



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

---

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES

ZARAGOZA.

**“ANÁLISIS DE RIESGO AMBIENTAL EN UNA  
PLANTA DE DETERGENTE BIODEGRADABLE  
INTEGRADA”.**

**T E S I S**

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO QUÍMICO**

**PRESENTA:**

**CITLALI PÉREZ CRISTÓBAL.**

**ASESOR: I.Q. MANDUJANO ORTIZ FRANCISCO JAVIER.**



MÉXICO, D.F.

JUNIO 2010.



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## AGRADECIMIENTOS

Antes que nada quiero agradecer a Dios, que me ha guiado y ayudado durante toda mi vida, sin tú ayuda señor no lo hubiera logrado, ya que tú eres el que pone en mi camino a muchas personas maravillosas.

Gracias Padre

A mis abuelitos; † Lucano Pérez H; † María de Jesús Ortiz R, gracias por sus consejos y ejemplos que siempre me dieron y por los momentos felices que compartimos juntos.

Dedico esta tesis a mis padres María G. Cristóbal Ortiz y Salvador Pérez Santillán. Ya que sin sus sabios consejos, valores, sacrificios y protección que siempre me han brindado, yo no hubiera llegado hasta este punto importante de mi vida. Este logro es suyo.

Gracias por darme la vida

También la dedico a mi tío Pbro. Mateo Cristóbal Ortiz por su apoyo incondicional; ya que no tengo con que agradecerle que Dios lo cuide y acompañe siempre en su camino.

Gracias

A mis hermanos Salvador y Naybi Espero que nunca dejen de perseguir sus sueños.

Gracias por su apoyo

A mis pequeños capullos, Atzin, Karen D, Naybi y Yaretzi I, recuerden "*Hay tres grupos de personas: los que hacen que las cosas pasen; los que miran las cosas que pasan y los que se preguntan qué pasó.*" (*Nicholas Murray Butler*). Nunca se rindan.

*Dios no manda cosas imposibles, sino que,  
al mandar lo que manda, te invita a hacer  
lo que puedas y pedir lo que no puedas y  
te ayuda para que puedas.*

*San Agustín (354-430) Obispo y  
filósofo*



Gracias a mi asesor el I.Q. Mandujano Ortiz Francisco J. ya que con su asistencia, sus consejos y paciencia forjaron en mí, el poder realizar el presente trabajo.

También agradezco a todos mis mentores por compartir sus conocimientos y en especial a los profesores del jurado:

I.Q. Gonzalo Rafael Coello G, I.Q. Gabriel Cruz Zepeda, I.Q. Alejandro Juvenal Guzmán G. y el I.Q. Everardo Antonio Fera H, por su paciencia y aportaciones que ayudaron a mejorar el presente trabajo.

Gracias a la UNAM por abrirme sus puertas del conocimiento.

Un agradecimiento especial para mis familiares que siempre me han apoyado:

María Pérez S, Silvia Pérez S, Gloria Pérez S, Araceli Pérez S y a la familia Rodríguez Pérez.

Margarita Cristóbal O, Herminia Cristóbal O, Juana Cristóbal O, Gloria Cristóbal O, Sara Cristóbal O, Dionisio Cristóbal O, Francisco Cristóbal O.

A mis amigos el Arqlgo. Octavio R Corona P, y el Dibujante Ramiro Media O, por sus palabras de aliento y amistad que siempre me han brindado.

A mis compañeros de carrera y muy personalmente a quienes me prestaron su ayuda y amistad, en especial a mi amigo Oscar Nuñez, Fabiola Caballero, Alberto Macías, Martha Rico, Sofía Palacios y I.Q. Cecilia Lara.

Por último quiero agradecer al Coro UPSI-NUM y a la Familia Herrera R, por su amistad.

*Un pueblo puede tener piedras, garrotes,  
pistolas o cañones; aún así, si no tiene libros  
está completamente desarmado.*

*Ricardo F Combariza.*



<b>ÍNDICE</b>	<b>PÁGINA</b>
<b>RESUMEN</b>	01
<b>INTRODUCCIÓN</b>	02
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>1. GENERALIDADES</b>	05
1.1. Definición de peligro.	06
1.2. Definición de riesgo.	06
1.2.1. Clasificación de riesgo.	07
1.2.2. Riesgo ambiental.	07
1.3. Fiabilidad humana.	08
1.3.1. Tipos de operaciones.	08
1.4. Definición de accidente químico.	08
1.4.1. Algunas maneras de clasificar los accidentes químicos.	09
1.5. Causas de los accidentes.	10
1.5.1. Variación en el flujo.	11
1.5.2. Variación en la presión.	12
1.5.3. Variación en la temperatura.	13
1.5.4. Corrosión.	14
1.5.5. Tuberías, accesorios, y válvulas.	14
1.5.6. Instrumentación y control.	15
1.6. Efectos en la salud de la población por explosiones, incendios y emisión de sustancias tóxicas.	16
1.6.1. Daños ocasionados por las explosiones.	16
1.6.2. Daños ocasionados por los incendios.	17
1.6.3. Impacto de la formación de “bolas de fuego”.	17
1.6.3.1. BLEVE.	18
1.6.3.2. Rebosamientos de líquidos combustibles.	19
1.6.4. Consecuencia de Nubes Explosivas.	19
1.6.5. Consecuencia de Nubes inflamables.	19
1.6.6. Consecuencia del escape de gases tóxicos.	20
1.7. Reacciones fuera de control runaway.	20
1.8. Identificación de instalaciones industriales que manejan sustancias peligrosas.	21
1.9. Costos de los accidentes.	21

## **CAPÍTULO II**

<b>2. ANÁLISIS DE RIESGOS</b>	<b>24</b>
2.1. Concepción de análisis de riesgos.	25
2.2. Objetivos del análisis de riesgos.	26
2.3. Tipos de análisis de riesgos.	27
2.4. Etapas del análisis de riesgos.	27
2.5. Criterios para definir el nivel de riesgo.	28
2.6. Análisis de consecuencias.	29
2.7. La comunicación de riesgos.	30
2.8. Tipos de riesgos a considerar.	30
2.9. Identificación de peligros.	31
2.10. Evaluación de riesgos.	31
2.11. Análisis de peligros y operabilidad (HAZOP).	32
2.11.1. Descripción y objetivo.	32
2.12. Matriz de índice y clase de riesgos empleada para el análisis de peligros y operabilidad (HAZOP).	37
2.13. Análisis por árboles de fallos.	38
2.13.1. Descripción y objetivo.	38
2.14. Análisis por árboles de eventos.	41
2.14.1. Procedimiento de análisis.	41

## **CAPÍTULO III**

<b>3. APLICACIÓN DEL ANÁLISIS HAZOP, ANÁLISIS POR ÁRBOLES DE FALLOS Y ANÁLISIS POR ÁRBOLES DE EVENTOS</b>	<b>46</b>
3.1. Surfactantes Biodegradables.	47
3.2. Clasificación de los detergentes.	47
3.2.1. Aniónicos.	47
3.2.2. Catiónicos.	47
3.2.3. No iónicos.	48
3.2.4. Anfóteros.	48
3.3. Detergentes sintéticos.	48
3.4. Descripción del proceso de detergente biodegradable.	50
3.5. Aplicación del estudio HAZOP a la planta de detergente biodegradable.	62
3.5.1. Análisis de estudio HAZOP para el nodo 1.	63
3.5.2. Análisis de estudio HAZOP para el nodo 2.	69
3.5.3. Análisis de estudio HAZOP para el nodo 3.	74

3.5.4. Análisis de estudio HAZOP para el nodo 4.	83
3.5.5. Análisis de estudio HAZOP para el nodo 5.	95
3.5.6. Análisis de estudio HAZOP para el nodo 6.	104
3.5.7. Análisis de estudio HAZOP para el nodo 7.	112
3.5.8. Análisis de estudio HAZOP para el nodo 8.	122
3.5.9. Análisis de estudio HAZOP para el nodo 9.	128
3.6. Aplicación del Análisis por Árboles de Fallos y Análisis por Árboles de Eventos.	134
3.6.1. Árbol de fallos del tramo 1 nodo 3 donde fluye el SO <sub>2</sub> .	136
3.6.2. Árbol de eventos del tramo 1 nodo 3 donde fluye el SO <sub>2</sub> .	137
3.6.3. Árbol de fallos del tramo 2 nodo 3 donde fluye el SO <sub>2</sub> .	138
3.6.4. Árbol de eventos del tramo 2 nodo 3 donde fluye el SO <sub>2</sub> .	139
3.6.5. Árbol de fallos del tramo 3 nodo 3 y 4 donde fluye el SO <sub>2</sub> .	140
3.6.6. Árbol de eventos del tramo 3 nodo 3 y 4 donde fluye el SO <sub>2</sub> .	141
3.6.7. Árbol de fallos del tramo 1 nodo 4 donde fluye el SO <sub>3</sub> .	142
3.6.8. Árbol de eventos del tramo 1 nodo 4 donde fluye el SO <sub>3</sub> .	143
3.6.9. Árbol de fallos del tramo 2 nodo 4 donde fluye el SO <sub>3</sub> .	144
3.6.10. Árbol de eventos del tramo 2 nodo 4 donde fluye el SO <sub>3</sub> .	145
3.6.11. Árbol de fallos del tramo 3 nodo 4 y 5 donde fluye el SO <sub>3</sub> .	146
3.6.12. Árbol de eventos del tramo 3 nodo 4 y 5 donde fluye el SO <sub>3</sub> .	147
3.6.13. Árbol de fallos del tramo 4 nodo 5 y 6 donde fluye el SO <sub>3</sub> .	148
3.6.14. Árbol de eventos del tramo 4 nodo 5 y 6 donde fluye el SO <sub>3</sub> .	149
3.6.15. Árbol de fallos del tramo 5 nodo 5 y 7 donde fluye el SO <sub>3</sub> .	150
3.6.16. Árbol de eventos del tramo 5 nodo 5 y 7 donde fluye el SO <sub>3</sub> .	151

