas: Fuga o escape por presión y/o reacciones químicas no deseadas	Emanación de gases
3	Líquido inflamable o gases y vapores combustibles	Inflamable
4	Sólido: Inflamabilidad de materia sólida	-
5	Materia comburente o peróxido orgánico	Propiedades comburentes
6	Materia tóxica	Toxicidad
7	Radioactividad	-
8	Corrosivos	Corrosividad
9	Peligro de reacción espontánea	Peligro de reacción violenta, resultado de la descomposición espontánea o de polimerización

En el caso del transporte del óxido de etileno el número de la parte superior será 236 y el número de identificación ONU 1040 referido a óxido de etileno u óxido de etileno con nitrógeno. En el caso del nitrógeno serán 22 y 1977, respectivamente como los anteriores.

## 5.7 Señalización en planta

El *Real Decreto 485/1997* del 14 de abril establece las disposiciones mínimas para la señalización de seguridad y salud en el trabajo.

Este decreto establece la descripción física, tanto en color como en forma, de las señales necesarias para informar de forma clara y lo menos ambigua posible.

### 5.7.1 Colores de seguridad

En la señalización de medidas de seguridad en plantas, cada color que forma cada una de ellas tiene un significado en específico.

A continuación, se muestran los colores de seguridad, su significado y otras indicaciones sobre su uso:

**Tabla 5.5.** Colores de seguridad.

Color	Significado	Indicaciones y precisiones
Rojo	Señal de prohibición	Comportamientos peligrosos
	Peligro-alarma	Alto, parada, dispositivos de desconexión de emergencia. Evacuación.
Amarillo o amarillo naranja	Material y equipos de lucha contra incendios	Identificación y localización
	Señal de advertencia	Atención, precaución. Verificación.
Azul	Señal de obligación	Comportamiento o acción específica. Obligación de utilizar un equipo de protección individual.
Verde	Señal de salvamento o de auxilio	Puertas, salidas, pasajes, material, puestos de salvamento o de socorro, locales.
	Situación de seguridad	Vuelta a la normalidad.

Siempre se debe aplicar un color de fondo que contraste y enmarque el color de seguridad, para que así no se pueda dificultar la visibilidad del segundo.

**Tabla 5.6.** Colores de contraste.

Color de seguridad	Color de contraste
Rojo	Blanco
Amarillo o amarillo anaranjado	Negro
Azul	Blanco
Verde	Blanco

### 5.7.2 Señales en forma de panel

Para las señales en forma de panel, los pictogramas serán lo más sencillos posible y de un material resistente a los golpes, el tiempo y las agresiones medioambientales.

Las señales se instalarán a una altura y posición apropiadas en relación con el ángulo visual y el lugar deberá estar bien iluminado, ser accesible y fácilmente visible.

Tipos de señales en forma de panel:

Señales de advertencia: Forma triángula, pictograma negro sobre fondo amarillo y bordes negros.



Figura 5.12. Señales de advertencia.

Señales de prohibición: forma redonda, pictograma negro sobre fondo blanco, bordes y bandas rojos.



Figura 5.13. Señales de prohibición.

Señales de obligación: Forma redonda. Pictograma blanco sobre fondo azul.



Figura 5.14. Señales de obligación.

Señales relativas a los equipos de lucha contra incendios: Forma rectangular cuadrada. Pictograma blanco sobre fondo rojo.



Figura 5.15. Señales de contra lucha de incendios.



- El tono de la señal, la duración, el intervalo y la agrupación de los impulsos permitirá su correcta identificación.
- No deberán utilizarse dos señales acústicas simultáneamente.
- El sonido de una señal de evacuación deberá ser constante.

### 5.7.3 Señales gestuales

Características de las señales gestuales:

- Deberá ser precisa, simple, amplia, fácil de realizar, comprensible y claramente distinguible de cualquier otra. Se utilizarán los dos brazos al mismo tiempo de forma simétrica y para una sola señal gestual.
- La persona que emite la señal (encargado de señal) dará las instrucciones al destinatario (operador).
- El encargado de las señales deberá dedicarse exclusivamente a dirigir maniobras y a la seguridad de los trabajadores.
- El operador deberá suspender la maniobra que está realizando para solicitar nuevas instrucciones cuando no pueda ejecutar las órdenes recibidas con seguridad.

Accesorios de las señales gestuales:

- El encargado deberá ser fácilmente reconocido por el operador.
- El encargado llevará uno o varios elementos de identificación (chaquetas, manguitos, brazal o casco), y cuando sea necesario, llevará raquetas.
- Los elementos de identificación serán de colores vivos, y si es posible, igual para todos los elementos.

Gestos generales:

Significado	Descripción	Ilustración
Comienzo: Atención. Toma de mando.	Los dos brazos extendidos de forma horizontal, las palmas de las manos hacia adelante.	
Alto: Interrupción. Fin del movimiento.	El brazo derecho extendido hacia arriba, la palma de la mano hacia adelante.	
Fin de las operaciones.	Las dos manos juntas a la altura del pecho.	

Figura 5.17. Gestos generales.

Movimientos verticales:

Significado	Descripción	Ilustración
Izar.	Brazo derecho extendido hacia arriba, la palma de la mano derecha hacia adelante, describiendo lentamente un círculo.	
Bajar.	Brazo derecho extendido hacia abajo, palma de la mano derecha hacia el interior, describiendo lentamente un círculo.	
Distancia vertical.	Las manos indican la distancia.	

Figura 5.18. Gestos verticales.

Movimientos horizontales:

Significado	Descripción	Ilustración
Hacia la derecha: Con respecto al encargado de las señales.	El brazo derecho extendido más o menos en horizontal, la palma de la mano derecha hacia abajo, hace pequeños movimientos lentos indicando la dirección.	
Hacia la izquierda: Con respecto al encargado de las señales.	El brazo izquierdo extendido más o menos en horizontal, la palma de la mano izquierda hacia abajo, hace pequeños movimientos lentos indicando la dirección.	
Distancia horizontal.	Las manos indican la distancia.	

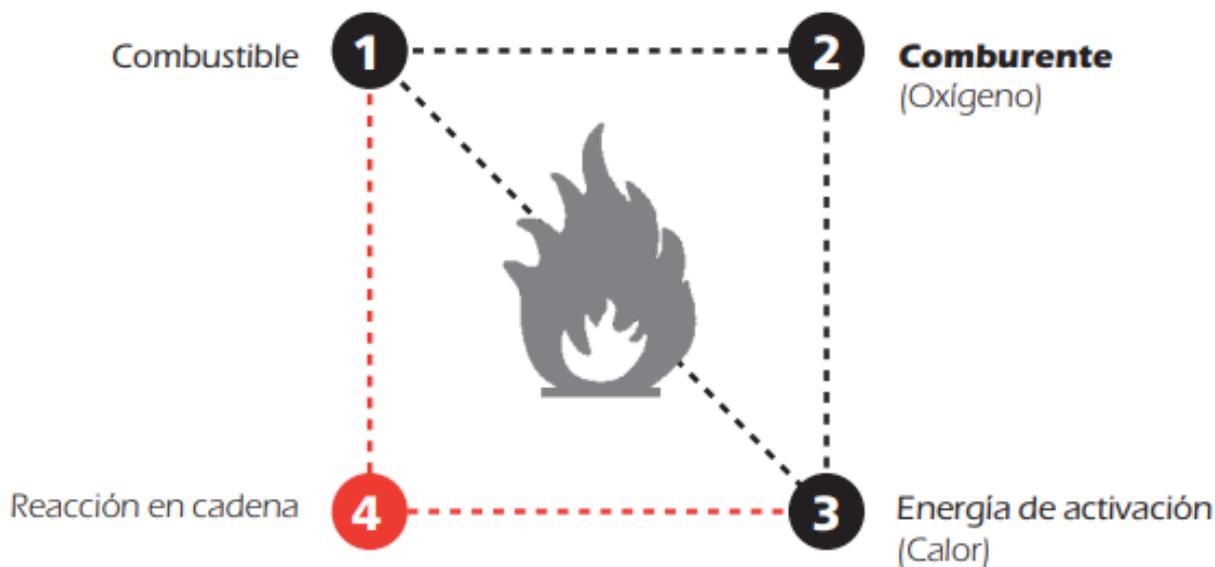
**Figura 5.19.** Gestos horizontales.

Movimientos de peligro:

Significado	Descripción	Ilustración
Peligro: Alto o parada de emergencia.	Los dos brazos extendidos hacia arriba, las palmas de las manos hacia adelante.	
Rápido.	Los gestos codificados referidos a los movimientos se hacen con rapidez.	
Lento.	Los gestos codificados referidos a los movimientos se hacen muy lentamente.	

**Figura 5.20.** Gestos de peligro.

## 5.8 Protección contra incendios



**Figura 5.21.** Triángulo del fuego.

Para que se produzca el fuego son necesarios a los siguientes elementos: combustible, comburente (oxígeno) y energía de activación (calor). Al fuego descontrolado se le denomina incendio.

Estos tres elementos forman el triángulo del fuego, de tal forma que cada uno de sus lados está siempre en contacto con los otros dos. La eliminación de cualquiera de sus lados o del contacto entre cualquiera de los vértices impide la producción del fuego. Ahora bien, una vez producido el fuego, hay un cuarto elemento a tener en cuenta: la reacción de los gases de la combustión entre sí con el propio oxígeno del aire (reacción en cadena).

De esta forma, como resultado de la misma combustión, el triángulo del fuego se transforma en un tetraedro del fuego, que permite su propagación. Si falta alguna de las cuatro caras, la combustión no tiene lugar o se extingue rápidamente.

### 5.8.1 Clasificación de fuegos

La norma UNE 23-010-76 establece las clases de fuego normalizadas. A continuación, se muestran las diferentes clases de fuego según su origen:

**Tabla 5.7.** Clases de fuego.

<b>Clase A</b>	Provocados por materiales orgánicos sólidos. (ejemplos: papel, cartón, carbón, textiles)
<b>Clase B</b>	Alimentados por líquidos inflamables y materiales que arden fácilmente. (ejemplos: gasolina, Diesel, alcohol, parafinas, grasas)
<b>Clase C</b>	Alimentados por equipos eléctricos energizados. (ejemplos: computadoras, servidores, maquinaria industrial)
<b>Clase D</b>	Alimentados por ciertos metales. (ejemplos: sodio, potasio, polvo de aluminio, metales alcalinos y alcalinotérreos)
<b>Clase K</b>	Provocados por aceite de cocina. (ejemplos: aceite vegetal, animal, grasa)

En la planta ETHOXID, en función de las sustancias presentes en ella, se podrá tener incendios de clase A, B Y C.

A continuación, se muestran las sustancias que intervienen en el proceso y el tipo de fuego que pueden provocar:

**Tabla 5.8.** Tipos de fuego que pueden provocar las sustancias del proceso.

<b>Clase A</b>	El material de oficina, cajas de cartón, pales...
<b>Clase B</b>	Etileno, óxido de etileno
<b>Clase C</b>	Toda la maquinaria industrial.

### 5.8.2 Prevención del fuego

Con el fin de prevenir el fuego se puede actuar sobre los elementos que provocan su formación.

Sobre el combustible:

- Diluirlo con aditivos para aumentar el punto de inflamación.
- Sustituirlo por otro que tenga un punto de inflamación mayor.
- Ventilar para que no haya acumulación de vapores.
- Intentar ignifugar el combustible.

Sobre el comburente:

- Poner nitrógeno o dióxido de carbono para desplazar el comburente.
- Disminuir la cantidad de oxígeno.
- Trabajar en atmosfera inerte.
- Utilizar recipientes estancados, reduciendo la proporción de comburente.

Sobre la energía de activación:

- Evitar que haya focos de ignición.
- Adecuar las instalaciones eléctricas a la normativa vigente.
- Prohibir fumar y cualquier otro uso de medios de ignición.
- Uso de herramientas antichispas.
- Separar y almacenar adecuadamente las sustancias reactivas.

### 5.8.3 Métodos de extinción de incendios

Existen diversos métodos para extinguir un fuego:

- Eliminación: Se puede realizar de forma directa retirando el combustible de la llama o indirectamente dificultando la propagación del fuego mediante refrigeración o elementos incombustibles.
- Sofocación: Se basa en la ruptura del contacto entre el combustible y el aire a su alrededor mediante un material ignífugo (manta ignífuga, arena, espuma, polvo...). También se puede impedir la ventilación de la zona (el combustible no tiene el comburente oxígeno) oxígeno mediante un gas inerte como Nitrógeno o CO<sub>2</sub>.
- Enfriamiento: El enfriamiento de la energía desprendida en la combustión se produce añadiéndole al fuego sustancias que absorben la energía (agua pulverizada).
- Inhibición: Se puede añadir un producto químico que combine con los radicales libres producidos por la descomposición térmica del combustible, impidiendo así la reacción con el oxígeno.

#### 5.8.4 Agentes extintores

La elección de un agente extintor dependerá de:

- La clase de fuego (A, B, C, D o K)
  - Magnitud del riesgo.
  - La velocidad con que actuará.
  - El daño que pueda causar el agente extintor en las instalaciones.
  - El coste del equipo.
- Agua: El agua es el agente extintor más utilizado. No es tóxico y se puede almacenar a presión y temperaturas normales (aparte de ser económica). El agua puede ser empleada en forma de chorro o pulverizada. Sus propiedades extintoras son:
- Enfriamiento: Su alto calor específico y de vaporización le confiere la propiedad de absorber una gran cantidad de calor.
  - Sofocación: Desplazamiento del oxígeno al vaporizarse.
  - Emulsionamiento: Al aplicar agua vaporizada a algunos líquidos inflamables de alta viscosidad se impide o atrasa la emisión de vapores inflamables. Se dispersan los dos a causa de la inmiscibilidad.
  - Dilución: Se utiliza agua para diluir en aquellos casos en los que tenemos productos inflamables hidrosolubles.
- Polvo anhídrido (CO<sub>2</sub>): Este agente extintor utiliza CO<sub>2</sub> enfriado por descompresión brusca y actúa sofocando el fuego. Utilizado en caso de incendio en los aparatos electrónicos. Éstos se podrían estropear irreparablemente si se utilizara agua para extinguir.
- Polvo convencional: Es un compuesto químico a base de bicarbonato de sosa y es hidrófugo. Éste actúa por sofocación y paralización de la reacción en cadena. Es uno de los agentes extintores más rápidos y eficaces. Su inconveniente es que no enfría.
- Polvo polivalente: Este tipo de polvo es el mismo que el convencional, pero en este caso, sí que refresca el combustible.
- Polvo especial: Extintores adecuados para incendios producidos por metales.
- Espuma química o física: Agente extintor que actúa por sofocación y/o enfriamiento, separando el combustible del oxígeno del aire, evitando la reignición por un periodo de tiempo largo.
- Sustitutos de halones: Agentes extintores que paralizan la reacción en cadena, muy eficaces contra fuegos eléctricos.

A continuación, se muestran los agentes extintores más adecuados para las distintas clases de fuegos, según el *Reglamento de instalaciones de protección contra incendios (R.D. 1942/1993)*:

**Tabla 5.9.** Agentes extintores para diferentes clases de fuego.

AGENTE EXTINTOR	CLASES DE FUEGOS			
	A	B	C	D
Agua pulverizada	Muy adecuado	Aceptable		
Agua a chorro	Adecuado			
Espuma física	Adecuado	Adecuado		
Polvo convencional		Muy adecuado	Adecuado	
Polvo polivalente	Adecuado	Adecuado	Adecuado	
Polvo especial				Aceptable
Anhídrido	Aceptable	Adecuado		
carbónico				
Hidrocarburos halogenados	Aceptable	Adecuado	Aceptable	

### 5.8.5 Protección activa contra incendios

Se entiende por protección activa contra incendios el conjunto de medios, equipos y sistemas instalados para alertar sobre la formación de un incendio, e impedir que este se extienda, con el fin de evitar causar daños.

Dentro de los equipos de protección activa se encuentran los siguientes:

- Sistemas de detección y alarmas de incendios:
  - Centrales
  - Detectores iónicos, ópticos de humo, de temperatura, ópticos de llama y especiales para gases.
  - Pulsadores
  - Alarmas con sirenas

- Sistemas de extinción de incendios:

o Extintores portátiles:

Aparatos, portátiles o sobre ruedas, en cuyo interior está el agente extintor. Tienen peso y dimensiones apropiados para su uso y transporte, el peso máximo de un extintor portátil no excederá de 20 Kg.

La vida útil de un extintor no debe sobrepasar los 20 años a partir de la fecha de la primera prueba de presión. Deben ser revisados cada tres meses, y someterse además a mantenimiento anual y retimbrado cada cinco años.

Se situarán en la proximidad de puestos de trabajo con mayor riesgo de incendio, colocados en lugares visibles en las vías de tránsito en sentido de salida y si puede que la parte superior del extintor esté a 1,70 metros del suelo; como orientación general, la distancia entre extintores no debe superar los 15 metros.

o Bocas de incendio equipadas (BIE):

Son tomas de agua provistas de una serie de elementos que permiten lanzar el agua desde un punto hasta el lugar del incendio. es imprescindible la existencia de conducciones de agua a presión. Si se careciera de ella, se instalarán depósitos con agua suficiente para combatir los incendios.

Las BIE deben estar cercanas a los lugares de trabajo y en los lugares de paso del personal, acompañadas de las mangueras correspondientes, que tendrán la resistencia y sección adecuadas.