## **CAPÍTULO IV**

<b>4. SIMULACIÓN DEL EVENTO DE FUGA</b>	<b>152</b>
4.1. Modelos de simulación.	153
4.2. Características de un modelo de simulación.	154
4.3. Modelos de simulación de consecuencias de accidentes con sustancias peligrosas.	155
4.4. Descripción del simulador utilizado.	155
4.4.1. Estabilidad atmosférica.	156
4.5. Datos que se ingresaron al simulador.	158

## **CAPÍTULO V**

<b>5. ANÁLISIS DE RESULTADOS</b>	<b>160</b>
5.1. Resultados para el Hazop.	161
5.1.1. Resultados del estudio Hazop para el nodo 1.	161
5.1.2. Resultados del estudio Hazop para el nodo 2.	161
5.1.3. Resultados del estudio Hazop para el nodo 3.	161
5.1.4. Resultados del estudio Hazop para el nodo 4.	162
5.1.5. Resultados del estudio Hazop para el nodo 5.	162
5.1.6. Resultados del estudio Hazop para el nodo 6.	163
5.1.7. Resultados del estudio Hazop para el nodo 7.	163
5.1.8. Resultados del estudio Hazop para el nodo 8.	163
5.1.9. Resultados del estudio Hazop para el nodo 9.	164

5.2. Resultados para el árbol de eventos.	164
5.2.1. Resultados del árbol de eventos del tramo 1 nodo 3 donde fluye el SO <sub>2</sub> .	164
5.2.2. Resultados del árbol de eventos del tramo 2 nodo 3 donde fluye el SO <sub>2</sub> .	164
5.2.3. Resultados del árbol de eventos del tramo 3 nodo 3 y 4 donde fluye el SO <sub>2</sub> .	165
5.2.4. Resultados del árbol de eventos del tramo 1 nodo 4 donde fluye el SO <sub>3</sub> .	165
5.2.5. Resultados del árbol de eventos del tramo 2 nodo 4 donde fluye el SO <sub>3</sub> .	165
5.2.6. Resultados del árbol de eventos del tramo 3 nodo 4 y 5 donde fluye el SO <sub>3</sub> .	165
5.2.7. Resultados del árbol de eventos del tramo 4 nodo 5 y 6 donde fluye el SO <sub>3</sub> .	165
5.2.8. Resultados del árbol de eventos del tramo 5 nodo 5 y 7 donde fluye el SO <sub>3</sub> .	165
5.3. Resultados de la simulación del riesgo.	166
5.3.1. Resultados en las tuberías del evento de fuga en un estado continuo.	166
5.3.2. Resultados en las tuberías del evento de fuga en un estado instantáneo.	171
5.3.3. Tablas de resultados en las tuberías del evento de fuga para un estado continuo.	175
5.3.4. Tablas de resultados en las tuberías del evento de fuga para un estado instantáneo.	176
<b>CONCLUSIONES</b>	178
<b>RECOMENDACIONES</b>	180
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	182
<b>GLOSARIO</b>	185
<b>ANEXOS</b>	189



En el presente proyecto de tesis se realizaron tres estudios de análisis de riesgos a un proceso de producción de detergente biodegradable, estos son el análisis de peligros y operabilidad (Hazop), el análisis de árboles de fallos, el análisis de árboles de eventos y un estudio de simulación de fuga de dos gases.

La información requerida para la realización de estos estudios fue recabada dentro la misma planta de proceso y mediante la revisión de la bibliografía. Posteriormente se dividió el proceso en 9 nodos para su estudio.

Para el desarrollo del estudio Hazop se trabajó en sesiones de 5 horas por día durante 12 semanas, para el Árbol de fallas 3 horas diarias a lo largo de 3 semanas, para el Árbol de sucesos 3 horas durante 3 semanas y finalmente en la simulación de una fuga de gas se trabajó en sesiones de 2 horas diarias a lo largo de 2 semanas. En total se estudiaron 19 equipos.

Para la simulación del evento de fuga se empleó el programa CHARM (Chemical Hazardous Air Release Model) el cual es un programa de modelación aprobado por la Agencia de Protección Ambiental de los E.U.A. (EPA), el cual es muy útil en la evaluación del impacto de liberaciones accidentales.

De los resultados obtenidos se concluye que este proceso puede llegar a tener problemas de riesgo en un lapso de tiempo de 10 a 32 años, teniendo con ello pérdidas económicas de producción entre \$ 10,000 a \$ 100,000 USD, sin contar con los datos dados por el simulador en la explosión del  $\text{SO}_3$  donde afectaría seriamente a otras zonas aledañas a la empresa por lo que los costos ascenderían a más de \$1,000,000 USD.



Las actividades industriales, involucran la producción, de diferentes compuestos químicos por lo que existe el riesgo potencial inherente de que ocurra algún accidente en algunas de las etapas de producción; y como consecuencia una liberación no controlada ó la presencia de un incendio ó explosión que pueda dañar a la población, al ambiente y a las propiedades.

Si por otra parte, se considera la encuesta citada por la fundación española MAPFRE (siglas históricas de la Mutua de la Agrupación de Propietarios de Fincas Rústicas de España, forma jurídica original de la empresa), en la que señala que la mayoría de la población considera a todos los productos químicos como peligrosos y, dos de cada tres norteamericanos esperan un accidente catastrófico en la industria química, puede apreciarse que aún cuando la industria química tiene una proporción de accidentes inferior al de otras actividades, la percepción del público en general, es de que se trata de una actividad de riesgo; razón por la cual es de suma importancia que las industrias en este ramo consideren en sus programas, estrategias para conocer la percepción del riesgo de las comunidades con las que conviven, así como el diseño de instrumentos que les permitan transmitir hacia el exterior las acciones que llevan a cabo para la prevención y control de los riesgos que representan sus procesos y operaciones productivas, con lo que se lograría modificar una percepción errónea sobre sus instalaciones y valorar los peligros en su justa dimensión.

Las experiencias de tragedias ocurridas en el pasado demuestran la necesidad de que trabajadores, industria, ciudadanos, organizaciones no gubernamentales y autoridades; trabajen en equipo para prevenir y reducir los riesgos a la salud e integridad humana, al ambiente y a los bienes materiales; así como para planear la respuesta eficiente y oportuna a las emergencias que pueden derivarse de la liberación de sustancias químicas.

En México, los accidentes ocurridos en los últimos años, como la fuga de fosgeno en Poza Rica, Ver., en 1950; el incendio y derrame de petróleo del Pozo Ixtoc en la Sonda de Campeche en 1979; la explosión de gas propano en San Juan Ixuatepec, Estado de México en 1984; el incendio de la empresa de agroquímicos Anaversa en Córdoba, Ver., en 1991; la explosión ocurrida en el drenaje de la Ciudad de Guadalajara, Jal., en abril de 1992; la explosión con etano plus en el Complejo Procesador de Gas en Reforma, Chis., en 1996 y el incendio de la terminal de Pemex, Satélite Norte, ubicada en San Juan Ixhuatepec, Estado de México en 1996; dan una idea clara de las enormes proporciones que puede tomar una emergencia asociada con sustancias peligrosas, cuyas consecuencias en la mayor parte de los casos, se traducen en pérdidas humanas, afectaciones al medio ambiente y/o pérdidas materiales; cuando no se toman las medidas de prevención apropiadas y no se está preparado para responder rápida y eficazmente ante esta clase de eventos.

Del análisis de la información estadística disponible; se hace un diagnóstico general a continuación, de lo que sucede en México con relación a los daños, asociados con sustancias químicas:

Se puede decir que anualmente se registran en México un promedio de 521 emergencias ambientales relacionadas con sustancias químicas.

Por otro lado, en los estados de Tabasco, Veracruz, Campeche, Guanajuato, Chiapas y Coahuila se presentaron más del 50% de las emergencias, concentrándose en Tabasco alrededor del 20% del total a nivel nacional. Esto se debe a que, con excepción de Guanajuato y Coahuila, en ellos se concentra la mayor actividad petrolera, que provoca un gran movimiento de crudo y sus derivados.

En el estado de Guanajuato, por su posición geográfica, se tiene un gran flujo de vehículos que transportan sustancias químicas. En el de Coahuila el mayor número de emergencias ocurrió en el transporte de sustancias químicas, aunque también se tuvieron en plantas industriales.

En función del tipo y ubicación de las emergencias, se puede observar en los gráficos I y II, que las más frecuentes fueron las fugas (gases) y derrames (líquidos), habiéndose presentado en más del 80% de los casos, siguiéndole en orden de importancia, los incendios, las explosiones y otro tipo de eventos.

Es importante destacar que la mayor parte de estos eventos están constituidos por derrames; lo cual reviste especial importancia, ya que en general los productos derramados afectan al suelo y posiblemente al subsuelo, aguas subterráneas y cuerpos de agua superficiales. En el caso de fugas de sustancias peligrosas, aunque estas también pueden afectar a los recursos naturales, la principal preocupación radica en el riesgo que representan para la integridad y salud de las poblaciones, dada la posible rapidez con que pueden propagarse a distancia, abarcando extensiones que pueden ser significantes como nubes tóxicas, inflamables y/o explosivas.

Grafico I. Localización de las emergencias (1993-2002)

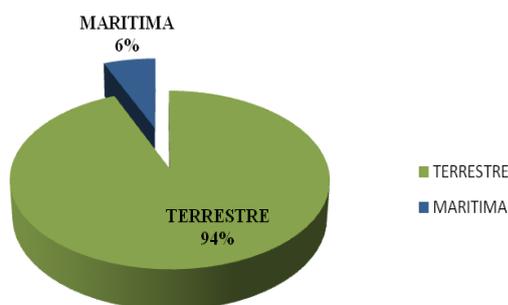
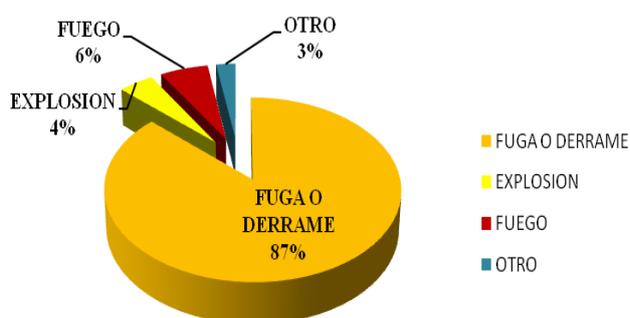


Grafico II. Tipo de emergencias (1993-2002)



Fuente: Centro de Orientación para la Atención de Emergencias (COATEA)/PROFEPA.

En cuanto al lugar de origen, la mayor parte de las emergencias con sustancias químicas ocurren durante el transporte y en menor medida en instalaciones industriales fijas.

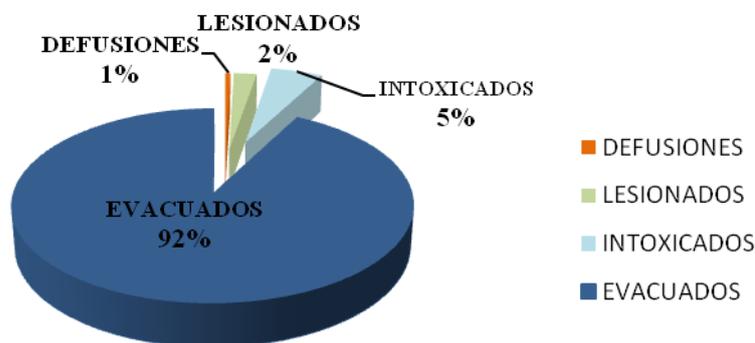
Por otra parte, las emergencias ocurridas en México han ocasionado diversos daños lamentablemente a la población. En este sentido, durante el periodo 1993-2002 se produjeron 485 defunciones producto de 4,851 emergencias ocurridas.

También, se provocó un total de 2,227 personas heridas ó lesionadas en algún grado; 5,081 personas intoxicadas y 94,070 personas tuvieron que ser evacuadas de sus domicilios (grafico III).

Los costos que origina la movilización de tal cantidad de personas son significantes, sin contar los asociados con pérdidas de fuentes de empleo, reparación de servicios como energía eléctrica, agua, drenaje pavimento, entre otros.

En el presente trabajo se muestra que la rama de fabricación de jabones y detergentes se incluye en el sector industrial químico por lo que para su elaboración de este último se involucran sustancias con características CRETIB (Corrosivo, Reactivo, Explosivo, Tóxico, Inflamable y Biológico infeccioso), como son: azufre líquido, oxígeno, dióxido de azufre, trióxido de azufre, hidróxido de sodio, y como un producto terminado el ácido dodecibencen sulfónico, el catalizador pentaóxido de vanadio y además como residuo tenemos al ácido sulfúrico.

Grafico III. Daños a la población derivados de las emergencias asociadas con sustancias químicas (1993-2002).



Fuente: Centro de Orientación para la Atención de Emergencias (COATEA)/PROFEPA

Algunas de estas sustancias son utilizadas como materias primas para la obtención del detergente biodegradable, por lo que se tienen que evaluar los riesgos debiendo comenzar por identificar los peligros asociados a los productos químicos que se manejan en el establecimiento (toxicidad, reactividad, inflamabilidad, etc.), a las condiciones de proceso necesarias (presiones, temperaturas, etc.), a las operaciones habituales (cargas/descargas, paradas, puestas en marcha, etc.), al emplazamiento (presencia de instalaciones próximas, tráfico, clima y sismicidad de la zona, etc.).

Por estas razones es importante determinar los posibles riesgos en las áreas del proceso, mediante la metodología Hazop, por el análisis de árboles de fallos y el análisis de árboles de eventos ya que estos estudios de riesgo son métodos recomendados para identificar los peligros y problemas que impiden un funcionamiento eficiente; además con la ayuda de la simulación se arrojarían datos más específicos sobre cómo se comportarían los posibles escenarios en caso de que ocurriera un accidente. Y con esto tener una idea para minimizar los riesgos hacia el personal que labora para estas empresas, las instalaciones y por consiguiente a las zonas aledañas y al ambiente.

Por lo que en el actual trabajo se tiene el siguiente objetivo general:

- ◆ Analizar el proceso del detergente biodegradable, y aplicar las metodologías de análisis de riesgo: Hazop, árbol de fallos, árbol de eventos y mediante la simulación de un evento de fuga de gas, identificando los riesgos potenciales para encontrar el nivel de riesgo de la empresa que se pueden presentar hacia el personal, a las instalaciones, a los alrededores y al ambiente.

Además teniendo en cuenta los siguientes objetivos particulares:

- ◆ Analizar el proceso del detergente biodegradable.
- ◆ Una vez comprendido el proceso del detergente identificar las zonas de riesgo dentro del proceso, aplicando la metodología Hazop.
- ◆ Identificar las posibles causas que provocarían un evento de fuga, con ayuda del árbol de fallos y del árbol de eventos.
- ◆ Con ayuda de un simulador identificar las consecuencias que existiesen por un evento de fuga.

---

C  
A  
P  
Í  
T  
U  
L  
O

1

**GENERALIDADES**

---

## 1.- GENERALIDADES

### 1.1. DEFINICIÓN DE PELIGRO

En la literatura se pueden encontrar muchas definiciones de peligro y las que más destacan son las siguientes:

- ◆ El Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED): Peligro se define como “la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno potencialmente dañino de cierta intensidad, durante un cierto periodo de tiempo y en un sitio dado”.
- ◆ Para la Secretaría del Trabajo y Prevención Social, la NOM-018-STPS-2000: Peligro “es la capacidad intrínseca de una sustancia química para generar un daño”.
- ◆ Y de acuerdo con el Instituto Nacional de Ecología (INE): Peligro “es una propiedad inherente ó intrínseca de las sustancias ó agentes biológicos contenidos en los residuos, que les dota de características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables ó infecciosas”.

De estas definiciones la que se asume más a este trabajo es la definición del CENAPRED.

### 1.2. DEFINICIÓN DE RIESGO

Al igual que el concepto de peligro en la literatura pueden encontrarse diferentes definiciones de lo que se considera riesgo y las que más destacan son las siguientes:

- ◆ El Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED): En términos cualitativos, se entiende por Riesgo “la probabilidad de ocurrencia de daños, pérdidas ó efectos indeseables sobre sistemas constituidos por personas, comunidades ó sus bienes, como consecuencia del impacto de eventos ó fenómenos perturbadores”.
- ◆ De acuerdo con la Secretaría del Trabajo y Prevención Social, la NOM-018-STPS-2000: Riesgo “es la probabilidad y magnitud de que una sustancia química peligrosa afecte la salud de los trabajadores ó dañe al centro de trabajo”.
- ◆ Además la Secretaría de Salud, la NOM-128-SSA1-1994: Riesgo “es la probabilidad potencial de que un factor biológico, químico ó físico, cause un daño a la salud del consumidor”.
- ◆ Por otro lado el Instituto Nacional de Ecología (INE): Riesgo se define como “la probabilidad de que un residuo peligroso produzca un efecto adverso ó dañino en función de la exposición”.

De estas definiciones la que se asume más a este trabajo es la definición del CENAPRED.

La probabilidad de ocurrencia de tales eventos en un cierto sitio ó región constituye una amenaza, entendida como una condición latente de posible generación de eventos perturbadores.

En forma cuantitativa se ha adoptado una de las definiciones más aceptadas del riesgo, entendido como la función de tres factores: la probabilidad de que ocurra un fenómeno potencialmente dañino, es decir el peligro, la vulnerabilidad y el valor de los bienes expuestos. Esta definición se expresa en la ecuación siguiente:

$$\text{Riesgo} = f(\text{Peligro "Amenaza", Vulnerabilidad, Exposición}) \quad \text{Ecuación 1.1.}$$

$$R = f(P, V, E)$$

### 1.2.1. CLASIFICACIÓN DE RIESGO

Debido a la gran variedad de riesgos, se han propuesto diversas clasificaciones; desde un punto de vista general, se pueden clasificar en las tres categorías siguientes:

- ◆ Riesgo de categoría A: Son los inevitables y aceptados, sin compensación (por ejemplo morir fulminado por un rayo).
- ◆ Riesgo de categoría B: Evitables, en principio, pero que deben considerarse inevitables si uno quiere integrarse plenamente en la sociedad moderna (por ejemplo morir en un accidente aéreo ó de automóvil).
- ◆ Riesgo de categoría C: Normalmente evitables, voluntarios y con compensación (por ejemplo practicar un deporte peligroso).

Desde el punto de vista más concreto de las actividades industriales, los riesgos pueden clasificarse en otras tres categorías:

- ◆ Riesgos convencionales: Relacionados con la actividad y el equipo existentes en cualquier sector (electrocución, caídas).
- ◆ Riesgos específicos: Asociados a la utilización ó manipulación de productos que, por su naturaleza, pueden ocasionar daños (productos tóxicos, radiactivos).
- ◆ Riesgos mayores: Relacionados con accidentes y situaciones excepcionales. Sus consecuencias pueden presentar una especial gravedad ya que la rápida expulsión de productos peligrosos ó de energía podría afectar a áreas considerables (escape de gases, explosiones).

### 1.2.2. RIESGO AMBIENTAL

En sentido estricto el riesgo ambiental es el impacto ambiental potencial, cuando a sus componentes de magnitud e importancia se añade la probabilidad de que efectivamente se produzca. Sin embargo en la práctica el término “riesgo ambiental” esta relacionado con la noción de peligro (fuente u origen de daños potenciales) y se utiliza para referirse a aquellos impactos negativos de probabilidad relativamente baja derivados de accidentes, fallos y catástrofes, y a los que algunos autores denominan “riesgo episódicos”.

Aunque nos referiremos a este tipo de riesgos imprevistos, existen también riesgos que podrían denominarse “latentes”, que dan lugar a impactos extensos y de baja intensidad, como los derivados de la contaminación difusa ó de la utilización generalizada de sustancias químicas.

A continuación se presentan una serie de ejemplos de riesgos episódicos y latentes que pretenden ilustrar el concepto de riesgo ambiental.

Riesgos episódicos:

- ◆ Accidentes en las actividades energéticas, industriales y mineras (accidentes mayores).
- ◆ Accidentes relacionados con el transporte (especialmente de residuos y sustancias peligrosas), bien mediante vehículos (móviles) ó mediante conducciones e instalaciones fijas.
- ◆ Accidentes y fallos de infraestructura (presas) y edificaciones (especialmente si albergan residuos y sustancias peligrosas).
- ◆ Peligros naturales: terremotos, inundaciones, vientos huracanados, riesgos geológicos, riesgos climáticos.
- ◆ Riesgos de incendio de la vegetación.
- ◆ Epidemias.