Alrededor de la BIE, la zona estará libre de obstáculos para permitir el acceso y la maniobra sin dificultad. En función de su tamaño, se clasifican en bocas de incendio de 25 mm y bocas de 45mm.

La BIE deberá montarse sobre un soporte rígido a una altura de aproximadamente 1,5 metros sobre el suelo. El número y distribución de las BIE será tal que la totalidad de la superficie esté cubierta, y que entre dos BIE no haya una distancia superior a 50 metros.

o Rociadores de agua:

Engloban la detección, la alarma y la extinción. La instalación se conecta a una fuente de alimentación de agua y consta de válvula de control general, canalizaciones ramificadas y jefes rociadores o splinkers. Los splinkers se mantienen cerrados, abriéndose automáticamente al llegar a una temperatura determinada, haciendo caer agua en forma de ducha. Cada splinker cubre un área entre 9 y 16 metros cuadrados.

- Columna seca:

Conducción ascendente para el agua en la fachada de un edificio. Tiene tomas de agua en la fachada o en una zona fácilmente accesible al servicio de los bomberos, con la indicación de uso exclusivo de los bomberos. Está formada por una tubería ascendente de 80 mm de diámetro en acero galvanizado.

- Hidratantes exteriores:

Tomas de agua conectadas a la red de alimentación de agua presentan uno o varios empalmes normalizados para mangueras, además de la correspondiente válvula de paso. Normalmente situadas al mismo nivel junto a la acera, las conexiones son exclusivas para mangueras de bomberos. El agua sale a alta presión para poder ser bombeada por grandes mangas.

Cada equipo y sistema de protección contra incendios tiene unas características y unas instalaciones diferentes, por lo que se ha seguido la legislación consolidada *de BOE-A-2017-6606* para establecer las medidas para la correcta instalación.

Como sistema de detección y de alarma de incendios se ha instalado un pulsador de alarma, es decir un dispositivo para la activación manual de alarma de incendio. Este se debe situar de manera que la distancia máxima a recorrer desde el punto de origen de evacuación hasta el pulsador no supere los 25 m, por lo que en la planta ETHOXID se instalan 24 pulsadores repartidos entre todas las áreas

Los hidrantes tienen que estar a una distancia de recorrido real de 40 m, al menos uno debe estar en la entrada del edificio, cuando se encuentren en una vía no pública tienen que estar a una distancia entre 5 y 15 m del límite exterior del edificio o zona protegida y deben estar situados en lugares fácilmente accesibles y fuera de espacios destinados a la circulación y estacionamiento de vehículos.

Siguiendo las condiciones, en la planta ETHOXID hay 13 hidrantes a los cuales se puede acceder desde cualquier parte de la planta sin tener que recorrer 40 m y están en zonas de fácil acceso. Como no se ha instalado ningún hidrante en una vía no pública no se ha tenido que seguir la indicación de la distancia al límite exterior del edificio.

Los extintores deben estar en una zona con facilidad para acceder y con una buena visibilidad, deben estar cerca de los puntos donde mayor probabilidad haya de iniciarse un incendio y la distancia máxima a recorrer entre el punto de origen de evacuación y el extintor es de 15 m. Teniendo en cuenta estos datos, en la planta ETHOXID se instalan 31 extintores a distancias menores de 15 metros a las instalaciones con posibilidad de originar un incendio.

---

La boca de incendio equipada (BIE) debe estar a una distancia máxima de las salidas del sector de incendio de 5 m, no deben constituir un obstáculo para su utilización y deben tener una distancia entre ellas menor a 50 m.

En la planta ETHOXID se instalan 10 bocas de incendio equipadas a menos de 50 m cada una, instalándolas a menos de 5 m de las zonas con posibilidad de tener incendios (que se han considerado todas las áreas) y teniendo en cuenta que, como las mangueras tienen distancias entre 20 y 30 m de largura, se pueda abastecer a toda la planta.

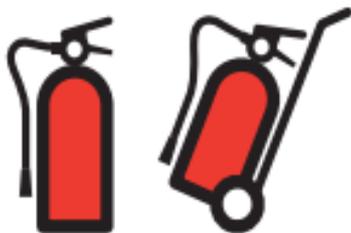
Los rociadores deben tener una distancia máxima entre ellos de 4 m. En la planta ETHOXID se han instalado rociadores a lo largo de la línea de incendios, cada 4 metros, en las áreas que tienen equipos de proceso, en el tratamiento de gases y en los tanques de almacenamiento. En total hay instalados a lo largo de la línea de incendios 170 rociadores.

Las alarmas, tanto a nivel sonoro como óptico, deben estar colocadas de manera que sean percibidas en el ámbito de casa sector de detección de incendio donde estén instalados. Por lo tanto, en la planta ETHOXID se instalan 12 alarmas para garantizar que todos los que estén en cualquier parte de la planta puedan escucharlas.

Todos los sistemas de protección activa contra incendios que hay situados en la planta de ETHOXID, se pueden ver en el diagrama de elementos de seguridad, en el *“Capítulo 10. Diagramas y planos”*.

**Dispositivos contra incendios**

**Extintores**



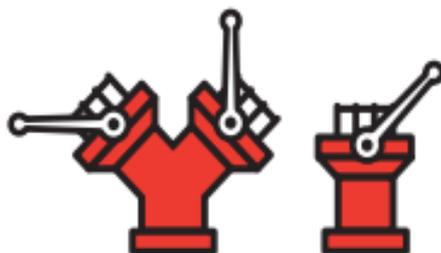
**Boca de incendios equipada (BIE)**



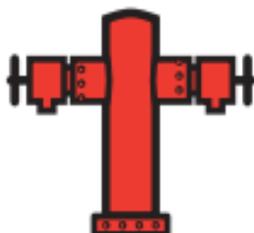
**Rociadores de agua (sprinklers)**



**Columna seca**



**Hidrantes:**



- **Tipo 80 mm**  
1 salida de 70 mm  
2 salida de 45 mm  
Caudal 500 litros/minuto-2h
- **Tipo 100 mm**  
1 salida de 100 mm  
2 salida de 70 mm  
Caudal 1.000 litros/minuto 2h

Figura 5.22. Dispositivos contra incendios.

### 5.8.6 Balsa contra incendios

El agua que se suministra a bocas de incendio equipadas, rociadores de agua e hidrantes exteriores en caso de incendio en planta, se almacena en la balsa contra incendios situada en el área A-1500.

La capacidad de la balsa viene dada por la necesidad de agua de los equipos de protección activa contraincendios para tener 1 hora de autonomía para BIEs e hidrantes, y 1,5 horas de autonomía para rociadores.

**Tabla 5.9.** Elementos de protección activa contraincendios situados en la planta ETHOXID.

Elemento de protección activa contraincendios	Unidades
Hidrantes	13
Bocas de incendio equipadas	10
Rociadores	170

Seguidamente se procede al cálculo del volumen de la balsa contraincendios, a partir de los caudales necesarios en cada elemento de protección activa contraincendios detallados en el *Real Decreto 2267/2004*.

**Tabla 5.10.** Elementos de protección activa contraincendios utilizados para el cálculo del volumen de la balsa.

Elemento activo de protección contra incendios	Caudal unitario (L/min)	Volumen total (L)
Hidrantes	2000	1560000
Bocas de incendio equipadas	198	118800

Si multiplicamos el número de unidades de BIEs e hidrantes por su caudal unitario y su tiempo de autonomía (1 h) de obtiene el volumen total necesario de agua para cada elemento.

Para el cálculo del volumen total de agua necesario para los rociadores se multiplica la densidad de aplicación de estos, por la superficie total donde se aplica y por el tiempo de autonomía.

-Densidad de aplicación de rociadores: 15 L/(min·m<sup>2</sup>)

-Superficie total de aplicación de rociadores: 4620 m<sup>2</sup>

-Autonomía 1,5 h

$$V_{\text{ROCIADORES}}=6237000 \text{ L}$$

Finalmente, si sumamos los tres volúmenes de agua totales calculados anteriormente, se obtiene el volumen total de agua que debe almacenar la balsa contraincendios.

$$V_{\text{ROCIADORES}}=6237000 \text{ L}$$

$$V_{\text{HIDRANTES}}=1560000 \text{ L}$$

$$V_{\text{BIÉS}}=118800 \text{ L}$$

$$\text{VOLUMEN TOTAL} = 7915800 \text{ L} = 8000000 \text{ L} = 8000 \text{ m}^3$$

Este volumen total se aproxima a 8000000L, y se convierte a m<sup>3</sup> para el cálculo de las dimensiones de la balsa contraincendios.

$$\text{Ecuación 5.1 } V = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot H \rightarrow D = \sqrt{\frac{4 \cdot V}{H \cdot \pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 8000}{11,3 \cdot \pi}} = 30,02 \text{ m}$$

Para la balsa sea escogido un depósito de tipo A, especificado en la UNE 23500:2018, que está formado de chapa de acero galvanizado, tendrá una altura de 11,3 m y un radio de 15,01 m.

El diseño del sistema de bombeo y las bombas que lo componen está detallado en el documento “Abastecimiento de agua contra incendios” documento del Colegio de Ingenieros Graduados e Ingenieros Técnicos Industriales de Barcelona. [8]

Este sistema de bombeo está compuesto por los siguientes elementos:

- **Bomba principal:**

Su función es suministrar el caudal de agua necesario a la presión suficiente que necesite la instalación, en cada uno de los puntos de suministro (mangueras, hidrantes, sprinklers (rociadores), etc.). Una vez que la bomba principal está en marcha, su parada debe realizarse anualmente, cuando ya no sea necesario el suministro de agua.

- **Bomba de reserva:**

Tendrá las mismas características y función que la bomba principal. La de reserva entrará en funcionamiento cuando, por cualquier motivo, la principal no haya funcionado. El sistema de accionamiento de la bomba de reserva será independiente del utilizado para la principal. Su parada también se realizará manualmente.

- **Bomba auxiliar (Jockey):**

Su función es mantener presurizada toda instalación o bien hacer frente a pequeñas demandas o posibles fugas que existieran. Su funcionamiento está controlado por un presostato que detecta las variaciones de presión en la instalación.

- **Cuadros eléctricos de control:**

Su función es el control, maniobra y protección de los distintos elementos que componen el grupo contra incendios. Dependiendo de las características del grupo el cuadro puede presentar diferentes componentes, pero básicamente se compone de una bornera de conexiones, fusibles de protección, contactores, protectores magnetotérmicos, transformador, batería, cargador de batería, sirena, etc.

### 5.8.7 Protección pasiva contra incendios

Se entiende por protección pasiva contra incendios el conjunto de medidas, elementos y características físicas que debe reunir el recinto a proteger, destinadas a evitar los daños causados por el fuego, impidiendo que este se extienda y ponga en peligro a las personas y bienes. Dentro de los equipos de protección pasiva contra incendios se encuentran los siguientes:

- Sistemas de protección pasiva:
  - Tratamiento ignífugo: Proceso que incorpora un elemento ignífugo a un material inflamable de forma permanente.
  - Pinturas intumescentes: Es un material que se dilata con el calor del fuego formando una barrera aislante que retrasa la propagación de las llamas.
  - Recubrimientos (proyectados y de placas): Recubrimientos que están formados por un material inerte al fuego y que aíslan el calor.
- Soluciones de protección pasiva, entre las diferentes soluciones se encuentran las siguientes:
  - Protección de estructuras metálicas.
  - Divisiones y compartimentaciones.
  - Conductos de ventilación.
  - Sellado de huecos.
  - Protección de bandejas de cables.
- Puertas y cortinas cortafuegos: Actúan de barrera impidiendo que el fuego avance.
- Señalización: Sistema para facilitar la evacuación indicando las salidas de emergencia, los riesgos específicos, los equipos de protección contra incendios (y otros) incluso cuando no haya luz. Esto se realiza mediante:

- Señalización de seguridad para extinción, evacuación, riesgos laborales.
- Balizamientos (suelos, paredes y escaleras).

## 5.9 Protección contra atmósferas explosivas

Se entiende por atmósfera explosiva (ATEX) toda mezcla, en condiciones atmosféricas, de aire junto con cualquier sustancia inflamable en forma de gas, líquido o polvo en la que, después de la ignición, la combustión se propaga por el resto de la mezcla que no ha quemado.

Se distinguen 2 tipos de ATEX:

- Atmósferas de gas/líquido explosivas: mezcla de una sustancia inflamable en estado líquido, gas o vapor con el aire, en la que, en caso de ignición, la combustión se propaga por el resto de la mezcla que no ha quemado.
- Atmósferas con polvo explosivo: mezcla de aire con sustancias inflamables en forma de polvo o fibras, en la que en caso de ignición, la combustión se propaga por el resto de la mezcla que no ha quemado.

No se incluyen dentro de la definición de ATEX el riesgo de explosiones de sustancias, tales como los explosivos, material pirotécnico y los peróxidos orgánicos o cuando mezclas explosivas están sometidas a condiciones no consideradas como atmosféricas normales, como es el caso de mezclas sometidas a altas presiones o temperaturas.

Para dar a lugar una atmósfera potencialmente explosiva se requiere la combinación de la mezcla de una sustancia inflamable o combustible con un oxidante a una concentración determinada, y una fuente de ignición. El riesgo es mayor cuando nos encontramos en un espacio confinado y con trabajos de manipulación de estas sustancias en varias industrias y procesos productivos.

### 5.9.1 Normativa sobre las ATEX

Las 3 normativas que regulan la prevención de riesgos en atmósferas explosivas son las siguientes:

- *Real Decreto 400/1996* relativo a los aparatos y sistemas de protección para uso en atmósferas potencialmente explosivas.
- *Real Decreto 681/2003* sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores expuestos a riesgos derivados de la presencia de atmósferas explosivas en los puestos de trabajo.
- *Ley 31/1995 de prevención de riesgos laborales* determina el cuerpo básico de garantías y responsabilidades para una adecuada protección de la salud de los

trabajadores en el puesto de trabajo, acordando el desarrollo de normas reglamentarias y la fijación de las medidas mínimas para la adecuada protección.

Se tendrá que evaluar los riesgos específicos derivados de las atmósferas explosivas, teniendo en cuenta al menos:

- La probabilidad de formación y duración de atmósferas explosivas.
- La probabilidad de la presencia y activación de foco de ignición, incluidas las descargas electrostáticas.
- Las instalaciones, las sustancias empleadas, los procesos industriales y las posibles interacciones.
- Las proporciones de los efectos previsibles.

#### 5.9.2 Clasificación de las áreas con atmósferas explosivas

Las zonas ATEX se clasifican de la siguiente forma:

**Zonas con presencia de gases o vapores inflamables:** Incluye aquellas zonas en las que hay o puede haber gas, vapor o niebla en cantidades suficientes para producir atmósferas explosivas, incluyendo la presencia de líquidos inflamables. Dentro de estas zonas se encuentran las siguientes categorías

**Zona 0:** Área con presencia permanente, prolongada en el tiempo o frecuente, de mezcla de aire y sustancias inflamables (gas, vapor o niebla).

**Zona 1:** Área donde es probable que se forme ocasionalmente mezcla de aire y sustancias inflamables (gas, vapor o niebla).

**Zona 2:** Área donde no es probable la formación de mezcla de aire y sustancias inflamables (gas, vapor o niebla) o, en caso de que se forme, está presente brevemente.

**Zonas con presencia de polvo combustible:** Incluye aquellas zonas en las que puede haber polvo inflamable. Dentro de estas zonas se encuentran las siguientes categorías:

**Zona 20:** Área con presencia permanente, prolongada en el tiempo o frecuente, de nube de pulso combustible en el aire.

**Zona 21:** Área donde es probable que se forme ocasionalmente una nube de pulso combustible en el aire.

**Zona 22:** Área donde no es probable la formación de una nube combustible en el aire o, en caso de que se forme, está presente brevemente.

### 5.9.3 Clasificación de las zonas ATEX en la planta ETHOXID

**Tabla 5.11.** Clasificación de las áreas de la planta ETHOXID según su zona ATEX.

ABREVIACIÓN DEL ÁREA	DESCRIPCIÓN	Zona ATEX
A-100	Descarga de reactivos, Acondicionamiento y almacenamiento de materia primas	1
A-200	Reacción	1
A-300	Separación de óxido de etileno (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O)	1
A-400	Purificación de óxido de etileno (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O)	1
A-500	Tratamiento de CO <sub>2</sub>	2
A-600	Almacenamiento y carga de producto de óxido de etileno (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O)	1
A-700	Sala de control	2
A-800	Taller de mantenimiento	2
A-900	EDAR	2
A-1000	Servicios de planta	2
A-1100	Oficinas y Laboratorios	2
A-1200	Zona social, Vestidores y Baños	2
A-1300	Estacionamiento de vehículos	2
A-1400	Control seguridad	2
A-1500	Balsa de agua para emergencias	2
A-1600	Tratamiento de gases	1

### 5.9.4 Protección de los reactores contra explosiones

Debido a los recientes acontecimientos ocurridos a principios del año 2020 en la planta de producción de óxido de etileno de IQOXE, se ha pensado en proteger los reactores de la planta de ETHOXID con búnkeres para disminuir al mínimo daños producidos en un posible caso de explosión del reactor. Cada reactor irá protegido con su propio búnker. A continuación, se expone una simulación de caso de explosión de un reactor con tal de calcular el incremento de presión causado por la explosión que tendrá que soportar el búnker:

#### **SIMULACIÓN EXPLOSIÓN DEL REACTOR DEL ÓXIDO DE ETILENO:**

Disponemos de un reactor cilíndrico de aproximadamente 60 m<sup>3</sup> de volumen, lleno en un 50% de óxido de etileno gas. Este sufre una BLEVE a causa de un incendio producido externamente. Inicialmente, el tanque cilíndrico se encuentra a 270°C o 543K y la presión de explosión llega a ser de unas 60 atm absolutas.