Riesgos latentes:

- ◆ Contaminación difusa ó emisión de sustancias químicas.
- ◆ Contaminación genérica (organismos modificados genéticamente).

### 1.3. FIABILIDAD HUMANA

Los errores humanos se presentan durante toda la vida útil de los sistemas, desde su diseño hasta el final de su vida útil. En la vida diaria constatamos que nuestros errores son casi continuos y, de hecho, aceptamos que es cierta la frase de "errar es humano". Como dijo hace 2000 años el orador romano Cicerón: y seguido " Está en la naturaleza del hombre cometer errores".

Los fallos del hombre en el manejo de situaciones típicas en los procesos industriales son diversos y depende mucho del entrenamiento y de la experiencia del operador ante situaciones difíciles. Deben considerarse durante toda la vida de la planta, en las fases de diseño (criterios ergonómicos de accesibilidad, espacio, etc.), fabricación y construcción (manuales de control de calidad), puesta en marcha (entrenamiento, procedimientos de arranque y ante accidentes ), y operación (es la fase más importante en la que se han dedicado más esfuerzos a la interfase hombre-máquina: reglas de operación en cualquier situación, control de calidad, entrenamiento y selección de operadores y problemas de comunicación).

En el resto de las industrias se presenta una creciente atención a la fiabilidad humana pues, aparte de conducir la planta a situaciones de peligro, pueden causar pérdidas del producto importantes. El término fiabilidad humana (human reliability) es la probabilidad de que una persona realice correctamente una tarea ó actividad durante un tiempo dado, sin que ningún error pueda degradar el sistema. Esta probabilidad se denomina probabilidad de error humano (human error probability ó HEP).

El error humano se presenta cuando el comportamiento humano ó su influencia sobre el sistema excede el límite de aceptabilidad, es decir cuando realiza acciones incorrectas. Éste límite de aceptabilidad debe definirse claramente, así como los factores capaces de influir en el comportamiento del hombre.

El hombre presenta un alto grado de variabilidad en su comportamiento. Su contribución a los fallos generales es del orden del 10%, mientras que contribuye a los accidentes importantes en un 50-80%.

#### 1.3.1. TIPOS DE OPERACIONES

En las operaciones que realice el hombre dentro del entorno de trabajo pueden presentarse los siguientes fallos:

- ◆ Fallos de omisión. Olvido de alguna acción para efectuar en el proceso.
- ◆ Fallos de comisión. Consisten en realizar mal alguna acción.
- ◆ Fallos de tiempo a corto ó a largo plazo.
- ◆ Fallos de interpretación. Lectura inversa de la real indicada en los instrumentos.

### 1.4. DEFINICIÓN DE ACCIDENTE QUÍMICO

Un accidente químico se puede definir como la ocurrencia de un evento mayor ya sea fuga, derrame, incendio ó explosión de una ó más sustancias químicas peligrosas, como resultado de una situación fuera de control dentro de las actividades industriales normales de almacenamiento, transporte ó procesamiento, que ocasionan un daño serio a las personas, el ambiente y las instalaciones de manera inmediata ó a largo plazo. Generalmente las diferentes zonas industriales del país están rodeadas de centros de población cuyos habitantes están expuestos a las consecuencias derivadas de un accidente químico. Cuando existe liberación de una ó más sustancias peligrosas ó se forman compuestos peligrosos como producto de la combustión en el caso de un incendio, la exposición de la población a estas sustancias puede provocar una enfermedad ó la posibilidad de ésta en el corto tiempo por exposición aguda; siendo a veces reducido el número de personas afectadas. Sin embargo, puede haber enfermedad, incapacidad ó muerte en un lapso considerable inclusive de años, aumentando de esta manera el número real de afectados como consecuencia del accidente.

En algunas ocasiones también se presenta contaminación del agua y del suelo, introduciéndose los contaminantes a la cadena alimenticia de manera que pueden afectar a poblaciones más alejadas del sitio donde ocurre el accidente por el consumo de alimentos ó agua contaminada, aumentando el número de afectados tiempo después de sucedido el evento.

La afectación debido a un accidente químico depende de diversos factores como: La sustancia química involucrada, la cantidad de sustancia liberada, la distancia y distribución de los asentamientos humanos alrededor de la empresa, la dirección y velocidad del viento, las condiciones climatológicas, la existencia y efectividad de equipo de control y combate de la emergencia, y la existencia de personal capacitado para atender el evento.

#### 1.4.1. ALGUNAS MANERAS DE CLASIFICAR LOS ACCIDENTES QUÍMICOS

Desde la perspectiva de la salud, existen varias maneras de clasificar los accidentes químicos, de las cuales ninguna es completa ó mutuamente excluyente. Por ejemplo, la clasificación podría basarse en: la(s) sustancia(s) química(s) involucrada(s), la cantidad, forma física, y dónde y cómo ocurrió la fuga; las fuentes de la liberación; la extensión del área contaminada; el número de personas expuestas ó con riesgo; las vías de exposición; y las consecuencias médicas ó de salud de la exposición, ver figura 1.1.

##### A) *SUSTANCIAS INVOLUCRADAS*

Las sustancias involucradas en un accidente pueden agruparse de acuerdo a si son:

- ◆ Sustancias peligrosas (por ejemplo, explosivos, líquidos ó sólidos inflamables, agentes oxidantes, sustancias tóxicas ó corrosivas).
- ◆ Aditivos, contaminantes y adulterantes (por ejemplo, el agua potable, bebidas y alimentos, medicamentos y bienes de consumo).
- ◆ Productos radioactivos.

La clasificación según la cantidad del agente químico liberado debería tomar en cuenta sus propiedades peligrosas (por ejemplo, un kilo de cianuro es más peligroso que un kilo de gas clorado).

##### B) *FUENTES DE LA LIBERACIÓN*

Las liberaciones pueden originarse por la actividad humana, ó tener un origen natural.

- ◆ Las fuentes antropogénicas incluyen manufactura, almacenamiento, manejo, transporte (ferrocarril, carretera, agua y tubería) uso y eliminación.
- ◆ Las fuentes de origen natural incluyen entre otras actividades geológicas, la volcánica, toxinas de origen animal, vegetal y microbiano, incendios naturales y minerales.

##### C) *EXTENSIÓN DEL ÁREA CONTAMINADA*

Los accidentes podrían clasificarse de acuerdo a sí:

- ◆ Fueron contenidos dentro de una instalación y no afectaron a nadie en el exterior.
- ◆ Afectaron únicamente la vecindad inmediata de una planta.
- ◆ Afectaron una zona extensa alrededor de una instalación; ó
- ◆ Se dispersaron mucho.

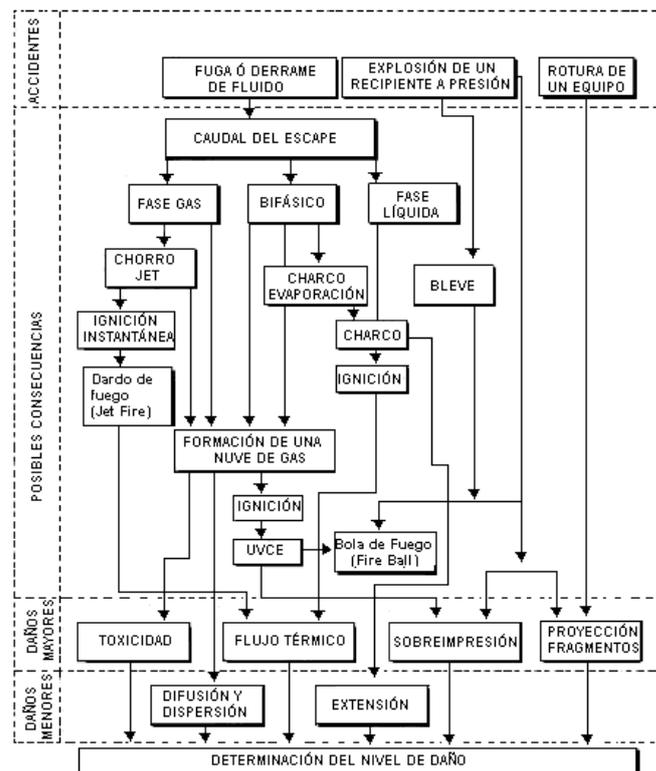


Figura 1.1. Árbol de posibles accidentes químicos.

#### D) NÚMERO DE PERSONAS EXPUESTAS Ó CON RIESGO

Los accidentes químicos podrían clasificarse por el número de personas afectadas, calculado en términos de muertes, lesiones, y/o evacuados. Sin embargo, la gravedad de un accidente químico no puede determinarse únicamente sobre esta base. Al valorar su gravedad, se deben tomar en cuenta todas las circunstancias y consecuencias conocidas.

#### E) VÍAS DE EXPOSICIÓN

Desde la perspectiva de salud, las vías de exposición podrían ser un medio para clasificar los accidentes químicos. Existen cuatro principales vías directas de exposición:

- ◆ Inhalación.
- ◆ Exposición ocular.
- ◆ Contacto con la piel.
- ◆ Ingestión.

Ninguna de estas vías de exposición es mutuamente excluyente.

### 1.5. CAUSAS DE LOS ACCIDENTES

Los accidentes dependen, en gran medida, de las siguientes variables:

- ◆ Flujo,
- ◆ Presión y
- ◆ Temperatura.

A lo cual se suman otros factores tales como:

- ◆ La corrosión.
- ◆ Tuberías, accesorios, y válvulas.
- ◆ La instrumentación y el control.

### 1.5.1. VARIACIÓN EN EL FLUJO

En este punto se explora el papel del flujo de fluidos en los eventos de procesos que pueden conducir a liberaciones accidentales de sustancias químicas tóxicas, y los controles de riesgos de flujo.

Los riesgos asociados con el flujo de proceso de participación de las desviaciones que hacen que el flujo sea demasiado bajo, demasiado alto, invertido, ó fluctuante. Los cambios en el flujo pueden ser causados por cambios de presión, ó por cambios en la resistencia al flujo en tuberías ó en otros equipos.

Algunas de las causas y los riesgos de pérdida de control de flujo se discuten a continuación.

#### 1.- FLUJO BAJO

Puede ser interrumpido ó reducido por factores relacionados con el proceso, el equipo ó las operaciones. Estos factores pueden actuar independientemente ó en combinación, e incluyen: (a) bloqueo, (b) bloqueo de vapor, (c) la cavitación en las bombas, (d) fallas mecánicas de los motores principales, y (e) las fugas.

- a) El bloqueo puede ocurrir debido a obstrucciones físicas como la suciedad, ó depósitos que se acumulan con el tiempo. Estos incluyen los productos de la corrosión y la erosión.

Las válvulas de control, dispositivos automáticos que, a veces se pueden atascar en su totalidad ó en la posición parcialmente cerrada, debido a condiciones tales como la acumulación de suciedad en el tallo, ó un fallo mecánico en el activador.

- b) El bloqueo de vapor puede ocurrir cuando un gas ó vapor se acumula en línea u otro espacio los equipos de proceso para que la presión de vapor superior a la carga de presión disponibles para el flujo. El flujo de líquido a través de los equipos de la línea puede ser restringido ó detenido.
- c) La cavitación en equipos de bombeo puede ocurrir cuando un líquido se encuentra cerca de su punto de ebullición ó contiene un gas disuelto. Si la presión de succión de una bomba cae lo suficientemente baja, el gas disuelto puede ser liberado de repente ó el líquido puede hervir, atrapando a una burbuja de vapor en la bomba que hace que la bomba pierda succión y el flujo.

El bajo flujo en una bomba puede causar un sobrecalentamiento y fallos de la bomba.

- d) Fallas mecánicas en los motores primarios, tales como bombas y compresores, son causas evidentes de flujo bajo. Estas fallas mecánicas incluyen cortes de electricidad, así como la rotura real de los componentes mecánicos.
- e) Fuga de aguas arriba en un sistema de flujo de líquido puede causar deficiencia de aguas abajo.

#### 2.- EXCESO DE FLUJO

La principal causa de exceso de flujo es una válvula abierta que, ó bien debe ser parcial ó totalmente cerrados. Los siguientes son algunos de los riesgos típicos asociados con el exceso de flujo.

- ◆ El exceso de flujo de un medio de refrigeración puede provocar los mismos problemas que el flujo deficiente de un medio de calefacción.
- ◆ El exceso de flujo de un medio de calefacción puede provocar los mismos problemas que el flujo deficiente de un medio de enfriamiento.

- ◆ Al igual que con el flujo bajo, lo que incorrectamente puede dar lugar a relaciones de reactivo, exotérmicos en exceso, y las presiones en los equipos de proceso caliente.
- ◆ El llenado excesivo de los tanques puede provocar el exceso de flujo si no se detecta y se detiene a tiempo.

### 3.- FLUJO INVERSO

El flujo inverso puede ocurrir cuando la presión aguas abajo excede la presión de entrada. Una causa común de flujo inverso es un fallo de la bomba, ó el fracaso de un sistema de transporte de fluidos a presión directa. Algunos peligros típicos de flujo inverso son los siguientes: El flujo inverso puede dar lugar a productos químicos no deseados ó reacciones físicas. Una reacción exotérmica inesperada en un tanque de almacenamiento ó de proceso de flujo de retorno de los reactivos es un ejemplo de un riesgo de reacción química.

### 4.- FLUCTUACIÓN DEL FLUJO

Las fluctuaciones de flujo pueden ser causadas por una variedad de condiciones. Principalmente por motores de pistón, tales como bombas de pistones inherentemente generan un flujo fluctuante, pero los procesos de uso de tales dispositivos son diseñados para adaptarse a las fluctuaciones, ó tienen amortiguadores especiales para reducir las fluctuaciones. El flujo fluctuante puede ser un peligro cuando es involuntario. Algunas causas comunes no intencionales de las fluctuaciones de flujo incluyen la cavitación en las bombas centrífugas y mal sintonizadas.

#### 1.5.2. VARIACIÓN EN LA PRESIÓN

La presión es la fuerza impulsora para el flujo, por lo que es la fuerza motriz en cualquier exposición química. El control de la presión es fundamental para la prevención de las emisiones de sustancias químicas accidentales. La sobrepresión y la falta de presión pueden aumentar la probabilidad de una liberación accidental de sustancias químicas. La sobrepresión puede provocar la apertura de un dispositivo de alivio, lo que permite un producto químico tóxico para entrar en el medio ambiente. Las consecuencias potenciales van desde una versión pequeña de materiales peligrosos a través de las fugas a una gran liberación súbita a través del fracaso total y rápido de la contención.

La presión también puede afectar la química del proceso. Las Alteraciones en la presión para un proceso sensible a la presión a veces pueden resultar en la formación de productos inestables ó incompatibles, que podrían contribuir a la perturbación de la presión y el resultado en la liberación de sobrepresión accidental.

Tres acontecimientos relacionados con el proceso primario pueden llevar a la pérdida de control de presión:

- (1) La expansión térmica, (2) la generación de un exceso de material, y (3) la restricción del flujo.

#### 1.- LA EXPANSIÓN TÉRMICA

Esta puede ser causada por una pérdida del control de temperatura ó por exceso de calor debido a una alta velocidad de la reacción. La pérdida de control de la temperatura puede ser causada por un mal funcionamiento en los sistemas de enfriamiento y calentamiento, ó la transferencia de calor insuficiente debido a la insuficiencia de mezcla ó contaminación de las superficies de transferencia de calor. La pérdida de control de velocidad de reacción puede ser causada por una pérdida de flujo, temperatura, control de la composición, ó de una mezcla inadecuada.

## 2.- LA GENERACIÓN DE UN EXCESO DE MATERIAL

Se puede producir a partir de reacciones en cadena ó una intermitente no controlada de los líquidos de contacto repentino con altas temperaturas.

## 3.- LA RESTRICCIÓN DEL FLUJO

Se producen como consecuencia de la suciedad, el enfriamiento, el cierre de la válvula, ó el bloqueo físico puede conducir a un exceso de presión aguas arriba de la restricción.

En muchos de los casos, los errores de procesos antes mencionados son causados por un fallo mecánico en el equipo. Estos errores pueden ser el resultado de que se supere la capacidad de diseño, el diseño inadecuado, el mal mantenimiento, los equipos defectuosos, falla por debilidad ó corrosión.

Una pérdida de control de la presión puede ocurrir como resultado de fallas fundamentales de diseño, funcionamiento y prácticas de mantenimiento deficientes ó insuficiente formación de los operarios, especialmente en respuesta a las condiciones de funcionamiento.

### 1.5.3. VARIACIÓN EN LA TEMPERATURA

Como el flujo y la presión, la temperatura es una de las variables primarias en un proceso químico. La temperatura de un sistema que influye fuertemente en las reacciones químicas son preferidas y la velocidad a la que se producen. Los cambios de fase se determinan por la temperatura. El volumen de los gases, líquidos y, en cierta medida, depende de la temperatura. Por estas razones, una pérdida de control de la presión suele ser el resultado de una pérdida de control de temperatura. La incapacidad para controlar la temperatura puede, por tanto, indirecta ó directamente dar lugar a condiciones que causan una liberación accidental.

#### 1.- PELIGROS DE LA TEMPERATURA

Para algunas reacciones químicas una pérdida de control de la temperatura puede provocar una reacción descontrolada con la generación de exceso de calor y de materiales que podrían conducir a una sobrepresión y una liberación accidental.

Un sistema de reacción química en general, tendrá un rango de temperatura indicado en que debe funcionar para producir con éxito el producto deseado.

En esta gama se suelen fijar las velocidades de reacción de equilibrio, para lograr una velocidad de reacción aceptable para la reacción primaria, reduciendo al mínimo la velocidad de reacción del otro componente, el tamaño de los recipientes y de los sistemas de calentamiento y enfriamiento.

Las altas temperaturas suelen ser más peligrosas que las bajas temperaturas, pero ambos deben ser considerados al evaluar la contribución de la temperatura a los peligros del proceso. A menudo, una baja temperatura apagará la reacción. Esto puede ser peligroso si una corriente de alimentación que no ha reaccionado, es incompatible con las operaciones de los derivados.

A altas temperaturas, las velocidades de reacción son probables de que aumenten, dando lugar a un exceso de calor y la generación de material que puede conducir a un exceso de presión. Una temperatura alta puede dar el resultado en la formación de subproductos no deseados debido a la descomposición térmica del producto.

Una reacción se puede formar por los productos que reaccionan con los materiales intermedios, ó que son corrosivos para los materiales de construcción. Ambos eventos podrían contribuir a la posibilidad de una liberación accidental. Los procesos de fase gaseosa son más sensibles a las fluctuaciones de temperatura que en los procesos en fase líquida. La mayoría de las propiedades físicas varían con la temperatura. La realización de cualquier operación física se verá afectada. Las consecuencias de la fluctuación de la temperatura deben ser evaluadas caso por caso.

Los metales Experimentan debilidad, si se someten al calentamiento y al enfriamiento repetido; esto puede llevar a su debilitamiento en las condiciones anteriormente aceptables. Los revestimientos de plástico utilizados para proteger los metales de la corrosión pueden fallar con las temperaturas excesivas. Las juntas de expansión suelen ser más sensibles a las altas temperaturas que en el proceso de tuberías y; puede fallar si las temperaturas se elevan por encima de las especificaciones de diseño.

#### 1.5.4. CORROSIÓN

Los materiales de construcción en una planta química están sujetos a una serie de tipos de corrosión. La corrosión estructuralmente puede debilitar el equipo hasta el punto de fallo en cualquiera de las condiciones normales de funcionamiento del proceso ó las condiciones de alteración del proceso.

Existen numerosas categorías de la corrosión, algunos de estas son:

##### *1.- CORROSIÓN BAJO TENSION*

Es la falla frágil de metales normalmente dúctiles que se produce en la combinación de corrosión y resistencia a la tensión. La presión puede ser interna ó externa. El Instituto Americano del Petróleo señala que casi cualquier aleación puede hacer fracasar un mecanismo de corrosión bajo tensión. La fragilización cáustica es una forma común de corrosión bajo tensión, como es el conocido cloruro de grietas por corrosión bajo tensión de los aceros inoxidable.