Con dichas suposiciones y con los siguientes datos, se estimará la radiación que podrían recibir los trabajadores de la planta situados a una distancia de hasta 200 m del incendio, el número, velocidad y distancia que recorrerían los fragmentos del reactor y, por último, la onda de choque o el sobre pico de presión que recibirían teniendo en cuenta que un 40% de la energía liberada va a parar a la onda de presión y el 60% a la cinética de los fragmentos.

**Datos:**

Densidad del óxido de etileno ( $\rho_{OE}$ ) = 882 kg/m<sup>3</sup>

Entalpía de combustión ( $H_c$ ) = 27.649 kJ/kg

Peso del tanque cilíndrico ( $M$ ) = 90.787 kg

Factor de radiación ( $F_{rad}$ ) = 0,4

Coefficiente de Drag ( $C_D$ ) = 0,47

Presión de vapor del agua ( $P_v$ ) = 802,36 Pa

1. Cálculo de la onda de choque o sobre pico de presión recibido a 200 m:

En primer lugar, se aplicará el método TNT para explosiones confinadas para el cálculo de la masa de TNT equivalente para recipientes:

$$\text{Ecuación 5.2 } W_{TNT} = \frac{0,0219 \cdot P_B \cdot V_{OE} \cdot \ln\left(\frac{P_B}{P_{atm}}\right)}{1000} = \frac{0,0219 \cdot 60 \text{ atm} \cdot 0,5 \cdot 60.000 \text{ L} \cdot \ln\left(\frac{60}{1}\right)}{1000} = 161,4 \text{ kg}$$

Dónde:

$P_B$  = presión de explosión (atm)

$V_{OE}$  = volumen ocupado por el óxido de etileno (L)

No obstante, de la masa total de TNT calculada, se dividirá una parte para la onda de presión (40%) otra parte para la cinética de los fragmentos del recipiente (60%):

$$\text{Ecuación 5.3 } W_{TNT \Delta P} = 0,4 \cdot W_{TNT} = 0,4 \cdot 161,4 \text{ kg} = 64,6 \text{ kg}$$

$$\text{Ecuación 5.4 } W_{TNT \text{ cinética}} = 0,6 \cdot W_{TNT} = 0,6 \cdot 161,4 \text{ kg} = 96,8 \text{ kg}$$

A continuación, se aplicará la ecuación de Prugh para el cálculo de la presión de superficie del recipiente:

$$\text{Ecuación 5.5 } P_B = P_S \cdot \left[ 1 - \frac{3,5 \cdot (\gamma - 1) \cdot (P_S - 1)}{\left[ \left( \frac{\gamma \cdot T}{PM} \right) \cdot (1 + 5,9 \cdot P_S) \right]^{0,5}} \right]^{\frac{-2 \cdot \gamma}{\gamma - 1}}$$

Dónde:

$P_S$  = presión superficial del recipiente (bar)

$P_B$  = presión de explosión del recipiente (bar)

$\gamma$  = cociente de las capacidades caloríficas del aire (1,4)

$PM$  = peso molecular del óxido de etileno (kg/kmol)

$T$  = temperatura absoluta (K)

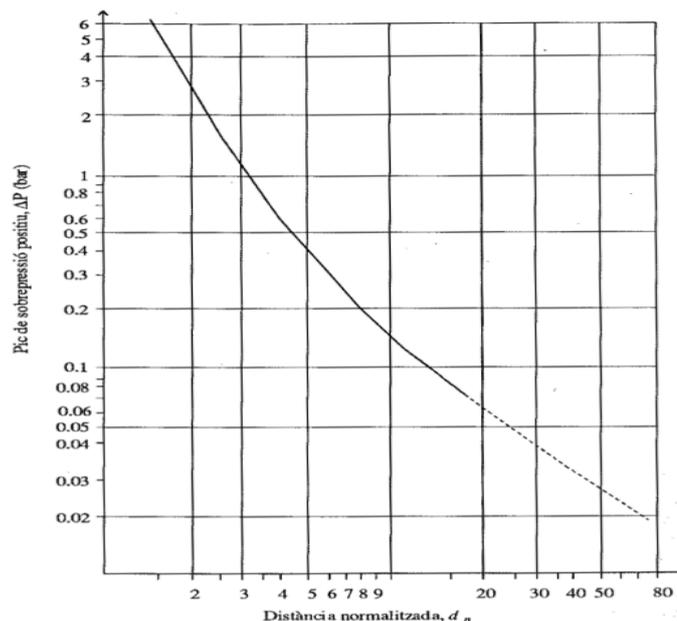
$$\text{Ecuación 5.6 } 60,8 = P_S \cdot \left[ 1 - \frac{3,5 \cdot (1,4 - 1) \cdot (P_S - 1)}{\left[ \left( \frac{1,4 \cdot 543K}{44} \right) \cdot (1 + 5,9 \cdot P_S) \right]^{0,5}} \right]^{\frac{-2 \cdot 1,4}{1,4 - 1}}$$

Resolviendo la ecuación anterior por un método iterativo, se ha obtenido un valor de la presión superficial del recipiente y un pico de sobrepresión:

$$P_S = 6,1 \text{ bar}$$

$$\text{Ecuación 5.7 } \Delta P = P_S - P_{atm} = 6,1 - 1,01 = 5,09 \text{ bar}$$

Una vez tenemos la  $\Delta P = 5,1 \text{ bar}$  mediante el gráfico encontrado en la **Figura 5.23**, que lo relaciona con la distancia normalizada se obtiene  $d_n = 1,0 \frac{m}{kg^{1/3}}$



**Figura 5.23.** Gráfico distancia normalizada vs incremento de presión.

Por tanto, la distancia a la que una  $W_{TNT}$  de 64,6 kg produce una sobrepresión de  $\Delta P = 5,1$  bares sería de:

$$\text{Ecuación 5.8 } d = d_n \cdot \sqrt[3]{W_{TNT}} = \frac{1,0 \text{ m}}{\text{kg}^{1/3}} \cdot \sqrt[3]{64,6 \text{ kg}} = 4,01 \text{ m}$$

No obstante, se debe tener en cuenta el recipiente, por lo que se calcula una nueva distancia, la distancia virtual:

$$\text{Ecuación 5.9 } d_v = d - r = 4,01 \text{ m} - 1,63 \text{ m} = 2,4 \text{ m}$$

Por tanto, la distancia por la que tenemos que calcular los efectos será la siguiente:

$$\text{Ecuación 5.10 } d' = d_v + 200 \text{ m} = 2,4 \text{ m} + 200 \text{ m} = 202,4 \text{ m}$$

Es decir, los efectos a 200 metros son los que tendríamos a 208,7 metros en una explosión sin confinamiento:

$$\text{Ecuación 5.11 } d'_n = \frac{d'}{\sqrt[3]{W_{TNT \Delta P}}} = \frac{202,4}{\sqrt[3]{64,6}} = 50,44 \frac{\text{m}}{\text{kg}^{1/3}}$$

Por último, mirando la figura anterior, se obtiene la onda de presión de  $\Delta P = 0,029$  bar a una distancia de 202,4 m.

## 2. Cálculo del número, velocidad y distancia recorrida por los fragmentos del recipiente:

A continuación, en segundo lugar, se procederá a calcular el número de fragmentos que se desprenderán del recipiente a raíz de la explosión y algunas de sus características principales:

$$\text{Ecuación 5.12 } N^{\circ} \text{ fragmentos} = 3,77 + 0,0096 \cdot (V) = 3,77 + 0,0096 \cdot (60 \text{ m}^3) = 4,35 \sim 5 \text{ fragmentos}$$

$$\text{Ecuación 5.13 } A_{\text{cilindro}} = (2 \cdot \pi \cdot r \cdot L) + (2 \cdot \pi \cdot r^2) = (2 \cdot \pi \cdot 1,63 \cdot 7,2) + (2 \cdot \pi \cdot 1,63^2) = 90,43 \text{ m}^2$$

$$\text{Ecuación 5.14 } A_{\text{frag}} = \frac{A_{\text{cilindro}}}{\text{fragmentos}} = \frac{90,43 \text{ m}^2}{5} = 18,1 \text{ m}^2$$

$$\text{Ecuación 5.15 } D_{\text{frag}} = \sqrt{\frac{A_{\text{frag}}}{\pi}} = \sqrt{\frac{18,1}{\pi}} = 2,4 \text{ m}$$

$$\text{Ecuación 5.16 } M_{\text{frag}} = \frac{\text{Peso recipiente}}{\text{fragmentos}} = \frac{90,787 \text{ kg}}{5} = 18,158 \text{ kg}$$

Dónde:

$A_{cilindro}$  = área del recipiente cilíndrico ( $m^2$ )

$A_{frag}$  = área de cada fragmento esférico ( $m^2$ )

$D_{frag}$  = diámetro de cada fragmento esférico ( $m^2$ )

$M_{frag}$  = peso de cada fragmento (kg)

Una vez calculado el número total de fragmentos esféricos, se procederá a calcular la velocidad inicial de estos en el momento de la explosión mediante la fórmula de Moore:

$$\text{Ecuación 5.17 } u = 2,05 \cdot \left( \frac{P_B \cdot D_{frag}^3}{M_{frag}} \right) = 2,05 \cdot \left( \frac{881,6 \text{ psig} \cdot 94,5 \text{ inches}^3}{39.948 \text{ lb}} \right) = 279,7 \text{ ft/s} = 85,3 \text{ m/s}$$

Dónde:

$u$  = velocidad inicial de los fragmentos (ft/s)

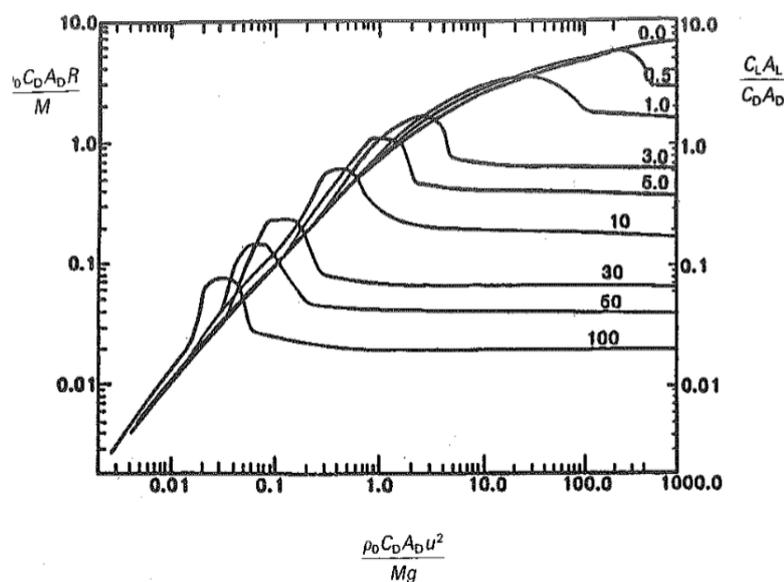
$P_B$  = presión de explosión (psig)

$D_{frag}$  = diámetro de fragmentos (inches)

$W_{frag}$  = peso de cada fragmento (lb)

Por tanto, se ha encontrado que la velocidad inicial en el momento de la explosión de los fragmentos sería de 85,3 m/s.

Por último, se procede al cálculo de la distancia que recorrerían dichos fragmentos mediante el gráfico encontrado en la **Figura 5.24**:



**Figura 5.24.** Gráfico para el cálculo del radio de los fragmentos.

Suponiendo que el factor  $\frac{C_L \cdot A_L}{C_D \cdot A_D}$  es igual a 0, se calcula el factor  $\frac{\rho_{aire} \cdot C_D \cdot A_D \cdot u^2}{M_{frag} \cdot g}$  para así mediante la figura anterior, estimar un valor del factor  $\frac{\rho_{aire} \cdot C_D \cdot A_D \cdot r}{M_{frag}}$  y poder encontrar la distancia que recorrerían los fragmentos (r):

$$\text{Ecuación 5.18 } \frac{\rho_{aire} \cdot C_D \cdot A_D \cdot u^2}{M_{frag} \cdot g} = \frac{1,293 \cdot 0,47 \cdot 18,1 \cdot 85,3^2}{18.158 \cdot 9,8} = 0,45$$

Dónde:

$$\rho_{aire} = \text{densidad del aire } \left( \frac{kg}{m^3} \right)$$

$$C_D = \text{coeficiente de Drag (0,47)}$$

$$A_D = \text{área de cada fragmento (m}^2\text{)}$$

$$M_{frag} = \text{peso de cada fragmento (kg)}$$

$$u = \text{velocidad inicial (m/s)}$$

Una vez se obtiene el factor  $\frac{\rho_{aire} \cdot C_D \cdot A_D \cdot u^2}{M_{frag} \cdot g} = 0,45$ , mediante la *Figura 5.24*. se obtiene

$\frac{\rho_{aire} \cdot C_D \cdot A_D \cdot r}{M_{frag}} = 0,38$  y, por tanto, la distancia final que recorrerían los fragmentos sería de:

$$r = 627,3 \text{ m}$$

### 3. Cálculo de la radiación térmica recibida a 200 m:

En primer lugar, se calculan el diámetro máximo de la bola de fuego, la altura de la bola de fuego y el tiempo de la bola de fuego:

$$\text{Ecuación 5.19 } D_{\text{máximo BLEVE}} = 6,48 \cdot (V_{OE} \cdot \rho_{OE})^{0,325} = 6,48 \cdot (0,5 \cdot 60 \text{ m}^3 \cdot 882 \frac{kg}{m^3})^{0,325} = 177,4 \text{ m}$$

$$\text{Ecuación 5.20 } H_{BLEVE} = 0,75 \cdot D_{\text{máximo BLEVE}} = 0,75 \cdot 177,4 \text{ m} = 133,1 \text{ m}$$

$$\text{Ecuación 5.21 } t_{BLEVE} = 0,825 \cdot (V_{OE} \cdot \rho_{OE})^{0,26} = 0,825 \cdot (0,5 \cdot 60 \text{ m}^3 \cdot 882 \frac{kg}{m^3})^{0,26} = 11,7 \text{ s}$$

En segundo lugar, se procede al cálculo del calor emitido:

$$\text{Ecuación 5.22 } E = \frac{F_{rad} \cdot V_{OE} \cdot \rho_{OE} \cdot H_C}{\pi \cdot D_{\text{máximo BLEVE}}^2 \cdot t_{BLEVE}} = \frac{0,4 \cdot 0,5 \cdot 60 \cdot 882 \cdot 27.649}{\pi \cdot 177,4^2 \cdot 11,7} = 252,98 \frac{kW}{m^2}$$

Dónde:

$$F_{rad} = \text{factor de radiación (0,4)}$$

$$H_C = \text{entalpía de combustión } \left( \frac{kJ}{kg} \right)$$

A continuación, se procede al cálculo del factor de vista:

$$\text{Ecuación 5.23 } F_{21} = \frac{D_{\text{máximo BLEVE}}^2}{4 \cdot X^2} = \frac{177,4^2}{4 \cdot 240,2^2} = 0,14$$

Dónde:

$$\text{Ecuación 5.23A } X = \sqrt{H_{\text{BLEVE}}^2 + D^2} = \sqrt{133,1^2 + 200^2} = 240,2 \text{ m}$$

Por último, se calculará la transmisividad atmosférica:

$$\text{Ecuación 5.24 } \tau = 2,02 \cdot (P_v \cdot X)^{-0,09} = 2,02 \cdot (802,36 \cdot 240,2)^{-0,09} = 0,67$$

Dónde:

$\tau$  = transmisividad atmosférica

$P_v$  = presión parcial de vapor de agua (Pa)

Una vez se ha calculado el factor de vista, la transmisividad atmosférica y el calor emitido, se procede a calcular cuál sería la radiación térmica recibida a 200m de la explosión:

$$\text{Ecuación 5.25 } Q_X = \tau \cdot E \cdot F_{21} = 0,67 \cdot 252,98 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2} \cdot 0,14 = 23,73 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2}$$

Una vez estimados los cálculos anteriormente desarrollados y, con tal de evitar las numerosas consecuencias de la explosión de los reactores debida a la BLEVE causada por el incendio, se ha decidió aislar los reactores en un búnker hecho de hormigón que se capaz de soportar el incremento de presión producido por la explosión a una distancia máxima de 5m (5,1 bar) y evite tanto el desprendimiento de los fragmentos del reactor como la expansión de la radiación térmica (23,73 kW/m<sup>2</sup>) hasta los 200 m de distancia de la explosión.

No obstante, cabe especificar que el 50% de ocupación de óxido de etileno dentro de los reactores que se ha supuesto, está sobredimensionado para que así los bunkers puedan soportar cualquier sobrepresión.

## 5.10 Higiene

La higiene busca establecer los procedimientos donde se detalla la forma y las condiciones con las cuales el personal tiene que emplear en la planta de ETHOXID. De esta forma se controlan todos los factores que puedan causar enfermedades o lesiones en el sitio de trabajo, ya que si se lleva a cabo una correcta higiene en planta se evitan situaciones peligrosas que puedan causar posibles accidentes.

### 5.10.1 Limpieza y mantenimiento en el sitio de trabajo

La planta se adhiere a la normativa impuesta en el *Real Decreto 486/1997*, que determina las condiciones mínimas de seguridad y salud en lugares de trabajo, incluyendo las plantas químicas.