##### *2.- CORROSIÓN INTERGRANULAR*

Se produce cuando los aceros austeníticos (aceros inoxidable), se calientan en el rango de temperatura de 750 a 1650 ° F, ó se enfría a través de este rango. Un complejo de carburo se precipita y se acumula a lo largo de las fronteras del grano. El resultado final de este tipo de corrosión es la formación de grietas.

##### *3.- LA CORROSIÓN GALVÁNICA*

Se utiliza para describir un tipo electroquímico acelerado de corrosión que se produce cuando dos metales diferentes están en contacto unos con otros en presencia de una solución conductora de electricidad como una sal ó una solución acuosa de ácido. Fluye una corriente eléctrica entre los dos metales y rápidamente se corroe el metal que actúa como el ánodo.

Otras categorías generales de la corrosión incluyen: La corrosión de grafito, descincificación y la corrosión biológica. Químicos adicionales muchas variedades específicas de la corrosión son posibles.

#### 1.5.5. TUBERÍAS, ACCESORIOS, Y VÁLVULAS

El término "tubería" se utiliza por lo regular para describir tres categorías estrechamente asociadas a los equipos: las tuberías, conexiones y válvulas. Las tuberías se pueden elaborar, por laminados y soldados, ó por moldeo. Los accesorios se utilizan para conectar diversos tramos de la tubería ó conexión de tuberías a otro pedazo de equipo, para cambiar la dirección del flujo, ó para proporcionar una rama. Las válvulas se utilizan para regular el caudal ó la dirección del flujo a través de las líneas. Algunas variedades comunes incluyen válvulas de bola, válvulas de compuerta, válvulas de globo, válvulas de pistón, válvulas de diafragma, válvulas de mariposa y válvulas de retención.

Las válvulas de retención son una tecnología de control para prevenir el reflujo, los materiales de construcción para todos estos dispositivos suelen incluir tanto los metales y plásticos.

Además de las consideraciones de la presión, la temperatura y el ambiente químico para la selección y el diseño de tuberías, la sencillez del diseño es indispensable. El número de uniones y conexiones deben ser minimizadas. Las tuberías deben ser un apoyo seguro para evitar la vibración excesiva y el exceso de sobreesfuerzo debido a la carga mecánica y los gradientes térmicos. Las tuberías deben construirse para dejar espacio para la expansión térmica y deben protegerse de la exposición al fuego y temperaturas que superan los límites de diseño. Un tubo largo debe estar en pendiente, con drenaje previsto en los puntos bajos.

Las válvulas en los sistemas de tuberías deben ser colocadas de forma que alguna fuga ó ruptura de tuberías y equipos de aguas arriba ó aguas abajo de las válvulas puedan ser aislados. Las válvulas deben ser fáciles de quitar y mantener.

Los fallos de las tuberías pueden ocurrir en los siguientes lugares:

- ◆ Falla en la pared de la tubería (incluyendo accesorios).
- ◆ Juntas.
- ◆ Tallos de las válvulas.
- ◆ El cuerpo de la válvula.
- ◆ Los mecanismos internos de la válvula.
- ◆ Las medidas ó la medida de las conexiones.

#### 1.5.6. INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL

Una falla mecánica de los componentes de una instalación de la instrumentación y el sistema de control pueden causar una pérdida de control del proceso que podría resultar en una liberación accidental.

Los equipos de instrumentación pueden fallar a consecuencia de las condiciones siguientes:

- ◆ Corrosión.
- ◆ Erosión.
- ◆ Deterioro mecánico.
- ◆ Ensuciamiento.

La importancia relativa de estas causas potenciales de fallas de instrumentación depende del tipo de instrumentos en cuestión. Por ejemplo, la corrosión puede ser una consideración importante para los dispositivos de medición de temperatura, mientras que las incrustaciones es un problema conocido con los sistemas de control de pH.

Cabe señalar que, en la Unión Europea, el 90 por ciento de los accidentes en empresas que realizan actividades altamente riesgosas, han sido ocasionados por fallas en la administración de las instalaciones y por errores humanos. Esto es importante pues muestra que se puede incrementar la seguridad en las actividades altamente riesgosas, si se mejora la gestión de las mismas y la capacitación del personal.

A su vez, el impacto de los accidentes y sus riesgos para la salud y el ambiente, pueden reducirse ó amplificarse, en función de las condiciones que prevalezcan alrededor de las actividades riesgosas, entre las que destacan:

- ◆ La vulnerabilidad del medio.
- ◆ La densidad poblacional.
- ◆ La distancia de las poblaciones respecto de las empresas de alto riesgo ó las vías de transporte de materiales peligrosos.
- ◆ La infraestructura de la que se disponga para mitigar el impacto de los accidentes.
- ◆ El conocimiento y preparación de la población para comportarse de manera adecuada para proteger su salud en caso de accidentes.

## 1.6. EFECTOS EN LA SALUD DE LA POBLACIÓN POR EXPLOSIONES, INCENDIOS Y EMISIÓN DE SUSTANCIAS TÓXICAS

Las explosiones, los incendios y la fuga ó derrame de sustancias tóxicas, constituyen riesgos graves en empresas industriales, comerciales y de servicios, así como en las distintas modalidades de transporte de materiales peligrosos, que implican, por lo general, el escape de dichos materiales de un recipiente, acompañado en el caso de sustancias volátiles, de su evaporación y dispersión en el ambiente.

En lo que respecta a la fuga de materiales inflamables, el mayor peligro resulta de la formación de nubes de vapor inflamable y posiblemente explosivo. Por lo general, los efectos suelen limitarse a unos pocos cientos de metros de la instalación en la que se producen, pero también puede suceder que causen numerosas víctimas y daños severos a grandes distancias, como puede ocurrir con la fuga repentina de grandes cantidades de sustancias tóxicas. Bajo ciertas condiciones meteorológicas, estas últimas pueden incluso producir concentraciones letales a varios kilómetros de la fuente de emisión, por lo que el número de víctimas dependerá de la densidad poblacional a lo largo de la trayectoria de la nube tóxica y de la eficacia de las medidas de emergencia que se adopten, incluyendo la evacuación de las personas en riesgo.

A los riesgos anteriores se suma la posibilidad de que las ondas expansivas y los proyectiles, producto de una explosión, puedan afectar a otras plantas industriales ó transportes de materiales peligrosos, localizados en la vecindad, que contengan materiales inflamables y tóxicos, con la consecuente amplificación del desastre, en lo que se conoce como efecto dominó ó reacción en cadena.

### 1.6.1. DAÑOS OCASIONADOS POR LAS EXPLOSIONES

La producción de un estallido puede ocasionar daños a los edificios, romper ventanas y arrojar materiales a centenas de metros de distancia. La lluvia de proyectiles y vidrios rotos que causan muertes y heridas graves. Los efectos de las ondas de choque dependerán de la sobrepresión que alcancen los materiales explosivos (sobrepresiones mayores a 1 lb/pulg<sup>2</sup> ocasionan comúnmente la muerte, de 0.5 psi el rompimiento de ventanas, de 20 psi colapsamiento de paredes y 30 psi derrumbe de estructuras). Este efecto se reduce a medida que aumenta la distancia de la fuente generadora.

Las explosiones pueden ser de dos tipos:

#### a) *DEFLAGRACIONES*

Cuando la velocidad de combustión es relativamente lenta (del orden de 1 m/seg), ó

#### b) *DETONACIONES*

En las que la velocidad de la llama es extremadamente elevada (por ejemplo 2 a 3 mil m/seg); siendo el poder destructivo de las detonaciones mucho mayor que el de las deflagraciones.

Las explosiones de nubes de gases ó vapores combustibles, liberados por la ruptura de contenedores ó ductos, conocidas como UVCE (Unconfined Vapor Cloud Explosions), pueden tener consecuencias desastrosas. Se estima, por ejemplo, que una UVCE consecutiva a una ruptura de 100 mm al ras de un depósito de propano licuado bajo presión, provoca en una zona de 200 metros efectos mortales y a 450 metros daños y heridas considerables por una explosión que involucre la fuga de alrededor de 8 mil kilos de propano.

Algo semejante a lo anterior ocurrió en el accidente que tuvo lugar en 1974 en Flixborough, Gran Bretaña, donde la fuga producida entre dos reactores provocó la explosión de 40 a 50 toneladas de ciclohexano, la muerte de 28 personas, 89 heridos, y la destrucción total de las construcciones en un radio de 600 metros, además de romper vidrios hasta 13 kilómetros de distancia.

### 1.6.2. DAÑOS OCASIONADOS POR LOS INCENDIOS

Las quemaduras de diverso grado de severidad, ocurren como resultado de la exposición a las radiaciones térmicas ocasionadas por los incendios y dependen de la intensidad del calor y del tiempo que dure la exposición. La radiación térmica es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia desde la fuente. En el caso de que se retrase la ignición de un material inflamable que se escapa, se puede formar una nube de vapor de material inflamable incrementando la magnitud del desastre.

Existe una gama de posibles formas de incendios:

- ◆ Tipo chorro.
- ◆ En depósitos.
- ◆ Los producidos por relámpagos y
- ◆ Los ocasionados por explosiones resultado de la ebullición de líquidos y formación de vapores que se expanden; siendo estas últimas las de mayores consecuencias.

La muerte de los individuos expuestos a un incendio puede producirse, también, como consecuencia de la disminución del oxígeno en la atmósfera debido a su consumo durante el proceso de combustión, pero se trata de un efecto meramente local en el entorno inmediato al incendio. Aunado a ello, pueden ocurrir intoxicaciones por exposición a gases tóxicos generados por el proceso de combustión de materiales.

### 1.6.3. IMPACTO DE LA FORMACIÓN DE “BOLAS DE FUEGO”

Las explosiones de líquidos en ebullición con desprendimiento de vapores en expansión, suelen emitir calor radiante intenso en un intervalo relativamente breve; como puede llegar a ocurrir dentro de un depósito de gas licuado que se mantenga por arriba de su punto de ebullición atmosférico y que se rompa como resultado del debilitamiento de su estructura. El escape de una mezcla turbulenta de líquido y gas que se expande rápidamente en el aire como una nube, puede dar lugar a una bola de fuego al inflamarse, ocasionando muertes y quemaduras graves a varios cientos de metros del depósito dañado. Ejemplo de este tipo de fenómenos, es el accidente ocurrido en San Juan Ixhuatepec, Estado de México, en 1984, en las instalaciones de la empresa Petróleos Mexicanos (Pemex). Las “bolas de fuego” de tipo BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapor Explosión), alcanzan dimensiones variables en función del volumen de los materiales involucrados en el accidente, por lo cual al estimar las consecuencias de este tipo de accidentes en actividades altamente riesgosas en las que puedan ocurrir, se requiere determinar la dimensión de las zonas intermedias de salvaguarda a establecer para proteger a la población. Así por ejemplo, la BLEVE de una esfera de 500 metros cúbicos de propano provoca un riesgo de:

- ◆ Mortalidad (1%) por quemaduras hasta 580 metros.
- ◆ Quemaduras significativas hasta 680 metros.

También pueden ocurrir bolas de fuego con proyección de los productos encendidos por el fenómeno denominado BOIL OVER, (Rebosamiento por ebullición). Se calcula que en el caso de la explosión de un recipiente conteniendo 20 000 metros cúbicos de combustible puede haber dos zonas de afectación, la primera de 100 metros en donde ocurren los efectos mortales y la segunda a 110 metros en donde se producen daños y heridas significativas.

Ejemplo de lo anterior es lo sucedido en Nápoles, Italia, en diciembre 1985, en donde un depósito de combustible fue consumido por un incendio seguido por la explosión del contenedor. El depósito de combustible se encontraba en un área densamente urbanizada, destruyó por completo una casa vecina, mató a cuatro personas, hirió a 140 y requirió la evacuación de 2 000 personas.

### 1.6.3.1. BLEVE

Puede aparecer un líquido en ebullición expandiendo explosiones de vapor ó mejor conocido como BLEVE cuando un contenedor de gas líquido presurizado falla catastróficamente. Estas fallas catastróficas de los recipientes son seguidas de liberaciones explosivas del líquido en ebullición y esparcimientos de vapor.

La BLEVE como ya se ha venido mencionando es una explosión física donde los peligros son ráfagas (ondas expansivas) y proyectiles. Debe notarse que una mercancía no tiene que ser inflamable para sufrir una BLEVE. Si la mercadería es inflamable, entonces puede haber una bola de fuego después de que ocurra la BLEVE si la nube liberada es inmediatamente apagada. Este es el caso si el tanque es dañado por un choque de fuego. Si una nube de fuego no es apagada inmediatamente, se pueden iniciar nuevos focos de fuego, explosiones, etc. Si la nube es tóxica, también se puede convertir en una posible amenaza.

Entonces ¿Qué puede hacer que un tanque falle catastróficamente?, los contenedores con gases líquidos presurizados son recipientes de presión. La presión interna pone a las paredes del contenedor bajo esfuerzo. Si el contenedor es debilitado, la presión interna puede exceder la fuerza del tanque resultando en una falla. Los tanques pueden ser debilitados por:

- ◆ Corrosión severa.
- ◆ Daños mecánicos severos por impactos, raspaduras, etc.
- ◆ Muy altas temperaturas como por fuego.

El calor del entorno ó un fuego incipiente causa incremento de temperatura en las paredes del tanque expuesto. Como se muestra en la figura 1.2, el mayor incremento de temperatura es visto en las paredes en contacto con vapor del tanque. Esto es en la parte superior del tanque, ya que la gravedad hace que el líquido se quede en el fondo del mismo.

Cuanto más se incrementa la temperatura de las paredes a niveles altos, la fortaleza de las paredes de hierro decae. Y como este decaimiento en la fuerza (debido mayoritariamente a la presión en el tanque) resulta en su estiramiento y adelgazamiento, lleva a un mayor esfuerzo y estiramiento. Eventualmente, la pared puede volverse tan delgada en el área afectada, que una grieta ó rasgadura aparece. Ésta grieta puede parar de crecer, y en este caso el problema es un chorro de pérdida. Si la rasgadura continúa creciendo, el tanque fallará catastróficamente y sucederá una BLEVE.

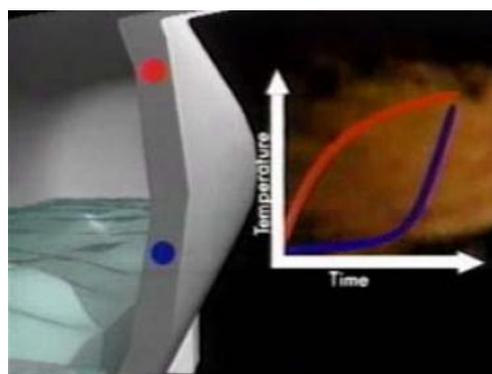


Figura 1.2.  
Presión Vs. Temperatura para el propano.

### 1.6.3.2. REBOSAMIENTOS DE LÍQUIDOS COMBUSTIBLES

Dentro de los fenómenos fisicoquímicos devastadores de incendio tienen ganada su reputación los “rebosamientos” en incendios de líquidos combustibles. En muchos Países han ocurrido a consecuencia de estos siniestros y causas asociadas verdaderas catástrofes.

Existen tres mecanismos de rebosamientos dependiendo de ciertas causas y circunstancias:

- ◆ Rebosamiento por ebullición “BOIL OVER”.
- ◆ Rebosamiento superficial “SLOP OVER”.
- ◆ Rebosamiento espumoso “FROTH OVER”.

De estos tres fenómenos el “Boilover” es el más peligroso, debido a su potencial intensidad, sin subestimar ó minimizar las reacciones del Slopover y Forthover.

### 1.6.4. CONSECUENCIA DE NUBES EXPLOSIVAS

El peligro de explosión en las industrias de proceso es latente y puede causar grandes pérdidas materiales y humanas. Por lo general tiene un potencial de tamaño mayor que un incendio y menor que una fuga tóxica. Una explosión se define como un evento en el que se libera energía en un período de tiempo muy corto y en un volumen lo suficientemente pequeño para generar una onda de sobrepresión de amplitud finita viajando desde su origen. La sobre presión es por tanto el parámetro esencial a tomar en cuenta en la elaboración del análisis de consecuencia de una nube explosiva.

Una onda de sobrepresión sufrirá cambios bruscos en su densidad, temperatura y velocidad de partícula al viajar a través del aire. Esto hace que se generen tensiones al encontrarse con estructuras cercanas, produciendo daños a edificios y a las personas. A continuación en la tabla 1.1, se presentan los daños ocurridos por las sobrepresiones generadas.

TABLA 1.1. DAÑOS OCURRIDOS POR SOBREPRESIONES GENERADAS	
Sobrepresión (psig)	RESULTADO
0.1	Rompimiento de ventanas.
0.3	“Distancia de Seguridad” 95% de probabilidad de daños no serios más allá de este valor. Límite de misiles.
0.9	1% de daño estructural.
1.0	Demolición parcial de casa (inhabitables).
2.0	Colapso parcial de muros y techos de casas.
2.3	Límite inferior de daños estructurales serios
2.5	50% de daño estructural.
3 - 4	Ruptura de tanques de almacenamiento de crudo.
5.0	99% de daño estructural.
5 - 7	Destrucción casi completa de casas.
10	Probable destrucción total de edificios.

Fuente: Clancey, 1972b, Loss Prevention in the Process Industries de Frank Lees.

### 1.6.5. CONSECUENCIA DE NUBES INFLAMABLES

El mecanismo primario de daño ó lesión, consecuencia de un incendio es la radiación térmica. El resultado dependerá de las circunstancias y condiciones existentes durante el evento. Se consideran cuatro eventos probables relativos a la fuga de una sustancia inflamable:

- ◆ Incendio de derrames en forma de charcos.
- ◆ Flamas de tipo chorro continuo.
- ◆ Flamazos por la ignición de cantidades menores a las explosivas.
- ◆ BLEVES.

Cada uno de estos episodios presenta características de radiación diferentes; el análisis de las consecuencias de la fuga de una sustancia inflamable consiste en analizar los efectos de la radiación en el entorno. A continuación en la tabla 1.2, se presenta un extracto de las relaciones más importantes entre el daño causado y los valores de radiación térmica.

TABLA 1.2. RELACIÓN ENTRE DAÑOS CAUSADOS Y LOS VALORES DE RADIACIÓN TÉRMICA	
Flujo de energía radiante (kW/m <sup>2</sup> )	RESULTADO
1.6	No causará molestias durante exposiciones prolongadas.
4.0	Suficiente para causar dolor en individuos afectados durante 20 segundos. 5% de letalidad.
5.0	Quemaduras de la piel.
12.5	Ignición de madera apilada. 100% letal.
25.0	Ignición espontánea de madera. 100% letal.
37.5	Suficiente para causar daño a equipos de proceso 100% letal.

Fuente: Manual of Industrial Hazard Assessment Techniques, the World Bank Office of Environmental and Scientific Affairs. Version 1.0 Octubre de 1985.

### 1.6.6. CONSECUENCIA DEL ESCAPE DE GASES TÓXICOS

Los riesgos de un accidente mayor en el que se liberen concentraciones elevadas de sustancias tóxicas, guardan relación con una exposición aguda durante e inmediatamente después del accidente, más que con una exposición de larga duración. La magnitud de los efectos de la exposición a nubes tóxicas, depende de las concentraciones que alcancen las sustancias presentes en ellas y de la duración de la exposición. Por ejemplo el cloro puede ser letal en concentraciones de 100 a 150 partes por millón (ppm) con exposiciones de 5 a 10 minutos; pero períodos más cortos de exposición a 1000 ppm también pueden ser letales. Dos sucesos de esta índole, ampliamente difundidos por la prensa mundial, son los accidentes ocurridos en Seveso, Italia y en Bhopal, India, en 1976 y 1984, respectivamente.

### 1.7. REACCIONES FUERA DE CONTROL RUNAWAY

Se pueden definir como el desarrollo incontrolado de una ó varias reacciones exotérmicas. Este tipo de reacciones se ha causado a lo largo de la historia numerosos accidentes en la industria química. Entre los más conocidos cabría destacar el de Seveso (1976) y el de Bhopal (1984), éste último con dramáticas consecuencias.