Según el *Anexo II*, los lugares de trabajo se limpiarán periódicamente, y tanto paredes, suelos y techos serán construidos con materiales que faciliten su limpieza. Se eliminarán con especial rapidez manchas de grasas y productos residuales, ya que podrían originar accidentes y/o contaminar el ambiente de trabajo. También se planificarán mantenimientos periódicos que aseguren un funcionamiento correcto del proceso. Con el objetivo de evitar que estos mantenimientos sean en si un riesgo para los trabajadores, estos se llevaran a cabo durante las paradas de planta planificadas.

Según el *Anexo III*, la exposición a las condiciones ambientales de los lugares de trabajo no debe suponer un riesgo para la seguridad y la salud de los trabajadores, ni tampoco de incomodidad o molestia para estos. Por tanto, debe evitarse la presencia, de entre otras, altas temperaturas y olores desagradables dentro de lo posible.

En lo general, se intentará que los trabajadores nunca estén expuestos a temperaturas de menos de 14°C y más de 25°C, a humedades menores de 30% y mayores de 70%, y a corrientes de aire de más de 0,75 m/s. De la misma manera, la renovación del aire en los sitios de trabajo será de 50 metros cúbicos de aire por hora y trabajador.

Según el *Anexo V*, todo lugar de trabajo dispondrá de agua potable en cantidad suficiente, y fácilmente accesible, señalizada como potable para evitar generar dudas. Al llevar ropa especial de trabajo, la planta dispondrá también de vestuarios, provistos de asientos y taquillas individuales con llave, y acceso a aseos, espejos, y duchas.

### 5.10.2 Limpieza de equipos

*El Anexo II del Real Decreto 486/1997* también a los equipos dentro de la localización de trabajo. Por tanto, la limpieza de los equipos y su mantenimiento se realizará durante las paradas previstas de la planta, aunque la limpieza externa de estos se realizará periódicamente, sin esperar a la parada total del proceso. La limpieza de los recipientes podrá ser por chorreado, con arena o granalla, de acuerdo con el informe UNE 109.104, o mediante limpieza química (la limpieza química debe aplicarse solamente a equipos y tuberías de nueva construcción). En las tuberías sólo se admite la limpieza química.

La limpieza de los recipientes donde interviene el óxido de etileno tendrá que ser por chorreado, con arena o granalla, de acuerdo con el *informe UNE 109.104*, o mediante limpieza química (la limpieza química debe aplicarse solamente a equipos y tuberías de nueva construcción). En las tuberías sólo se admite la limpieza química.

### 5.10.3 Higiene del personal

Para garantizar unas buenas condiciones sanitarias dentro de la planta, se establecen unas normas básicas de higiene personal.

Antes y después de entrar en cualquier zona de proceso, los trabajadores deben lavarse las manos. Estos deben llevar uñas cortas y el cabello recogido en caso de ser largo. No se permite ningún tipo de anillo, pendiente, pulsera o colgante en la zona de proceso, al igual que cualquier ropa que no sea de trabajo, cedida por la misma empresa.

## 5.11 Primeros Auxilios

Aunque se sigan todas las medidas de seguridad que se han ido citando a lo largo de este capítulo 5: Seguridad e higiene, no se elimina al cien por ciento la posibilidad de accidentes, y, hay veces que estos son inevitables, como por ejemplo, el ocurrido a principios de este año en IQOXE. La evolución de este tipo de accidentes en gran parte depende de la rapidez con la que se actúa, es decir, que unos correctos primeros auxilios pueden reducir el impacto de la lesión ocasionada al trabajador.

### 5.11.1 Conducta PAS

La conducta PAS (Proteger, Alertar y Socorrer), define los pasos que se deben seguir en caso de una emergencia. La PAS evita situaciones en las que se entorpecen los esfuerzos sanitarios o se agrava la situación de la persona accidentada cuando se está intentando socorrer a este. Los tres pasos mencionados se explican a continuación.

Justo después de darse el accidente, lo primero que se debe hacer es proteger tanto a la persona accidentada como a terceras personas.

Esto se hace retirando las posibles fuentes de peligro de la zona, o, en caso de que esto no fuera posible, desplazando a la persona accidentada a un lugar seguro, intentando no provocar ningún tipo de lesión durante el desplazamiento.

Una vez asegurada la protección de la persona accidentada, se debe alertar a los servicios de emergencia médica sobre la situación, proporcionando toda la información posible sobre el lugar y gravedad del accidente y número y estado de personas accidentadas.

Una vez alertados los servicios de emergencia, se debe intentar socorrer a la persona accidentada mediante técnicas de primeros auxilios, a la vez que se va haciendo un reconocimiento constante sobre su salud, y se le da el soporte emocional adecuado para tranquilizarla.

Estos procedimientos solo pueden ser realizados por aquellas personas con conocimientos de primeros auxilios, ya que una persona sin el conocimiento adecuado podría agravar la situación.

#### 5.11.2 Protocolo de actuación general

En relación con el apartado 5.11.1. Conducta PAS se establece un protocolo de actuación, ya que es importante establecer una forma de actuar en caso de emergencia con el fin de evitar posibles bloqueos ante este tipo de situaciones y, así, dar una respuesta lo más rápido posible. Esta actuación es la siguiente:

1. Mantener la calma para poder actuar con rapidez.
2. Examinar la zona del accidente para comprobar que no hay otros peligros, en caso de haber, eliminarlos y atender a los heridos más graves.
3. No mover al herido (a menos que sea necesario).
4. Comprobar el estado en el que se encuentra la persona que ha tomado mal. En caso de no obtener una respuesta por parte de la víctima o de dificultades respiratorias llamar al 112.
5. Sólo, debe hacerse cargo de aquel que sea imprescindible con cuidados simples hasta que llegue el médico.
6. No dejar nunca solo a la persona herida
7. Dar apoyo emocional a la víctima con el fin de que esté tranquila, ya que los nervios pueden agravar la situación.

### 5.11.3 Material de primeros auxilios

Para poder responder ante estos accidentes, y según *el Anexo VI del Real Decreto 486/1997*, todos los emplazamientos laborales contarán de botiquines de primeros auxilios, en sitios de fácil acceso y visibilidad para los trabajadores, y en una zona de bajo riesgo. Estos deberán estar señalizados correctamente, y revisados periódicamente, para comprobar que disponga de todo el material listado a continuación en un estado óptimo:

- Desinfectantes y antisépticos
- Gasas estériles
- Algodón hidrófilo
- Vendas
- Esparadrapo
- Apósitos adhesivos
- Tijeras
- Pinzas
- Guantes desechables

De la misma manera, según *el Artículo 3 del Real Decreto 1/2015*, este botiquín no podrá estar provisto de ningún tipo de medicación.

Se ha colocado un botiquín en cada área que se ha considerado necesaria. En la planta ETHOXID se ha puesto botiquín en las áreas 800, 1100 y 1200, destinadas respectivamente al taller de mantenimiento, oficinas y laboratorios, y zona social, vestidores y baños.

Las duchas y el lavaojos se han instalado cerca debido a que tienen los mismos requisitos de instalación. Ambos equipos deben estar en zonas donde pueda haber contaminación de polvo, gas u otra sustancia, por lo tanto se han instalado en las zonas donde se realiza el almacenamiento, la reacción, la purificación, la separación de óxido de etileno, el tratamiento de dióxido de carbono y el tratamiento de gases.

## 5.12 Equipos de protección individual (EPIs)

*La ley 31/1995 de prevención de Riesgos Laborales y el Real Decreto 773/1997*, establece una serie de principios generales, donde se destaca como más principal la obligación, por parte del empresario, a proporcionar a los operarios equipos de protección individual (EPI) adecuados para el desarrollo de sus funciones cuando el riesgo no se pueda evitar o reducir de forma significativa.

Por lo tanto, los EPIs resultan una herramienta básica en la prevención de riesgos residuales ineludibles. En la planta de ETHOXID se clasifican en dos grandes grupos parciales e integrales.

#### 5.12.1 Normativa de los EPIs

Los EPI están sometidos a “un doble margo legal”:

- Desde la óptica de la seguridad y salud en el trabajo → *Real Decreto 773/1997, del 30 de mayo*: establece las disposiciones mínimas para garantizar una protección adecuada del trabajador durante su utilización.
- Desde el punto de vista de la seguridad del producto → *Real Decreto 1407/199, del 20 de noviembre*: establece los requisitos que deben cumplir los EPI, desde su diseño y fabricación hasta su comercialización, con el fin de garantizar la salud y la seguridad de los usuarios.

#### 5.12.2 EPIs parciales

Estos equipos son los destinados a proteger frente a riesgos localizados en zonas o partes del cuerpo específicas. A continuación, se muestran los diferentes tipos de EPIs según la zona que se quiera proteger.

- Protección para la cabeza: Para proteger la cabeza se debe utilizar un casco, que la protege contra la posible caída de objetos. Debe estar compuesto por un armazón y un arnés.
  - El casco debe contener la siguiente información:
  - El número de Norma Europea.
  - El año y trimestre de fabricación.
  - El modelo de casco.
  - La gama de tallas.
  - El nombre o marca del fabricante.
- Protección para los pies: Con el fin de proteger los pies frente a lesiones y proporcionar una suela de zapato antideslizante, se deberá utilizar un calzado de seguridad de uso profesional. Estos calzados también están equipados con topes diseñados para proteger frente a impactos. El calzado deberá llevar la siguiente información:

- Talla.
- Marca de identificación del fabricante.
- El número de Norma Europea.
- El año y trimestre de fabricación.
- Los símbolos correspondientes a la protección ofrecida.
- Protección para las manos: Con el fin de proteger las manos frente a posibles quemaduras, irritaciones o golpes, se deberán utilizar guantes de seguridad. El tipo de guante dependerá de la función que se vaya a llevar a cabo. Los guantes de seguridad deben ser flexibles, impermeables y resistentes a agentes químicos. En la parte exterior los guantes deberán llevar la siguiente información:
  - Nombre del fabricante.
  - Clase.
  - Categoría.
  - Tamaño.
  - Longitud.
- Protección ocular o facial: Los mejores EPIs para la protección ocular son las gafas, que pueden ser integrales, universales o de tipo cazoleta. Para la protección facial se pueden utilizar las pantallas de protección de la cara.
- Protección del oído: Cuando no es posible controlar la emisión de un ruido, se recurre a los EPIs. La protección para los oídos incluye:
  - Tapones: Protector auditivo que se introduce en el canal externo del oído, es de material deformable para adaptarse al oído (protección interna).
  - Orejeras: Protector auditivo que cubre totalmente el pabellón auditivo. Consta de un arnés de fijación y dos casquetes (protección externa).
- Protección de las vías respiratorias: En el caso de que en el ambiente se encuentre la presencia de aerosoles o polvos tóxicos/corrosivos, se deben utilizar equipos de protección de las vías respiratorias. Éstas pueden ser las siguientes:
  - Equipos filtrantes: Dispositivos en los que el aire pasa a través de un filtro que retiene las impurezas antes de que el éste sea inhalado. Tipos de equipos filtrantes:
    - Equipos filtrantes contra partículas
    - Equipos filtrantes contra gases y vapores
    - Equipos filtrantes contra partículas, gases y vapores

- Protección para abdomen y cuerpo: Para proteger estas zonas se utilizan:
  - Chalecos, chaquetas y mandiles de protección contra agresiones mecánicas y las agresiones químicas.
  - Chalecos termógenos, cinturones de sujeción del tronco, fajas y cinturones antivibraciones.



*Figura 5.25. Equipos de protección individual.*

### 5.12.3 EPIs integrales

Son los destinados a proteger frente a riesgos cuya actuación no tiene una localización específica.

- Protecciones anticaídas:

Los EPIs anticaídas son aquellos que sujetan a la persona a un punto de anclaje para evitar cualquier caída. Estos se clasifican en:

- Sistemas de sujeción en posición de trabajo: Están destinados a sostener al trabajador en altura y se utilizan con un sistema anticaídas a la vez.
- Sistemas anticaídas: Destinados a parar la caída del trabajador, como, por ejemplo: Arnés anticaídas, elementos de amarre con absorbedor de energía...

- Ropa de protección específica:

Está diseñada para proporcionar protección frente a diversos riesgos. La ropa de protección está diseñada con el material acorde al riesgo que tenga que hacer frente.

Algunos ejemplos sobre ropa de protección:

- Ropa de protección contra las agresiones químicas.
- Ropa de protección contra las agresiones mecánicas.
- Ropa de protección contra bajas temperaturas.
- Ropa de protección contra la contaminación radiactiva.
- Ropa de protección contra fuentes de calor intenso.
- Ropa antigás.
- Ropa antipolvo.

#### 5.12.2 EPIs para el almacenamiento de OE

El personal del almacenamiento dispondrá de ropa de protección que, en ningún caso, pueda generar cargas estáticas, y equipos de protección respiratoria adecuados. Los trajes de protección deben incluir:

1. Botas.
2. Guantes.
3. Visores.
4. Gafas de seguridad contra salpicaduras.
5. Otras ropas resistentes e impermeables.

Se usarán botas adecuadas cuando se esté trabajando en la eliminación de derrames, incluso los diluidos en agua.

Se usarán gafas siempre que se transvase óxido de etileno o haya riesgo de salpicaduras. Cuando se efectúen trabajos en los que sea inevitable la presencia de óxido de etileno por encima de los límites marcados, el equipo de protección mínimo será el siguiente:

- a. Sólo vapores de óxido de etileno: equipo de respiración autónoma o semiautónoma.
- b. Líquido: equipo respiratorio autónomo completo, botas, guantes, traje de protección.

El mantenimiento y almacenamiento de los equipos de protección se hará teniendo en cuenta lo siguiente:

- Se almacenarán de forma adecuada en un lugar determinado.
- Se limpiarán y se comprobará su buen funcionamiento, si fuese posible con anterioridad y, en todo caso, después de cada utilización.
- Se repararán o sustituirán los equipos defectuosos antes de una nueva utilización.

### 5.13 Plan de emergencia interno

El plan de emergencia interno (PEI) tiene como objetivo describir las acciones que hay que emprender para evacuar o bien para evitar riesgos en caso de emergencia en la planta. Por lo tanto, este plan lo compondrán un sistema de organización, unos procedimientos de actuación y unos medios materiales que ayuden a la empresa a prevenir accidentes o mitiguen sus consecuencias tanto a la plantilla de trabajadores como al medio ambiente y las infraestructuras/instalaciones.

En la planta de ETHOXID donde se manipula óxido de etileno se redactará, por el responsable del área de almacenamiento de OE, un plan de emergencia en el que se describan las acciones a tomar para mejor control de las situaciones de alarma y para minimizar las consecuencias de un posible accidente sobre las personas y las cosas, tanto de la propia industria como de las ajenas. Este plan cumplirá lo dispuesto en la legislación vigente y contemplará, al menos, los siguientes extremos:

1. Designación del responsable de la autoprotección y organigrama del servicio.
2. Información sobre los riesgos que comporta la manipulación del óxido de etileno.
3. Definición de las situaciones de alarma, análisis de las secuencias que las desencadenan y fases de ejecución: alerta e intervención.
4. Información sobre el manejo y empleo de los medios materiales de protección de que disponga el establecimiento.
5. Información sobre la actuación del personal en las situaciones de alarma.
6. Enlace y cooperación con los servicios públicos de extinción, policía y sanitarios de urgencia. Cooperación con otros servicios privados.
7. Entrenamiento regular del personal propio. Ejercicios de coordinación con otros servicios externos.
8. Redacción de unas instrucciones resumidas para la actuación del personal en caso de alarma, se colocará un ejemplar en cada dependencia o departamento laboral.
9. Instrucciones para primeros auxilios.

En la planta ETHOXID se han instalado tres salidas de emergencia en las áreas de control, oficinas y laboratorios, zona social, vestidores y baños, y taller de mantenimiento. Estas salidas deben estar situadas en puntos donde no tengas que recorrer más de 25 m para llegar a ellas.

Por último, se han puesto cuatro puntos de encuentro para acudir en caso de evacuación. Estos puntos se han puesto uno en la entrada a planta, uno en cada una de las salidas de emergencia, y uno entre el área contraincendios y el taller de mantenimiento para que se encuentren en zonas donde no haya peligro.

La salida de emergencia, los puntos de reunión y las rutas a seguir para la evacuación de la planta en el supuesto caso de accidente se pueden ver situadas en el plan de evacuación en la planta de ETHOXID en el “Capítulo 10. Diagramas y planos”.

En el supuesto caso de emergencia, por causa de un accidente ocurrido en la planta de ETHOXID, los teléfonos de emergencia de contacto con las autoridades son los siguientes:

-Urgencias y emergencias sanitarias, Bomberos, Mossos d’esquadra → 112

-Policía nacional → 091

-Ambulancias → 061

### 5.14 Análisis de riesgos

El análisis de riesgo de una planta industrial sirve para describir las desviaciones de las condiciones óptimas de operación, las posibles causas y las medidas que se podrían llevar a cabo para prevenirlas.

En la planta de ETHOXID, se utilizará el HAZOP (Hazard and Operability) en castellano AFO (Análisis Funcional de Operatividad) como método de evaluación de riesgos en la planta.

Este método se basa en la premisa de que los accidentes se producen como consecuencia de una desviación de las variables de proceso con respecto a los parámetros normales de operación.

Un análisis HAZOP consta de varias etapas:

- Definición del área de estudio: Las áreas en las cuales se aplicará un análisis HAZOP se delimitarán.
- Aplicación de las palabras guía: En cada nudo se plantearán, de forma sistemática, las desviaciones de las variables de proceso aplicando a cada variable una palabra guía (No, más, menos, además de, etc.).

### 5.14.1 Palabras guía HAZOP

Un estudio HAZOP sigue una metodología rigurosa que utiliza unas palabras guía que ayudan en la estructura del estudio. A continuación, se muestran las palabras guía más importantes:

PALABRA GÜA	SIGNIFICADO	EJEMPLO DE DESVIACION	EJEMPLO DE CAUSAS ORIGINADORAS
NO	Ausencia de la variable a la cual se aplica	No hay flujo en una línea	Bloqueo; fallo de bombeo; válvula cerrada o atascada; fuga, válvula abierta, fallo de control.
MAS	Aumento cuantitativo de una variable	Más flujo (más caudal)	Presión de descarga reducida, succión presurizada, fuga, lectura errónea de instrumentos.
		Más temperatura	Fuegos exteriores, bloqueo, explosión en reactor, reacción descontrolada
MENOS	Disminución cuantitativa de una variable	Menos caudal	Fallo de bombeo, fuga, bloqueo parcial, sedimentos en línea, bloqueo de válvulas.
		Menos temperatura	Pérdidas de calor, vaporización, fallo de sellado.
INVERSO	Analiza la inversión en el sentido de la variable. Se obtiene el efecto contrario al que se pretende.	Flujo inverso	Fallo de bomba, sifón hacia atrás, inversión de bombeo, válvula <b>antirretorno</b> que falla o está insertada en la tubería en forma incorrecta.
ADEMÁS DE	Aumento cualitativo. Se obtiene algo más que las intenciones de diseño	Impurezas o una fase extraordinaria	Entrada de contaminantes del exterior como aire, agua o aceites, productos de corrosión, fallo de aislamiento, presencia de materiales por fugas interiores, fallos de la puesta en marcha.
PARTE DE	Disminución cualitativa. Se obtiene solamente una parte de las intenciones del diseño.	Disminución de la composición en una mezcla	Concentración demasiado baja en la mezcla, reacciones adicionales, cambio en la alimentación
DIFERENTE DE	Actividades distintas respecto a la operación normal	Cualquier actividad	Puesta en marcha y parada, pruebas e inspecciones, muestreo, mantenimiento, eliminación de tapones, corrosión, fallo de energía, emisiones indeseadas, etc.

**Figura 5.26.** Palabras guía para el estudio HAZOP.

### 5.14.2 Estudio HAZOP

A continuación, se muestran los diferentes análisis de riesgo HAZOP que se han llevado a cabo para la planta de producción de óxido de etileno ETHOXID.

		Análisis de riesgos: HAZOP		Planta producción óxido de etileno
		ÁREA: A-100		Equipos: Tanque pulmón de etileno
		ÁREA: A-100		Ítem: T-102
Palabra Guía (Desviación)	Variable	Causas	Consecuencias	Acción Correctora
No	Caudal de entrada	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Fallo de la válvula de entrada al tanque pulmón.</li> <li>2. Fuga por corrosión.</li> <li>3. Obstrucción tuberías de transporte del etileno.</li> <li>4. Detección de condiciones de presión y temperatura erróneas.</li> </ol>	Parada del proceso debido a la falta de materias primas	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Mejoras en las protecciones de las tuberías provenientes de otra planta que suministra etileno.</li> <li>2. Instalación de una parada de emergencia del proceso.</li> <li>3. Monitoreo de la concentración de etileno en la entrada de los reactores.</li> <li>4. Instalación de medidas para asegurar que no entran contaminantes que puedan obstruir las tuberías.</li> </ol>
No	Caudal de salida	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Fallo de la válvula de salida al tanque pulmón T-102.</li> <li>2. Tanque vacío debido a alguna fuga en las tuberías de entrada o fallo de las válvulas de entrada.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Acumulación de etileno en el tanque, aumentando su presión.</li> <li>2. Posible estallido por un aumento de la presión y la temperatura del gas.</li> <li>3. Parada del proceso debido a la falta de materias primas.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Instalación de una parada de emergencia del proceso.</li> <li>2. Monitoreo de la concentración de etileno en la entrada de los reactores.</li> <li>3. Control de presión, temperatura y nivel que hagan cortar el suministro en caso de superar ciertos niveles de consigna.</li> </ol>

No	Venteo	Fallo de la válvula de venteo del tanque pulmón T-102.	Aumento de la presión.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Realizar una parada de emergencia del proceso productivo.</li> <li>2. Parada del suministro de etileno por tubería de la planta de fraccionamiento de aire.</li> </ol>
Más	Caudal de entrada o salida	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Fallo de los equipos que hacen llegar el etileno por tubería.</li> <li>2. Fallo de válvulas de entrada y salida al tanque T-102.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Aumento del nivel del tanque pulmón T-102 o del siguiente equipo.</li> <li>2. Vaciado del tanque pulmón.</li> <li>3. Parada de emergencia del proceso.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Mantenimiento y reparación de los equipos de bombeo/comprimido.</li> <li>2. Revisión rutinaria de las válvulas de entrada y salida.</li> <li>3. Instalación de una parada de emergencia del proceso.</li> </ol>
Más	Temperatura	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Temperaturas exteriores al tanque muy elevadas debido a posibles incendios.</li> <li>2. Aumento de la presión de llegada del etileno (11 bar).</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Condiciones inadecuadas para la mezcla posterior con los demás gases a temperatura ambiente.</li> <li>2. Si hay aumento de la presión, posible estallido del tanque.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Mejorar el sistema de aislamiento del tanque T-102.</li> <li>2. Control de temperatura y presión que haga parar el proceso en caso de emergencia.</li> </ol>
Más	Presión	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Obstrucción de tuberías de salida del tanque T-102.</li> <li>2. Aumento considerable de la temperatura de almacenaje.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Posible deteriora miento del material del tanque T-102.</li> <li>2. Condiciones inadecuadas para la posterior mezcla de gases puros de etileno, oxígeno y nitrógeno.</li> <li>3. Posible estallido del tanque T-102 y reacción en cadena.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Disponer de un sistema de refrigeración de emergencia.</li> <li>2. Instalación de válvulas de escape para dejar ir gas que se irá a tratar.</li> </ol>

Menos	Temperatura	1. Temperaturas exteriores relativamente bajas. 2. Mal sistema de aislamiento.	1. Disminución de la presión del tanque T-102. 2. Condiciones inadecuadas para la posterior mezcla de gases puros de etileno, oxígeno y nitrógeno.	1. Mejor sistema de aislamiento del tanque T-102. 2. Disminución del diámetro de la tubería.
Menos	Presión	1. Disminución de la temperatura del corriente de entrada al tanque. 2. Presión de llegada a la planta a menor presión de 11 bar.	1. Disminución de la temperatura de dentro del tanque pulmón. 2. Condiciones inadecuadas para la posterior mezcla de gases puros de etileno, oxígeno y nitrógeno.	1. Instalación de algún sistema calefactor para aumentar la temperatura en caso de que haga falta. 2. Instalación de compresores que aumenten la presión de entrada al tanque.
Menos	Concentración	Llegada del etileno de mala calidad con impurezas incorporadas.	1. Condiciones inadecuadas para la posterior mezcla de gases puros de etileno, oxígeno y nitrógeno. 2. Parada del proceso productivo.	1. Instalación de algún sistema de filtración para evitar la entrada de impurezas sólidas junto al etileno. 2. Monitoreo de la concentración de etileno de llegada por tubería.
Inverso	Caudal de salida	1. Gradiente de presión invertido. 2. Obstrucción de la salida del tanque T-102.	Parada de emergencia del proceso	1. Instalación de compresores a la entrada del tanque T-102. 2. Mantenimiento continuo del tanque pulmón y de las tuberías de entrada y salida.
Además de	Impurezas	Llegada del etileno de mala calidad con impurezas incorporadas.	1. Condiciones inadecuadas para la posterior mezcla de gases puros de etileno, oxígeno y nitrógeno. 2. Parada del proceso productivo.	1. Instalación de algún sistema de filtración para evitar la entrada de impurezas sólidas junto al etileno. 2. Monitoreo de la concentración de etileno de llegada por tubería.

		Análisis de riesgos: HAZOP		Planta producción óxido de etileno
		ÁREA: A-100		Equipos: Tanque pulmón de oxígeno
		Ítem: T-101		
Palabra Guía (Desviación)	Variable	Causas	Consecuencias	Acción Correctora
No	Caudal de entrada	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Fallo de la válvula de entrada al tanque pulmón.</li> <li>2. Fuga por corrosión.</li> <li>3. Obstrucción tuberías de transporte del oxígeno.</li> <li>4. Detección de condiciones de presión y temperatura erróneas.</li> </ol>	Parada del proceso debido a la falta de materias primas	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Mejoras en las protecciones de las tuberías provenientes de otra planta que suministra oxígeno y etileno.</li> <li>2. Instalación de una parada de emergencia del proceso.</li> <li>3. Monitoreo de la concentración de oxígeno en la entrada de los reactores.</li> <li>4. Instalación de medidas para asegurar que no entran contaminantes que puedan obstruir las tuberías.</li> </ol>
No	Caudal de salida	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Fallo de la válvula de salida al tanque pulmón.</li> <li>2. Tanque vacío debido a alguna fuga en las tuberías de entrada o fallo de las válvulas de entrada.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Acumulación de oxígeno en el tanque, aumentando su presión.</li> <li>2. Posible estallido por un aumento de la presión y la temperatura del gas.</li> <li>3. Parada del proceso debido a la falta de materias primas.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Instalación de una parada de emergencia del proceso.</li> <li>2. Monitoreo de la concentración de oxígeno en la entrada de los reactores.</li> <li>3. Control de presión, temperatura y nivel que hagan cortar el suministro en caso de superar ciertos niveles de consigna.</li> </ol>

No	Venteo	Fallo de la válvula de venteo del tanque pulmón T-101	Aumento de la presión	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Realizar una parada de emergencia del proceso productivo.</li> <li>2. Parada del suministro de oxígeno por tubería de la planta de fraccionamiento de aire.</li> </ol>
Más	Caudal de entrada o salida	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Fallo de los equipos que hacen llegar el oxígeno por tubería.</li> <li>2. Fallo de válvulas de entrada y salida al tanque T-101.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Aumento del nivel del tanque pulmón T-101 o del siguiente equipo.</li> <li>2. Vaciado del tanque pulmón.</li> <li>3. Parada de emergencia del proceso.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Mantenimiento y reparación de los equipos de bombeo/comprimido.</li> <li>2. Revisión rutinaria de las válvulas de entrada y salida.</li> <li>3. Instalación de una parada de emergencia del proceso.</li> </ol>
Más	Temperatura	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Temperaturas exteriores al tanque muy elevadas debido a posibles incendios.</li> <li>2. Aumento de la presión de llegada del oxígeno (11 bar).</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Condiciones inadecuadas para la mezcla posterior con los demás gases a temperatura ambiente.</li> <li>2. Si hay aumento de la presión, posible estallido del tanque.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Mejorar el sistema de aislamiento del tanque T-101.</li> <li>2. Control de temperatura y presión que haga parar el proceso en caso de emergencia.</li> <li>3.</li> </ol>
Más	Presión	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Obstrucción de tuberías de salida del tanque T-101.</li> <li>2. Aumento considerable de la temperatura de almacenaje.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Posible deterioro del material del tanque T-101.</li> <li>2. Condiciones inadecuadas para la posterior mezcla de gases puros de etileno, oxígeno y nitrógeno.</li> <li>3. Posible estallido del tanque T-101 y reacción en cadena.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Disponer de un sistema de refrigeración de emergencia.</li> <li>2. Instalación de válvulas de escape para dejar ir gas que se irá a tratar.</li> </ol>

Menos	Temperatura	1. Temperaturas exteriores relativamente bajas. 2. Mal sistema de aislamiento.	1. Disminución de la presión del tanque T-101. 2. Condiciones inadecuadas para la posterior mezcla de gases puros de etileno, oxígeno y nitrógeno.	1. Mejor sistema de aislamiento del tanque T-101. 2. Disminución del diámetro de la tubería.
Menos	Presión	1. Disminución de la temperatura del corriente de entrada al tanque. 2. Presión de llegada a la planta a menor presión de 11 bar.	1. Disminución de la temperatura de dentro del tanque pulmón. 2. Condiciones inadecuadas para la posterior mezcla de gases puros de etileno, oxígeno y nitrógeno.	1. Instalación de algún sistema calefactor para aumentar la temperatura en caso de que haga falta. 2. Instalación de compresores que aumenten la presión de entrada al tanque.
Menos	Concentración	Llegada del oxígeno de mala calidad con impurezas incorporadas.	1. Condiciones inadecuadas para la posterior mezcla de gases puros de etileno, oxígeno y nitrógeno. 2. Parada del proceso productivo.	1. Instalación de algún sistema de filtración para evitar la entrada de impurezas sólidas junto al oxígeno. 2. Monitoreo de la concentración de oxígeno de llegada por tubería.
Inverso	Caudal de salida	1. Gradiente de presión invertido. 2. Obstrucción de la salida del tanque T-101.	Parada de emergencia del proceso	1. Instalación de compresores a la entrada del tanque T-101. 2. Mantenimiento continuo del tanque pulmón y de las tuberías de entrada y salida.
Además de	Impurezas	Llegada del oxígeno de mala calidad con impurezas incorporadas.	1. Condiciones inadecuadas para la posterior mezcla de gases puros de etileno, oxígeno y nitrógeno. 2. Parada del proceso productivo.	1. Instalación de algún sistema de filtración para evitar la entrada de impurezas sólidas junto al oxígeno. 2. Monitoreo de la concentración de oxígeno de llegada por tubería.

		Análisis de riesgos: HAZOP		Planta producción óxido de etileno
		ÁREA: A-200		Equipos: Reactores
				Item: R-200A, R-200B, R-200C
Palabra Guía (Desviación)	Variable	Causas	Consecuencias	Acción Correctora
No	Caudal de etileno (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> )	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Obstrucción de la alimentación del etileno.</li> <li>2. Válvula cerrada en la línea del etileno.</li> <li>3. Insuficiente etileno de almacenaje.</li> </ol>	El exceso de oxígeno puede provocar una combustión no controlada en el reactor.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Revisión rutinaria de mantenimiento de la línea de etileno.</li> <li>2. Implementación de parada de seguridad del reactor si se detecta el error.</li> </ol>
No	Caudal de oxígeno (O <sub>2</sub> )	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Fuga en la línea de oxígeno.</li> <li>2. Válvula cerrada en la línea del oxígeno.</li> <li>3. Insuficiente oxígeno de almacenaje.</li> </ol>	El etileno es muy inflamable y podría combustionar si entra en contacto con una chispa.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Revisiones rutinarias de mantenimiento de la línea de oxígeno.</li> <li>2. Implementación de parada de seguridad del reactor si se detecta el error.</li> </ol>
No	Caudal de nitrógeno (N <sub>2</sub> )	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Fuga en la línea de nitrógeno.</li> <li>2. Válvula cerrada en la línea del nitrógeno.</li> <li>3. Insuficiente nitrógeno de almacenaje.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Posible inestabilidad de la mezcla reactiva.</li> <li>2. Posible descomposición y autoignición del óxido de etileno formado.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Revisiones rutinarias de mantenimiento de la línea del nitrógeno.</li> <li>2. Implementación de parada de seguridad del reactor si se detecta el error.</li> </ol>

No	Caudal de salida	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Obstrucción de la línea de salida del reactor.</li> <li>2. Válvula cerrada en la línea de salida del reactor.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Puede acumularse presión en el reactor y provocar así una combustión no controlada en el reactor.</li> <li>2. Etileno y óxido de etileno podrían combustionar con el oxígeno del reactor.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Asegurarse de que las válvulas de salida del reactor estén abiertas.</li> <li>2. Añadir una válvula reductora de presión.</li> <li>3. Implementación de parada de seguridad del reactor si se detecta el error.</li> </ol>
No	Reacción	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Insuficiente cantidad de catalizador o alcance de su desactivación.</li> <li>2. La temperatura de ignición de los reactivos no es alcanzada en el reactor (270°C).</li> </ol>	<p>Etileno y oxígeno podrían combustionar causando acumulaciones de presión y temperatura.</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Monitoreo rutinario de la actividad del catalizador.</li> <li>2. Monitoreo de la presión del reactor y disponer de actuaciones de emergencia.</li> <li>3. Monitoreo de la temperatura del reactor y disponer de actuaciones de emergencia.</li> </ol>
Más	Caudal de etileno (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> )	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Caudal de entrada de etileno demasiado alto.</li> <li>2. Error en la apertura de la válvula de la línea de etileno.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Podrá alcanzarse el límite superior de inflamabilidad y causar una explosión.</li> <li>2. Podría provocar una fuga en la planta.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Añadir interlocks en los controles para limitar el caudal a un valor inferior al máximo.</li> <li>2. Instalar válvulas de cierre.</li> <li>3. Revisión rutinaria de posibles fugas de la línea de etileno.</li> <li>4. Monitoreo de la relación del oxígeno respecto al del etileno para evitar alcanzar el LSI.</li> <li>5. Implementación de parada de seguridad del reactor si se detecta el error.</li> </ol>

Más	Caudal de oxígeno (O <sub>2</sub> )	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Caudal de entrada de oxígeno demasiado alto.</li> <li>2. Error en la apertura de la válvula de la línea del oxígeno.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Podrá alcanzarse el límite superior de inflamabilidad y causar una explosión.</li> <li>2. Podría provocar una fuga en la planta</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Añadir interlocks en los controles para limitar el caudal a un valor inferior al máximo.</li> <li>2. Instalar válvulas de cierre.</li> <li>3. Revisión rutinaria de posibles fugas de la línea de etileno.</li> <li>4. Monitoreo de la relación del oxígeno respecto al del etileno para evitar alcanzar el LSI.</li> <li>5. Implementación de parada de seguridad del reactor si se detecta el error.</li> </ol>
Más	Caudal de salida	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Han reaccionado más reactivos de lo establecido.</li> <li>2. Se ha ajustado un caudal de salida demasiado alto.</li> <li>3. Error en la apertura de la válvula de salida del reactor.</li> <li>4. Presión demasiado alta en el reactor.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Posible fuga de óxido de etileno en la planta.</li> <li>2. La presión de separación aumentaría.</li> <li>3. Reactivos no reaccionados podrían fluir fuera del reactor demasiado rápido pudiendo provocar una explosión no controlada.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Añadir interlocks en los controles para limitar el caudal a un valor inferior al máximo.</li> <li>2. Revisión rutinaria de posibles fugas de la línea de del producto de salida del reactor.</li> <li>3. Añadir una válvula reductora de presión en el reactor.</li> <li>4. Implementación de parada de seguridad del reactor si se detecta el error.</li> </ol>
Más	Presión	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Tiene lugar una reacción no controlada.</li> <li>2. Demasiado caudal de algún reactivo de entrada.</li> <li>3. Caudal de salida del reactor demasiado bajo.</li> <li>4. Incremento considerable de la temperatura de reacción.</li> </ol>	<p>El material del reactor podría debilitarse causando una fuga o una explosión.</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Monitoreo de la presión del reactor y disponer de actuaciones de emergencia.</li> <li>2. Añadir control de válvulas en las líneas de etileno, oxígeno y producto de salida del reactor.</li> <li>3. Monitoreo de la temperatura del reactor y disponer de actuaciones de emergencia.</li> <li>4. Añadir una válvula reductora de presión en el reactor.</li> <li>5. Añadir un control de temperatura en la camisa del reactor multitubular.</li> </ol>

Más	Temperatura	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. La temperatura de entrada de los reactivos es demasiado alta.</li> <li>2. La termodinámica prevista de la reacción es errónea.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. El reactor podría sobrecalentarse.</li> <li>2. Los materiales del reactor podrían fundirse y descomponerse en sustancias químicas no deseables.</li> <li>3. La presión de trabajo aumentaría.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Añadir un control de temperatura en la camisa del reactor multitubular.</li> <li>2. Monitoreo de la temperatura del reactor y disponer de actuaciones de emergencia.</li> <li>3. Monitoreo de la presión del reactor y disponer de actuaciones de emergencia.</li> </ol>
Más	Reacción	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. La temperatura del reactor es demasiado alta.</li> <li>2. La cinética no está controlada.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. La cantidad de óxido de etileno que se formará será demasiado alta causando una acumulación de presión en el reactor y sobrepasará el límite del 3% molar del caudal de salida.</li> <li>2. Podría haber una fuga de óxido de etileno en la planta.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Control de temperatura mediante un sistema DCS y de la camisa del reactor.</li> <li>2. Monitoreo de la concentración de óxido de etileno a la salida del reactor, evitando que sea superior al 3% molar.</li> </ol>
Más	Concentración de etileno (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> )	Problemas en el sistema de alimentación del oxígeno como un posible fallo de un compresor.	Se podría llegar a alcanzar proporciones inseguras de oxígeno en la mezcla reactiva.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Implementación de parada de seguridad del reactor si se detecta el error en la alimentación del reactor.</li> <li>2. Revisión periódica de la operabilidad de la corriente de alimentación al reactor.</li> </ol>
Más	Concentración de oxígeno (O <sub>2</sub> )	Problemas en el sistema de alimentación del etileno como un posible fallo de un compresor.	Se podría llegar a alcanzar proporciones inseguras de oxígeno en la mezcla reactiva.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Implementación de parada de seguridad del reactor si se detecta el error en la alimentación del reactor.</li> <li>2. Revisión periódica de la operabilidad de la corriente de alimentación al reactor.</li> </ol>
Menos	Caudal de etileno (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> )	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Obstrucción en la línea de etileno.</li> <li>2. Insuficiente alimentación de etileno.</li> </ol>	Podría llegar a alcanzar el límite inferior de inflamabilidad (LII) y causar una explosión.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Revisión rutinaria de posibles fugas de la línea de etileno.</li> <li>2. Monitoreo de la relación del oxígeno respecto al del etileno para evitar alcanzar el LII.</li> <li>3. Implementación de parada de seguridad del reactor si se detecta el error.</li> </ol>

Menos	Caudal de oxígeno (O <sub>2</sub> )	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Obstrucción en la línea de oxígeno.</li> <li>2. Insuficiente alimentación del oxígeno.</li> </ol>	Podría llegar a alcanzar el límite inferior de inflamabilidad (LII) y causar una explosión.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Revisión rutinaria de posibles fugas de la línea del oxígeno.</li> <li>2. Monitoreo de la relación del oxígeno respecto al del etileno para evitar alcanzar el LII.</li> <li>3. Implementación de parada de seguridad del reactor si se detecta el error.</li> </ol>
Menos	Caudal de salida	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Obstrucción en la línea del producto de salida del reactor.</li> <li>2. Válvula de cierre parcialmente abierta.</li> </ol>	La presión se puede acumular y llegar a provocar una explosión.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Añadir una válvula reductora de presión en el reactor.</li> <li>2. Revisar las válvulas de apertura de salida del reactor.</li> <li>3. Implementación de parada de seguridad del reactor si se detecta el error.</li> </ol>
Menos	Presión	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Insuficientes reactivos de entrada al reactor.</li> <li>2. Demasiado caudal de producto de salida del reactor.</li> <li>3. Disminución elevada de la temperatura de reacción.</li> <li>4. La cantidad de reactivos que reaccionan es inferior.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. El óxido de etileno podría invertir su caudal hacia el interior del reactor.</li> <li>2. Cantidades no controladas de etileno o oxígeno podrían entrar al reactor y reaccionar sin ningún control.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Monitoreo de la presión del reactor y disponer de actuaciones de emergencia.</li> <li>2. Añadir control de válvulas en las líneas de etileno, oxígeno y producto de salida del reactor.</li> <li>3. Monitoreo de la temperatura del reactor y disponer de actuaciones de emergencia.</li> <li>4. Añadir una válvula reductora de presión en el reactor.</li> <li>5. Añadir un control de temperatura en la camisa del reactor multitubular.</li> </ol>
Menos	Temperatura	La temperatura de los reactivos de entrada es demasiado baja.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. La cinética de la reacción se vería afectada y la reacción sería impredecible.</li> <li>2. La presión del reactor podría disminuir.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Añadir un control de temperatura en la camisa del reactor multitubular.</li> <li>2. Monitoreo de la temperatura del reactor y disponer de actuaciones de emergencia.</li> <li>3. Monitoreo de la presión del reactor y disponer de actuaciones de emergencia.</li> </ol>
Menos	Volumen	La acumulación del material dentro del reactor provocaría una disminución del volumen disponible.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. La cinética de la reacción se vería afectada y la reacción sería impredecible.</li> <li>2. La presión del reactor podría aumentar.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Monitoreo de la presión del reactor y disponer de actuaciones de emergencia.</li> <li>2. Revisión rutinaria de las acumulaciones en el reactor y su limpieza.</li> </ol>

Menos	Reacción	1. Temperatura demasiado baja. 2. La cinética de la reacción no estaría controlada.	1. Etileno y oxígeno estarían en un rango de cantidades no controladas en el reactor. 2. Se obtendría una conversión inferior a la del 10% respecto al etileno o 20% al oxígeno.	1. Control de temperatura mediante un sistema DCS y de la camisa del reactor. 2. Monitoreo de la concentración de óxido de etileno a la salida del reactor, intentando que sea próxima al 3% molar.
Menos	Concentración de etileno (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> )	La aparición de ciertas impurezas podría causar que la concentración fuera demasiado baja.	Se podría llegar a alcanzar proporciones inseguras de oxígeno en la mezcla reactiva.	1. Purificar los reactivos mediante operaciones de separación. 2. Implementación de parada de seguridad del reactor si se detecta el error.
Menos	Concentración de oxígeno (O <sub>2</sub> )	La aparición de ciertas impurezas podría causar que la concentración fuera demasiado baja.	Se podría llegar a alcanzar proporciones inseguras de oxígeno en la mezcla reactiva.	1. Purificar los reactivos mediante operaciones de separación. 2. Implementación de parada de seguridad del reactor si se detecta el error.
Inverso	Caudal de etileno (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> )	Una elevada presión en el reactor podría causar una corriente inversa.	La presión se puede acumular y llegar a provocar una explosión.	1. Añadir una válvula reductora de presión. 2. Mantenimiento de las válvulas de la línea de etileno. 3. Implementación de parada de seguridad del reactor si se detecta el error.
Inverso	Caudal de oxígeno (O <sub>2</sub> )	Una elevada presión en el reactor podría causar una corriente inversa.	La presión se puede acumular y llegar a provocar una explosión.	1. Añadir una válvula reductora de presión. 2. Mantenimiento de las válvulas de la línea del oxígeno. 3. Implementación de parada de seguridad del reactor si se detecta el error.
Inverso	Caudal de salida	La presión del reactor puede ser demasiado baja causando una corriente inversa del producto de salida del reactor	1. La presión se puede acumular y llegar a provocar una explosión. 2. El óxido de etileno podría introducirse en las líneas de alimentación de etileno y oxígeno.	1. Monitoreo de la presión del reactor y disponer de actuaciones de emergencia. 2. Añadir una válvula reductora de presión. 3. Comprobar válvulas de líneas de etileno, oxígeno y producto de salida del reactor. 4. Implementación de parada de seguridad del reactor si se detecta el error.
Además de	Reacción	Reacciones no controladas podrían causar la formación de productos no deseados.	1. Impurezas en los reactivos podrían reaccionar. 2. El etileno podría combustionar totalmente.	1. Purificación de los reactivos mediante operaciones de separación. 2. Monitoreo de la concentración de óxido de etileno a la salida del reactor por si se debe realizar una parada de la reacción.

		Análisis de riesgos: HAZOP			Planta producción óxido de etileno
		ÁREA: A-300 y A-400			Equipos: Columnas de absorción
		Item: C-300, C-401			
Palabra Guía (Desviación)	Variable	Causas	Consecuencias	Acción Correctora	
No	Caudal de entrada	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Obstrucción de las tuberías.</li> <li>2. Obstrucción de las válvulas de entrada.</li> <li>3. Fallo de la bomba.</li> <li>4. Fuga en las tuberías</li> <li>5. Fallo en el control del caudal.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. No se realiza el proceso de absorción.</li> <li>1. Aumenta la presión de las tuberías.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Revisión de las tuberías.</li> <li>2. Revisión del mantenimiento de las válvulas.</li> <li>3. Revisión del mantenimiento de la bomba.</li> <li>4. Revisión del control del caudal.</li> </ol>	
Más	Caudal	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Obstrucción de las válvulas.</li> <li>2. Fuga y/o obstrucción de las tuberías.</li> <li>3. Fallo de la bomba.</li> <li>4. Fallo de un equipo previo.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Aumento de la temperatura y de la presión.</li> <li>2. Inundación de la columna si el control de nivel no soluciona el problema.</li> <li>3. Más concentración en la salida.</li> <li>4. Obtención de una separación no deseada.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Revisión del mantenimiento de las válvulas.</li> <li>2. Revisión del mantenimiento de la bomba.</li> <li>3. Revisión del control del caudal.</li> <li>4. Comprobación del correcto funcionamiento de los equipos previos.</li> <li>5. Revisión de las tuberías.</li> </ol>	
Más	Presión	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Aumento de la temperatura.</li> <li>2. Aumento del caudal de entrada.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Fuga de gases.</li> <li>2. Posible rotura del equipo por sobrepresión.</li> <li>3. Obtención de una separación no deseada.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Revisión del control de temperatura.</li> <li>2. Revisión del control en el caudal de entrada.</li> </ol>	
Más	Temperatura	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Fallo en el control de temperatura.</li> <li>2. Aumento del caudal de entrada.</li> <li>3. Aumento de la presión.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Aumento de la presión.</li> <li>2. Posible rotura del equipo.</li> <li>3. Obtención de una separación no deseada.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Revisión del control de temperatura.</li> <li>2. Revisión del mantenimiento de las válvulas.</li> <li>3. Revisión de los controles en el caudal de entrada y de la presión.</li> </ol>	

Menos	Caudal	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Obstrucción de las válvulas.</li> <li>2. Fuga y/o obstrucción de las tuberías.</li> <li>3. Fallo de la bomba.</li> <li>4. Fallo de un equipo previo.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Salidas con menos concentración.</li> <li>2. Disminución de la temperatura y la presión.</li> <li>3. Obtención de una separación no deseada.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Revisión del mantenimiento de las válvulas.</li> <li>2. Revisión de las tuberías.</li> <li>3. Revisión del mantenimiento de las bombas.</li> <li>4. Revisión del sistema de control.</li> <li>5. Comprobación del correcto funcionamiento de los equipos previos.</li> </ol>
Menos	Presión	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Disminución de la temperatura.</li> <li>2. Fuga en las tuberías.</li> <li>3. Fallo en las válvulas.</li> <li>4. Disminución del caudal de entrada.</li> <li>5. Fallo de un equipo previo.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Fuga de gases.</li> <li>2. Disminución de la concentración en la salida.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Revisión del control de temperatura.</li> <li>2. Revisión de las tuberías.</li> <li>3. Revisión del mantenimiento de las válvulas.</li> <li>4. Revisión del control del caudal de entrada.</li> <li>5. Comprobación del correcto funcionamiento de los equipos previos.</li> </ol>
Menos	Temperatura	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Disminución de la presión.</li> <li>2. Fallo en el control de la temperatura.</li> <li>3. Temperatura ambiente demasiado baja.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Deformación del equipo por la formación de vacío.</li> <li>2. Obtención de corrientes de salida modificadas.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Revisión del control de temperatura.</li> <li>2. Revisión del control de presión.</li> <li>3. Adición de anticongelante.</li> </ol>
Inverso	Caudales de salida	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Gradiente de presión invertido.</li> <li>2. Obstrucción en la salida.</li> </ol>	Parada de emergencia de toda la planta.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Mantenimiento de las tuberías de entrada y salida.</li> <li>2. Instalación de compresores en la entrada.</li> </ol>
Además de	Impurezas	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Separaciones previas inadecuadas.</li> <li>2. Fuga interna.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Parada de emergencia de toda la planta.</li> <li>2. Obtención de corrientes de salida modificadas.</li> <li>3. Variación de la presión y temperatura.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Comprobación de la correcta separación en equipos previos.</li> <li>2. Control de la composición del producto de salida.</li> </ol>

		Análisis de riesgos: HAZOP		Planta producción óxido de etileno
		ÁREA: A-500		Equipos: Columna de Absorción
				Ítem: C-500
Palabra Guía (Desviación)	Variable	Causas	Consecuencias	Acción Correctora
No	Caudal	Fallo del suministro de la corriente gas debido a un fallo del compresor.	No hay caudal de gas de entrada (alimentación) a la columna de absorción C-500.	Revisión rutinaria de mantenimiento de los equipos de impulsión del área A-500.
No	Integridad de las tuberías	1. Daño mecánico de la tubería, es decir, rotura de la tubería. 2. Error en la instalación de las tuberías. 3. Defecto del material de construcción de las tuberías.	Pérdida de contención de la tubería con gases de combustión.	Mantenimiento de las tuberías de la columna de absorción C-500.
No	Integridad de la absorción	1. Daño mecánico del absorbedor. 2. Error en la instalación de la absorción C-500. 3. Material seleccionado erróneamente.	Pérdida de contención en el absorbedor.	Mantenimiento de la columna de absorción C-500.
No	Caudal de absorción	Fallo en el suministro del gas de alimentación a la columna de absorción C-500.	No hay caudal de entrada del gas al absorbedor.	1. Revisión rutinaria de mantenimiento de los equipos de impulsión del área A-500. 2. Mantenimiento de las tuberías para evitar fugas.
No	Caudal de MEA	1. Fallo en el suministro de la MEA al absorbedor C-500. 2. Falta de solución de MEA en el tanque de almacenamiento.	No hay caudal de MEA en el absorbedor C-500.	1. Revisión rutinaria de mantenimiento de los equipos de impulsión de la monoetanolamina (MEA). 2. Mantenimiento de las tuberías para evitar fugas de la MEA líquida. 3. Control de nivel en los tanques de almacenamiento de la MEA.

Menos	Caudal	Fallo del sistema de suministro de gas debido a un fallo del compresor.	Decrecimiento del suministro del caudal de gas.	Revisión rutinaria de mantenimiento de los equipos de impulsión del área A-500.
Parte de	Composición	1. Fallo del suministro de gas al absorbedor. 2. Corrosión de las tuberías.	Presencia de impurezas en los gases de combustión.	1. Realizar toma de muestras a la entrada y salida de la absorción C-500. 2. Evitar o reducir la formación de sustancias ácidas en la absorción C-500.
Además de	Corrosión	1. Presencia de impurezas ácidas en el corriente de gases. 2. Uso de un material diferente de acero inoxidable.	Corrosión de tuberías.	1. Elegir acero inoxidable 316L como material de construcción de las tuberías. 2. Evitar o reducir la formación de sustancias ácidas en la absorción C-500.

		Análisis de riesgos: HAZOP		Planta producción óxido de etileno
				Equipos: Columnas de Destilación
		ÁREAS: A-400, A-500		Ítem: C-400, C-402, C-501
Palabra Guía (Desviación)	Variable	Causas	Consecuencias	Acción Correctora
No	Caudal de entrada	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Fallada de las bombas anteriores a las columnas de destilación.</li> <li>2. Deterioro de las tuberías que transportan el fluido del proceso, causando fugas en estas.</li> <li>3. Válvulas de la columna de destilación cerradas.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Parada de operación de la columna, y consecuentemente del proceso.</li> <li>2. Posible vertido de sustancias en caso de fuga.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Revisión y mantenimiento de bombas y tuberías.</li> <li>2. Usar bombas dobladas.</li> <li>3. Instalar finales de carrera de apertura en las válvulas manuales.</li> </ol>
No	Caudal de reflujo	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Fallo eléctrico de la bomba.</li> <li>2. Bloqueo de la válvula de reflujo.</li> <li>3. Cierre de la válvula de reflujo por error de un operario.</li> <li>4. Fugas en las tuberías que transportan el reflujo.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Aumento de la temperatura de la columna.</li> <li>2. Descomposición térmica de componentes de la mezcla tratada en la columna.</li> <li>3. Parada del equipo y consecuentemente del proceso.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Mantenimiento de los sistemas eléctricos.</li> <li>2. Revisión y mantenimiento de válvulas y tuberías.</li> <li>3. Usar bombas dobladas.</li> </ol>
Más	Presión	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Aumento del caudal de alimentación.</li> <li>2. Aumento de la temperatura por fallada de intercambiadores de calor anteriores.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Disminución de la cantidad de producto deseado.</li> <li>2. La composición del destilado no es la requerida/deseada.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Revisión y mantenimiento de los intercambiadores de calor.</li> <li>2. Instalar un controlador de caudal de alimentación para la columna de destilación.</li> </ol>

Más	Temperatura	1.Fallo eléctrico en el condensador. 2.Exceso de calor en la caldera. 3.Fallo en la válvula de reflujo. 4.Augmento de la temperatura por fallada de intercambiadores de calor anteriores.	1.Variación de las condiciones de operación optimas. 2.Mayor desgaste en tuberías y equipos. 3.Cambio en las composiciones de salida.	1.Revisión y mantenimiento de válvulas, condensadores y calderas de las columnas de destilación. 2.Revisión y mantenimiento de los intercambiadores de calor.
Más	Caudal de reflujo	1.Mayor temperatura de la deseada en la salida superior. 2.Avería/Obstrucción de la válvula de salida de destilado.	1.Menor caudal de destilado. 2.Riesgo de inundación de la columna.	1.Revisión de las válvulas de la columna de destilación. 2.Revisión y calibrado del lazo de control de temperatura.
Menos	Concentración del destilado	1.Avería en los platos a causa de corrosión, inundación o rotura. 2.La caldera no proporciona suficiente calor.	1.Disminución del proceso de separación, alargamiento el proceso. 2.Malfuncionamiento de equipos siguientes del proceso ya que cambia la composición caudal y se tendría que rediseñar.	1.Revisión y mantenimiento de los platos de las columnas de destilación. 2.Mantenimineto de los condensadores y calderas de las columnas de destilación.
Menos	Temperatura	1.Formación de capa de productos corrosivos y la caldera no calienta a la temperatura necesaria. 2.Fallada del intercambiador de calor, suministra caudal de alimentación a menor temperatura.	1.Disminución de la calidad del destilado. 2.Separación no adecuada y	1.Revisión de la caldera y limpieza de esta. 2.Revisión y calibrado del lazo de control de temperatura.
Menos	Caudal de reflujo	1.Temperatura inferior a la esperada en la salida superior. 2.Avería u obstrucción de la válvula.	1.Mayor caudal de destilado.	1. Control de caudal y nivel que controlen la cantidad de reflujo de las columnas.

		Análisis de riesgos: HAZOP		Planta producción óxido de etileno
		ÁREAS: A-300, A-400 y A-500		Equipos: Bombas del proceso productivo Ítem: P-300, P-301, P-400, P-401, P-500, P-501
Palabra Guía (Desviación)	Variable	Causas	Consecuencias	Acción Correctora
No	Caudal	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.Falla la bomba.</li> <li>2. Falla la válvula situada antes de la bomba.</li> <li>3.Fuga en las tuberías.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.El proceso de producción se ve alterado, teniendo un efecto más negativo si las bombas son las situadas al principio del proceso.</li> <li>2.Acumulación de producto y fluidos en los equipos anteriores ya que no son vaciados.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.Utilizar la bomba doblada, difícilmente las dos bombas presentaran problemas.</li> <li>2. Revisión y mantenimiento de las tuberías.</li> </ol>
No	Electricidad en planta	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.Corte en el suministro de electricidad.</li> <li>2.Fallo eléctrico específico del compresor.</li> </ol>	El compresor se detiene de repente o no arranca.	Comprobación del cuadro eléctrico y conexión al grupo electrógeno.
Más	Temperatura	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Fallo de los controles de temperatura.</li> <li>2. Aumento de la presión.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Descomposición del óxido de etileno provocada por el aumento de la temperatura.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Parada del proceso.</li> <li>2. Disminuir la potencia del motor de las bombas.</li> <li>3. Paradas de emergencia del proceso por potencias elevadas.</li> </ol>

Menos	Caudal	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Falla la bomba.</li> <li>2. Falla la válvula de entrada a la bomba, la cual está más cerrada de lo que debería.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. El proceso de producción se ve alterado, teniendo un efecto más negativo si las bombas son las situadas al principio del proceso.</li> <li>2. Acumulación de producto y fluidos en los equipos anteriores ya que no son vaciados.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Utilizar la bomba doblada, difícilmente las dos bombas presentaran problemas.</li> <li>2. Revisión del calibrado y mantenimiento de válvula situada con anterioridad a la bomba.</li> </ol>
Inverso	Sentido del flujo	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Falla la bomba.</li> <li>2. Mala instalación de la bomba.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Retrasa el proceso de producción, pueden entrar fluidos no deseados en los equipos situados antes de la bomba.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Utilizar la bomba doblada, difícilmente las dos bombas presentaran problemas.</li> <li>2. Colocación de una válvula antirretorno.</li> </ol>

		Análisis de riesgos: HAZOP		Planta producción óxido de etileno
		ÁREAS: A-100, A-300, A-400, A-500.		Equipos: Compresores Ítem: K-100, K-101, K-300, K-400, K-500
Palabra Guía (Desviación)	Variable	Causas	Consecuencias	Acción Correctora
No	Caudal	1.Malfuncionamineto del proceso. 2.Bloqueo de válvulas o tuberías.	Interrupción del proceso.	Realización de mantenimiento de tuberías y válvulas.
No	Electricidad en planta	1.Corte en el suministro de electricidad. 2.Fallo eléctrico específico del compresor.	El compresor se detiene de repente o no arranca.	Comprobación del cuadro eléctrico y conexión al grupo electrógeno.
No	Aceite	No hay suministro de aceite en el cárter.	El compresor es más ruidoso del habitual.	Revisar cojinetes y asegurar el suministro de aceite en el cárter.
No	Conexión del cableado	Cables no conectados correctamente.	El compresor no arranca.	1.Comprobación del cableado. 2.Mejora del mantenimiento.
Más	Ruido	Desajuste en las piezas mecánicas del compresor.	El compresor es más ruidoso del habitual.	1.Ajustar las piezas mecánicas. 2.Mejorar el mantenimiento.
Más	Presión	Aumento de la presión del caudal entrada o sobrepresión en la succión.	1.Aumento de la temperatura caudal salida. 2.Sobrepresión en el compresor y posible rotura.	Colocación válvula de control de presión.
Más	Temperatura	Conductos de gases obstruidos, ventilación insuficiente, válvulas desgastadas.	Sobrecalentamiento del motor y del compresor en general.	1.Limpieza de los filtros de gases 2. Comprobación filtros de válvulas desgastadas.

Menos	Lubricante	Lubricación insuficiente o de mala calidad.	El compresor no arranca.	1.Comprovar el nivel de aceite. 2.Mejorar el mantenimiento.
Menos	Voltaje	Voltaje insuficiente.	El compresor no arranca.	Comprobar que el voltaje corresponde al de la placa de identificación.
Menos	Temperatura	Temperatura ambiente demasiado baja.	El compresor no arranca.	Aislar el compresor o mejora de las condiciones ambientales.
Menos	Presión	Fugas de gases en el compresor.	1.Disminución de la presión en el caudal de salida. 2.Malfuncionamiento del proceso.	Comprobación accesorios del compresor.
Diferente de	Fase del caudal entrada	1.Bajada de temperatura. 2.Condensación del caudal a fase líquida.	1.Malfuncionamiento del compresor. 2.Fallada general del compresor.	Colocación válvula de temperatura a la entrada del compresor.

		Análisis de riesgos: HAZOP		Planta producción óxido de etileno
		ÁREAS: A-200, A-300, A-500		Equipos: Intercambiadores de Calor (Calentadores)
				Ítem: E-200, E-302, E-501, E-503, E-504
Palabra Guía (Desviación)	Variable	Causas	Consecuencias	Acción Correctora
No	Caudal entrada	1.Fallada de la válvula de entrada a los intercambiadores. 2.Fallada de la válvula de salida de equipos anteriores. 3.Fallada del sistema de bombeo. 4.Fugas en las tuberías.	1.El intercambiador de calor no tiene fluido para trabajar. 2.Parada del proceso de producción.	1. Revisión del calibrado y mantenimiento de las válvulas anteriores al intercambiador. 2. Utilizar bombas dobladas. 3.Mantenimiento y revisión de las tuberías.
No	Caudal de salida	1.Fallada de la válvula de salida del intercambiador. 2.Fallada del sistema de bombeo. 3.Fugas en las tuberías. 4.El intercambiador de calor se encuentra vacío ya que no hay caudal de entrada.	1.No se vacía el intercambiador de calor, se ve afectado el proceso de producción. 2.Posible cavitación de la bomba que provocaría que la bomba se pudiera estropear.	1.Revisión del calibrado y mantenimiento de las válvulas del equipo. 2.Utilizar bombas dobladas. 3.Acciones correctoras No Caudal entrada.
No	Caudal de fluido calefactor	1.Fallada de la válvula reguladora de caudal de fluido calefactor. 2.Deterioro de la tubería que transporta el fluido calefactor.	1.El intercambiador de calor no cumple con su función, puede causar perturbaciones en el proceso. 2.No se acondicionan los fluidos correctamente para el proceso, lo que implica el malfuncionamiento de equipos y la interrupción el proceso de producción.	1. Disponer de válvulas de control de temperatura a la salida de los intercambiadores para controlar el correcto funcionamiento de estos. 2.Revisión del calibrado de las válvulas reguladoras de caudal del fluido calefactor.

Más	Temperatura	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.Fallada del equipo que proporciona el fluido calefactor, (caldera). Suministra el fluido calefactor a una temperatura superior a la deseada.</li> <li>2.El fluido calefactor entra a mayor presión.</li> <li>3.Augmento del cabal del fluido calefactor.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Sobrecalentamiento del fluido que se está acondicionando, con lo que conlleva el mal funcionamiento de algunos equipos del proceso, ya que el fluido no entraría a la temperatura deseada a los reactores, a las columnas C-300 y C-501.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.Revisión y mantenimiento del equipo de servicio que proporciona el fluido calefactor.</li> <li>2.Revisión y mantenimiento de los elementos que forman los lazos de control que monitorizan la temperatura a lo largo del proceso.</li> <li>3.Mantenimiento de las válvulas de los calentadores para garantir su correcto funcionamiento.</li> </ol>
Más	Presión	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.Fallada del equipo que proporciona el fluido calefactor, (caldera). Suministra el fluido calefactor a una temperatura superior a la deseada.</li> <li>2.El fluido calefactor entra a mayor temperatura.</li> <li>3.Augmento del cabal del fluido calefactor.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Posible rotura del intercambiador de calor a causa de la sobrepresión.</li> <li>2.Malfuncionamiento del proceso a causa del mal acondicionado de las sustancias.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.Revisión y mantenimiento del equipo de servicio que proporciona el fluido calefactor.</li> <li>2.Revisión y mantenimiento de los elementos que forman los lazos de control que monitorizan la presión a lo largo del proceso.</li> <li>3.Mantenimiento de las válvulas de los calentadores para garantir su correcto funcionamiento.</li> </ol>
Más	Caudal de fluido calefactor	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.Fallada de la válvula que regula el cabal de fluido calefactor.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Aumenta el intercambio de calor, las sustancias tractadas saldrían a mayor temperatura que la deseada.</li> <li>2. Consecuencias MÁS temperatura.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.Revisión y mantenimiento del equipo de servicio que proporciona el fluido calefactor.</li> <li>2.Instalar caudalímetros a la salida del equipo de servicio que proporciona el fluido calefactor.</li> <li>3.Mantenimiento de las válvulas de los calentadores para garantir su correcto funcionamiento.</li> </ol>

Menos	Temperatura	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Fallada del equipo que proporciona el fluido calefactor, (caldera). Suministra el fluido calefactor a una temperatura inferior a la deseada.</li> <li>2. El fluido calefactor entra a menor temperatura.</li> <li>3. Disminución del cabal del fluido calefactor.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. El fluido que se está acondicionando no llega a la temperatura deseada, con lo que con lleva el mal funcionamiento de algunos equipos del proceso, ya que el fluido no entraría a la temperatura deseada a los reactores, a las columnas C-300 y C-501.</li> <li>2. Podría interrumpir la producción ya que no se darían las reacciones deseadas en los rectores.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Revisión y mantenimiento del equipo de servicio que proporciona el fluido calefactor.</li> <li>2. Revisión y mantenimiento de los elementos que forman los lazos de control que monitorizan la temperatura a lo largo del proceso.</li> <li>3. Manteniimiento de las válvulas de los calentadores para garantir su correcto funcionamiento.</li> </ol>
Menos	Cabal de fluido calefactor	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Fallada de la válvula que regula el cabal de fluido calefactor.</li> <li>2. Deterioro de las tuberías que transportan el fluido calefactor, habría fugas en estos conductos.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Disminuye el intercambio de calor, las sustancias tratadas saldrían a menor temperatura que la deseada.</li> <li>2. Consecuencias MENOS temperatura.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Revisión y mantenimiento del equipo de servicio que proporciona el fluido calefactor.</li> <li>2. Instalar caudalímetros a la salida del equipo de servicio que proporciona el fluido calefactor.</li> <li>3. Manteniimiento de las válvulas de los calentadores para garantir su correcto funcionamiento.</li> <li>4. Revisión y mantenimiento de las tuberías que transportan el fluido calefactor.</li> </ol>
Además de	Impurezas en el fluido calefactor	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Fallada del equipo de servicio, posible contaminación del fluido calefactor en este mismo o en las tuberías que lo transportan a causa de fugas.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. El rendimiento de los intercambiadores de calor se ve afectado, ya que el intercambio de calor se dificulta con las impurezas en el fluido calefactor.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Localizar la fuente de impurezas y hacer un correcto mantenimiento del equipo de servicio.</li> <li>2. Revisión y mantenimiento de las tuberías que transportan el fluido calefactor.</li> </ol>

		Análisis de riesgos: HAZOP		Planta producción óxido de etileno
		ÁREAS: A-200, A-300, A-400, A-500		Equipos: Intercambiadores de Calor (Refrigerantes) Ítem: E-201, E-300, E-301, E-400, E-401, E-500, E-502
Palabra Guía (Desviación)	Variable	Causas	Consecuencias	Acción Correctora
No	Caudal entrada	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.Fallada de la válvula de entrada a los intercambiadores.</li> <li>2.Fallada de la válvula de salida de equipos anteriores.</li> <li>3.Fallada del sistema de bombeo.</li> <li>4.Fugas en las tuberías.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.El intercambiador de calor no tiene fluido para trabajar.</li> <li>2.Parada del proceso de producción.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Revisión del calibrado y mantenimiento de las válvulas anteriores al intercambiador.</li> <li>2. Utilizar bombas dobladas.</li> <li>3.Mantenimiento y revisión de las tuberías.</li> </ol>
No	Caudal de salida	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.Fallada de la válvula de salida del intercambiador.</li> <li>2.Fallada del sistema de bombeo.</li> <li>3.Fugas en las tuberías.</li> <li>4.El intercambiador de calor se encuentra vacío ya que no hay caudal de entrada.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.No se vacía el intercambiador de calor, se ve afectado el proceso de producción.</li> <li>2.Posible cavitación de la bomba que provocaría que la bomba se pudiera estropear.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.Revisión del calibrado y mantenimiento de las válvulas del equipo.</li> <li>2.Utilizar bombas dobladas.</li> <li>3.Acciones correctoras No Caudal entrada.</li> </ol>
No	Caudal de fluido refrigerante	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.Fallada de la válvula reguladora de caudal de fluido refrigerante.</li> <li>2.Deterioro de la tubería que transporta el fluido refrigerante.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.El intercambiador de calor no cumple con su función, puede causar perturbaciones en el proceso.</li> <li>2.No se acondicionan los fluidos correctamente para el proceso, lo que implica el malfuncionamiento de equipos y la interrupción el proceso de producción.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Disponer de válvulas de control de temperatura a la salida de los intercambiadores para controlar el correcto funcionamiento de estos.</li> <li>2.Revisión del calibrado de las válvulas reguladoras de caudal del fluido refrigerante.</li> </ol>

Más	Temperatura	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.Fallada del equipo que proporciona el fluido refrigerante. Suministra el fluido refrigerante a una temperatura superior a la deseada.</li> <li>2.El fluido refrigerante entra a mayor presión.</li> <li>3.Augmento del cabal del fluido refrigerante.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Sobrecalentamiento del fluido que se está acondicionando, con lo que conlleva el mal funcionamiento de algunos equipos del proceso, ya que el fluido no entraría a la temperatura a las columnas C-300, C-400, C-401 y C-500.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.Revisión y mantenimiento del equipo de servicio que proporciona el fluido refrigerante.</li> <li>2.Revisión y mantenimiento de los elementos que forman los lazos de control que monitorizan la temperatura a lo largo del proceso.</li> <li>3.Manteniemiemo de las válvulas de los calentadores para garantir su correcto funcionamiento.</li> </ol>
Más	Presión	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.Fallada del equipo que proporciona el fluido refrigerante. Suministra el fluido refrigerante a una temperatura superior a la deseada.</li> <li>2.El fluido refrigerante entra a mayor temperatura.</li> <li>3.Augmento del cabal del fluido refrigerante.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Posible rotura del intercambiador de calor a causa de la sobrepresión.</li> <li>2.Malfuncionamiento del proceso a causa del mal acondicionado de las sustancias.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.Revisión y mantenimiento del equipo de servicio que proporciona el fluido refrigerante.</li> <li>2.Revisión y mantenimiento de los elementos que forman los lazos de control que monitorizan la presión a lo largo del proceso.</li> <li>3.Manteniemiemo de las válvulas de los calentadores para garantir su correcto funcionamiento.</li> </ol>
Más	Caudal de fluido refrigerante	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.Fallada de la válvula que regula el cabal de fluido refrigerante.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Aumenta el intercambio de calor, las sustancias tractadas saldrían a mayor temperatura que la deseada.</li> <li>2. Consecuencias MÁS temperatura.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.Revisión y mantenimiento del equipo de servicio que proporciona el fluido refrigerante.</li> <li>2.Instalar caudalímetros a la salida del equipo de servicio que proporciona el fluido calefactor.</li> <li>3.Manteniemiemo de las válvulas de los calentadores para garantir su correcto funcionamiento.</li> </ol>
Menos	Temperatura	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.Fallada del equipo que proporciona el fluido refrigerante. Suministra el fluido calefactor a una temperatura inferior a la deseada.</li> <li>2.El fluido refrigerante entra a menor temperatura.</li> <li>3.Disminución del cabal del fluido refrigerante.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.El fluido que se está acondicionando no llega a la temperatura deseada, con lo que con lleva el mal funcionamiento de algunos equipos del proceso, ya que el fluido no entraría a la temperatura deseada a los reactores, a las columnas C-300 y C-501. Podría interrumpir la producción ya que no se darían las reacciones deseadas en los rectores.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.Revisión y mantenimiento del equipo de servicio que proporciona el fluido refrigerante.</li> <li>2.Revisión y mantenimiento de los elementos que forman los lazos de control que monitorizan la temperatura a lo largo del proceso.</li> <li>3.Manteniemiemo de las válvulas de los calentadores para garantir su correcto funcionamiento.</li> </ol>

Menos	Cabal de fluido refrigerante	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Fallada de la válvula que regula el cabal de fluido refrigerante.</li> <li>2. Deterioro de las tuberías que transportan el fluido refrigerante, habría fugas en estos conductos.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Disminuye el intercambio de calor, las sustancias tratadas saldrían a menor temperatura que la deseada.</li> <li>2. Consecuencias MENOS temperatura.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Revisión y mantenimiento del equipo de servicio que proporciona el fluido refrigerante.</li> <li>2. Instalar caudalímetros a la salida del equipo de servicio que proporciona el fluido refrigerante.</li> <li>3. Mantenimiento de las válvulas de los calentadores para garantizar su correcto funcionamiento.</li> <li>4. Revisión y mantenimiento de las tuberías que transportan el fluido refrigerante.</li> </ol>
Además de	Impurezas en el fluido refrigerante	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Fallada del equipo de servicio, posible contaminación del fluido refrigerante en este mismo o en las tuberías que lo transportan a causa de fugas.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. El rendimiento de los intercambiadores de calor se ve afectado, ya que el intercambio de calor se dificulta con las impurezas en el fluido refrigerante.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Localizar la fuente de impurezas y hacer un correcto mantenimiento del equipo de servicio.</li> <li>2. Revisión y mantenimiento de las tuberías que transportan el fluido refrigerante.</li> </ol>

		Análisis de riesgos: HAZOP		Planta producción óxido de etileno
		ÁREA: A-600		Equipos: Tanques de almacenamiento de óxido de etileno
Palabra Guía (Desviación)	Variable	Causas	Consecuencias	Acción Correctora
No	Caudal de entrada	<ol style="list-style-type: none"> <li>Válvulas de entrada a los tanques cerradas u obstruidas.</li> <li>Fuga o roturas en las tuberías de entrada a los tanques.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Parada del proceso.</li> <li>Roturas de tuberías y válvulas.</li> <li>Posible cavitación de bombas.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Mantenimiento de la instrumentación que interviene en el almacenamiento del óxido de etileno.</li> <li>Mantenimiento de las bombas que impulsan el producto del área A-400 a la A-600.</li> </ol>
No	Caudal de salida	<ol style="list-style-type: none"> <li>Obstrucción de las válvulas de salida y descarga por polimerización.</li> <li>No hay fluido en el tanque.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Descarga de producto imposible de realizar.</li> <li>Acumulación peligrosa en el tanque de almacenamiento.</li> <li>Aumento de la presión de los tanques.</li> <li>Aumento de la temperatura por la subida de presión.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Mantenimiento de la instrumentación que interviene en el almacenamiento del óxido de etileno.</li> <li>Mantenimiento de las bombas que impulsan el producto a la carga de los camiones.</li> <li>Revisión rutinaria de las conexiones a descarga de tanques.</li> </ol>
No	Nitrógeno	<ol style="list-style-type: none"> <li>Fallo en el envío del nitrógeno proveniente del A-1000 a los tanques T-600.</li> <li>Obstrucción de las válvulas de entrada de nitrógeno a los tanques.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Inestabilidad de la presión del óxido de etileno.</li> <li>Aumento de la presión de almacenaje.</li> <li>Aumento de la temperatura debido al aumento de la presión.</li> <li>Posible estallido de los tanques.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Mantenimiento de la instrumentación que interviene en el envío del nitrógeno a los tanques.</li> <li>Control del caudal del nitrógeno a los tanques.</li> </ol>

No	Refrigeración	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Fallo en el equipo responsable de enviar el refrigerante a los tanques T-600.</li> <li>2. Fallo del sistema de espira de refrigeración.</li> <li>3. El fluido refrigerante no llega a la temperatura adecuada para mantenerlo el producto a 15°C.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Posible reacción runaway con posible estallido de los tanques.</li> <li>2. Posible polimerización térmica a partir de los 100°C y descomposición explosiva debido a la vaporización parcial del óxido de etileno a 450°C.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Mantenimiento rutinario del sistema de refrigeración.</li> <li>2. Instalar control de temperatura, presión y caudal para el fluido refrigerante.</li> <li>3. Mantenimiento de los equipos de servicio que suministran el fluido refrigerante.</li> </ol>
Más	Caudal de entrada	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Regulación errónea del caudal de salida de la C-402.</li> <li>2. Fallo de la válvula de entrada.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Acumulación de óxido de etileno, es decir, aumento del nivel máximo de almacenamiento de los tanques.</li> <li>2. Aumento de la presión de los tanques.</li> <li>3. Posible estallido de los tanques debido al aumento de la presión.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Mantenimiento de las válvulas de entrada y de las bombas a la salida de la C-402.</li> <li>2. Control de caudal de salida de la columna de destilación C-402.</li> </ol>
Más	Caudal de salida	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Regulación errónea del caudal de salida de los tanques</li> <li>2. Fallo de la válvula de salida.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Posible inundación y abocamiento del óxido de etileno en el cubeto de los tanques.</li> <li>2. Posible fuga de óxido de etileno por la rotura de la tubería de salida debido al aumento de la presión por un caudal más elevado.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Revisión del control de caudal de salida de los tanques.</li> <li>2. Mantenimiento de las válvulas de salida.</li> </ol>

Más	Temperatura	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Fallo del sistema de refrigeración de los tanques para mantener la temperatura a 15°C.</li> <li>2. Fallo del intercambiador de calor a la salida de la destilación C-402.</li> <li>3. Aumento anormal de la temperatura al exterior de los tanques debido a incendios.</li> <li>4. Fallo en la ventilación.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Posible reacción runaway con posible estallido de los tanques.</li> <li>2. Posible polimerización térmica a partir de los 100°C y descomposición explosiva 450°C.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Rápida conversión del óxido de etileno en la planta de consumo.</li> <li>2. Venteo a lugar seguro del recipiente para reducir la temperatura.</li> <li>3. Uso de la refrigeración de emergencia.</li> <li>4. Vaciado del líquido a una balsa procurando evitar nube tóxica inflamable.</li> </ol>
Más	Presión	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Fallo del control de presión de los tanques T-600.</li> <li>2. Fallo en el suministro de nitrógeno.</li> <li>3. Acumulación de óxido de etileno por fallo de la válvula de salida.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Posible estallido de los tanques debido a la alta presión.</li> <li>2. Aumento de la temperatura y posible descomposición explosiva.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Mantenimiento del control de presión.</li> <li>2. Apertura de la válvula de escape de gases de seguridad.</li> <li>3. Disminución del suministro de nitrógeno.</li> </ol>
Menos	Distancia de seguridad	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Mala distribución de la planta en la parcela.</li> <li>2. Formación del personal encargado de la seguridad inadecuada.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Posibles reacciones en cadena en el caso de cualquier explosión de los tanques de almacenamiento.</li> <li>2. En el caso de explosión, mayor impacto en los trabajadores.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Cumplir con la distancia de seguridad de carga y descarga de 15 m.</li> <li>2. En el momento de la distribución de la planta, poner los tanques a 60m de cualquier etapa del proceso.</li> <li>3. Asegurarse que se cumplen los estándares marcados por la ITC MIE APQ-2.</li> </ol>
Además de	Impurezas y/o contaminantes	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Fallo del control de la composición del fluido del producto.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Posible catálisis de la polimerización térmica del óxido de etileno a temperatura ambiente.</li> <li>2. Posible vaporización del óxido de etileno no polimerizado y posterior descomposición explosiva.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Comprobación y mantenimiento de los equipos de detección de la contaminación del caudal de salida del producto.</li> </ol>

### 5.15 Bibliografía

- [1] Boletín Oficial del Estado: Ministerio de Economía, Industria y Competitividad, Disposiciones generales; última consulta: 08/06/2020; <https://www.boe.es/boe/dias/2017/07/25/pdfs/BOE-A-2017-8755.pdf>
- [2] Boletín Oficial del Estado: Ministerio de Economía, Industria y Competitividad, Real Decreto 363/1995; última consulta: 09/06/2020; <https://www.boe.es/buscar/pdf/1995/BOE-A-1995-13535-consolidado.pdf>
- [3] Boletín Oficial del Estado: Ministerio de Economía, Industria y Competitividad, Real Decreto 255/2003; última consulta: 03/06/2020; <https://www.boe.es/eli/es/rd/2003/02/28/255/dof/spa/pdf>
- [4] Boletín Oficial del Estado: Ministerio de Economía, Industria y Competitividad, Real Decreto 400/1996 relativo a los aparatos y sistemas de protección para uso en atmósferas potencialmente explosivas; última consulta: 25/05/2020; <https://www.boe.es/boe/dias/1996/04/08/pdfs/a12903-12916.pdf>
- [5] Boletín Oficial del Estado: Ministerio de Economía, Industria y Competitividad, Real Decreto 681/2003 relativo a la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores expuestos a riesgos derivados de la presencia de atmósferas explosivas en los puestos de trabajo; última consulta: 26/05/2020; <https://www.boe.es/boe/dias/2003/06/18/pdfs/a23341-23345.pdf>
- [6] Boletín Oficial del Estado: Legislación Consolidada, Real Decreto 773/1997 sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores, última consulta: 20/05/2020; <https://www.boe.es/buscar/pdf/1997/BOE-A-1997-12735-consolidado.pdf>
- [7] Boletín Oficial del Estado: Legislación Consolidada, Real Decreto 1407/1992 por el que se regulan las condiciones para la comercialización y libre circulación intracomunitaria de los equipos de protección individual, última consulta: 15/05/2020; <https://www.boe.es/buscar/pdf/1992/BOE-A-1992-28644-consolidado.pdf>
- [8] Casquet Pérez J., “**Abastecimiento de agua contra incendios**”, última consulta: 07/06/2020; [https://www.enginyersbcn.cat/media/upload/fitxes\\_manuales/Fitxa\\_2.5\\_Abastecimiento\\_de\\_aqua\\_Jose\\_Casquet.pdf](https://www.enginyersbcn.cat/media/upload/fitxes_manuales/Fitxa_2.5_Abastecimiento_de_aqua_Jose_Casquet.pdf)

- [9] ECHA: European Chemicals Agency, Pictogramas CLP, última consulta: 0X/0X/2020;  
<https://echa.europa.eu/es/regulations/clp/clp-pictograms>
- [10] Instituto Nacional de seguridad e higiene en el trabajo, Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con los agentes químicos presentes en los lugares de trabajo, última consulta: 10/05/2020;  
[https://www.insst.es/documents/94886/96076/g\\_AQ.pdf/423a7e16-6bcc-4b10-a59e-7d9d40f99fed](https://www.insst.es/documents/94886/96076/g_AQ.pdf/423a7e16-6bcc-4b10-a59e-7d9d40f99fed)
- [11] Instituto Nacional de seguridad e higiene en el trabajo, “**Almacenamiento de productos químicos: orientaciones para la identificación de los requisitos de seguridad en el almacenamiento de productos químicos peligrosos**”, última consulta: 20/05/2020;  
<https://www.insst.es/documents/94886/96076/Almacenamiento+de+productos+quimicos.pdf/87f75b14-b979-4745-8bb5-5f6cb7d49e53>
- [12] Instituto Nacional de seguridad e higiene en el trabajo, Guía técnica sobre señalización de seguridad y salud en el trabajo, última consulta: 02/06/2020;  
<https://www.insst.es/documents/94886/203536/Gu%C3%ADa+t%C3%A9cnica+sobre+se%C3%B1alizaci%C3%B3n+de+seguridad+y+salud+en+el+trabajo/973e7bd4-65de-4c46-8d6e-c181ffedb80a>
- [13] Instituto Nacional de seguridad e higiene en el trabajo, NTP 371: información sobre productos químicos: Fichas de datos de seguridad, última consulta: 10/06/2020;  
[https://www.insst.es/documents/94886/326827/ntp\\_371.pdf/7da82c47-3d7a-4859-84d2-ce6b9165b9f9](https://www.insst.es/documents/94886/326827/ntp_371.pdf/7da82c47-3d7a-4859-84d2-ce6b9165b9f9)
- [14] ISOtools Excellence, Norma ISO 4500, última consulta: 03/06/2020;  
<https://www.isotools.org/2018/07/26/norma-iso-45001-diferencias-entre-peligros-y-riesgos/>
- [15] Manual básico de seguridad y salud en el trabajo, “**Riesgos específicos y su prevención en el sector correspondiente a la actividad de la empresa**”, última consulta: 05/05/2020;  
<http://www.invassat.gva.es/documents/161660384/161741761/MARTIN+PENELLA++Miguel+Angel++2014+.+Riesgos+especificos+y+su+prevencion+en+el+sector+quimico/b5bfd943-19a2-4854-88d9-07749a1a3b12>
- [16] ONU, ADR información general; última consulta: 02/06/2020;  
<https://www.myonu.com/ONU2009.asp?ID=405>

- 
- [17] Petrochemistry, Directrices para la distribución de óxido de etileno, última consulta: 10/06/2020; [https://www.petrochemistry.eu/wp-content/uploads/2018/01/Guidelines\\_EO\\_2013\\_SP\\_v2.pdf](https://www.petrochemistry.eu/wp-content/uploads/2018/01/Guidelines_EO_2013_SP_v2.pdf)
- [18] Prevención de riesgos laborales, Prevención de riesgos en la industria química, última consulta: 08/05/2020; [https://prevencion.asepeyo.es/wp-content/uploads/R1E17081-Gu%C3%ADa-Prevenci%C3%B3n-de-riesgos-en-la-industria-qu%C3%ADmica\\_Asepeyo.pdf](https://prevencion.asepeyo.es/wp-content/uploads/R1E17081-Gu%C3%ADa-Prevenci%C3%B3n-de-riesgos-en-la-industria-qu%C3%ADmica_Asepeyo.pdf)
- [19] Protección civil, Guía técnica: métodos cualitativos para el análisis de riesgo; última consulta: 03/06/2020; [http://www.proteccioncivil.es/catalogo/carpeta02/carpeta22/guiatec/Metodos\\_cualitativos/cuali\\_221.htm](http://www.proteccioncivil.es/catalogo/carpeta02/carpeta22/guiatec/Metodos_cualitativos/cuali_221.htm)
- [20] TDX, Factores de riesgo en instalaciones químicas, última consulta: 02/05/2020; <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6421/04CAPITULO2.PDF?sequence=4&isAllowed=y>