Las reacciones fuera de control pueden originarse por una pérdida de control en una reacción deseada ó bien por la aparición de una reacción no deseada. No sólo las reacciones fuertemente exotérmicas son potencialmente peligrosas. Las reacciones débilmente exotérmicas también pueden originar un incremento de temperatura suficiente como para permitir la aparición posterior de reacciones fuertemente exotérmicas.

La pérdida de control de una reacción química exotérmica puede producirse no únicamente en reactores químicos, sino también en otras unidades como, por ejemplo, columnas de destilación, depósitos de almacenamiento, etc. Los efectos de estas reacciones pueden ser la explosión de estos recipientes y/o la pérdida de contención de los productos químicos que contengan, eventualmente tóxicos ó inflamables.

Si la velocidad a la que el sistema desprende calor es superior a la velocidad con la que el propio sistema puede disiparlo, la temperatura aumentará hasta un valor crítico a partir del cual el proceso será incontrolable. De cualquier forma, la condición esencial es la aparición de un proceso autoacelerado de calefacción, o sea, un proceso autotérmico: a medida que la temperatura aumenta, la velocidad de reacción se incrementa exponencialmente hasta valores muy elevados; este proceso puede ser muy lento al principio, pero muy rápido en su fase final.

## 1.8. IDENTIFICACIÓN DE INSTALACIONES INDUSTRIALES QUE MANEJAN SUSTANCIAS PELIGROSAS

En la industria se utilizan y/o elaboran diversas sustancias y materiales peligrosos, asimismo en las actividades comerciales, educativas y de servicios se emplean ó manipulan dichas sustancias y materiales.

Una manera de diferenciar a las empresas que manejan sustancias y materiales peligrosos es con respecto al volumen ó cantidad existente en sus instalaciones. La Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales y la Secretaría de Gobernación elaboraron y publicaron en el Diario Oficial de la Federación el *Primero y segundo listados de actividades altamente riesgosas* (28 de marzo de 1990 y 4 de mayo de 1992);<sup>1</sup> en estos listados se establecen como actividades altamente riesgosas aquellas en las cuales se maneje alguna de las sustancias incluidas en los listados en una cantidad igual ó superior a la cantidad de reporte, definida ésta como: *la cantidad mínima de sustancia peligrosa durante la producción, procesamiento, transporte, almacenamiento, uso ó disposición final, ó la suma de éstas, existentes en una instalación ó medio de transporte dados, que al ser liberada, por causas naturales ó derivadas de la actividad humana, ocasionaría una afectación significativa al ambiente, a la población y a sus bienes.*

Las empresas, comercios, instituciones, etcétera, que realizan actividades no consideradas altamente riesgosas de acuerdo a los listados, pueden manejar en sus instalaciones sustancias y materiales peligrosos por lo que es importante también ubicarlas. Para obtener información sobre las sustancias que se manejan en algún sitio de interés deben considerarse las siguientes instalaciones:

- ◆ Instalaciones industriales
- ◆ Terminales de ferrocarriles: patios de maniobras, áreas de almacenamiento, etc.
- ◆ Plantas para tratamiento y/o disposición de residuos
- ◆ Terminales marítimas
- ◆ Aeropuertos
- ◆ Gasolineras
- ◆ Estaciones de carburación
- ◆ Almacén de materiales pirotécnicos
- ◆ Hospitales que manejan materiales radioactivos

Otras instalaciones ó sitios que pueden considerarse son:

- ◆ Sitios contaminados por sustancias químicas.
- ◆ Sitios de disposición de residuos químicos industriales (incineración).
- ◆ Rellenos sanitarios, basureros municipales, tiraderos clandestinos (riesgo de incendio).

## 1.9. COSTOS DE LOS ACCIDENTES

El costo total que trae aparejado un accidente es sumamente difícil de conocer, aún mucho tiempo después de ocurrido el mismo. Remitiéndonos a las secuelas mensurables de un accidente, se ha establecido que los costos emergentes se dividen en dos tipos:

Costos directos: son los que emergen como consecuencia inmediata de la tención del lesionado.

- ◆ Gastos médicos directos.
- ◆ Hospitalización.
- ◆ Rehabilitación.
- ◆ Medicación.
- ◆ Horas pérdidas por el accidentado.
- ◆ Traslados.
- ◆ Indemnizaciones.
- ◆ Costos judiciales.

---

<sup>1</sup> Para la cantidad de reporte de las sustancias que se manejan en el presente trabajo ver Cap. 3 sub-capítulo 3.2.

Costos indirectos: son los que emergen de la normalización de la actividad en la que se produjo el accidente

- ◆ Horas pérdidas por otros (curiosidad y/o ayuda).
- ◆ Horas de investigación e informe.
- ◆ Horas de tramitaciones varias.
- ◆ Daño a equipos, herramientas, instalaciones y/o mercaderías.
- ◆ Pérdida de productividad por el puesto vacante.
- ◆ Pérdida de productividad por el resto del personal (comentarios, interrogatorios, etc).
- ◆ Reacción desfavorable del publico testigo y comentarios en consecuencia a otros probables clientes.
- ◆ Menor rendimiento temporal del accidentado al reincorporarse.
- ◆ Pérdida por recepciones y/o entregas tardías.
- ◆ Desmejoramiento del clima laboral.
- ◆ Exposición de la empresa a reclamos oportunistas por parte del personal ó gremio.

Pero la prevención de riesgos depende fundamentalmente de factores económicos de tal forma que, a medida que se aumenta el porcentaje de reducción de riesgos para disminuir el valor de las pérdidas causadas por accidentes, se produce un aumento de los costos de prevención.

A la vista de cuanto se ha expuesto y desde el punto de vista exclusivamente económico, el problema a nivel empresarial consistiría en determinar el punto en que los costos de prevención y de los daños causados por los accidentes sean mínimos, determinando el “óptimo económico” en la planificación de la prevención. Si se representa gráficamente, como se ve en la figura 1.3, la variación de los costos totales de los accidentes y de prevención, así como la relación prevención – accidentes, de tipo hiperbólico, se observa cómo el punto P, señala el punto óptimo económico, en el que se consigue la mejor relación costo-accidente.

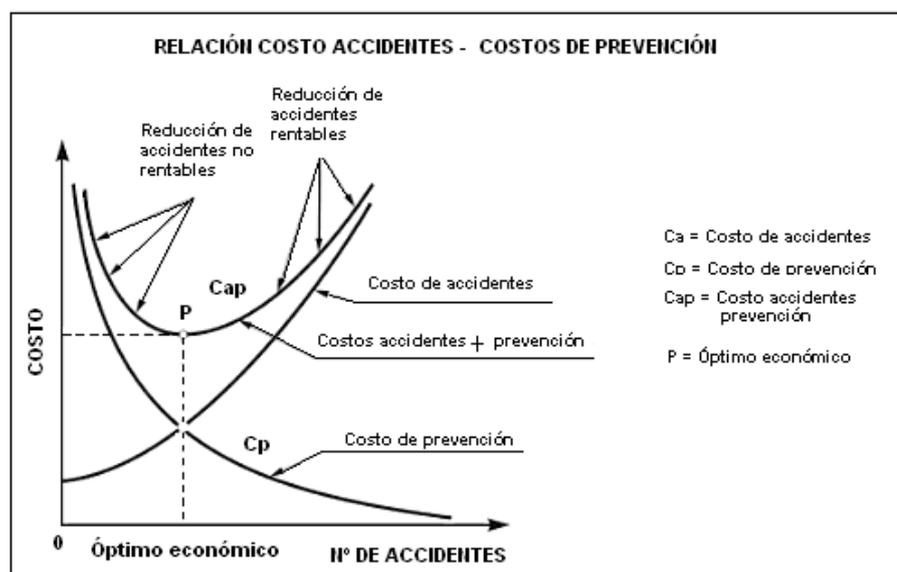


Figura 1.3. Relación costo accidentes – costos de prevención.

Igual deducción se obtiene de la representación de las curvas de costos de daños, costos de prevención y costos de prevención – daño, que se incluye en el siguiente grafico (figura 1.4).

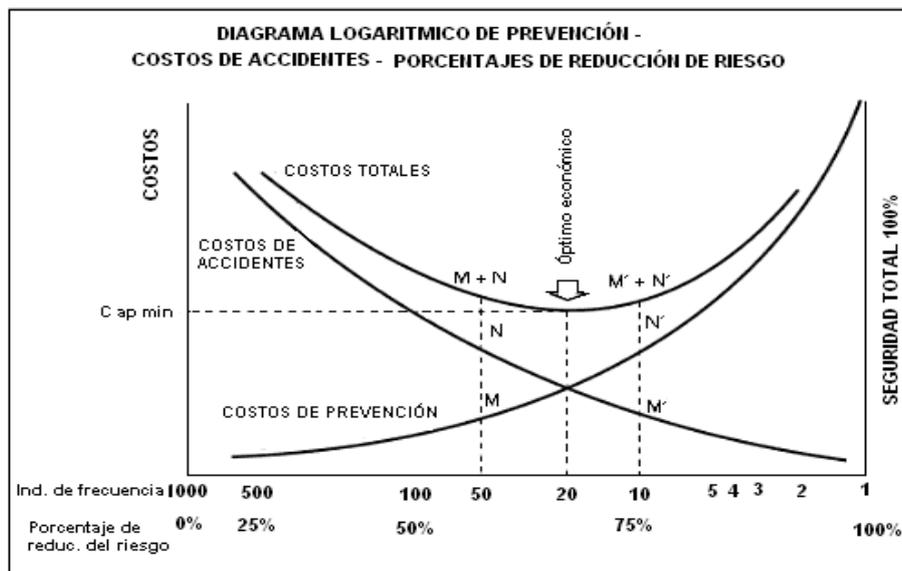


Figura 1.4. Costos de accidentes – porcentajes de reducción de riesgo.

El análisis que se presenta de las relaciones costos de accidentes – costos de prevención y costos – prevención, sólo debe entenderse como un planteamiento puramente teórico que ha permitido conocer el problema general que supone el estudio de la prevención desde el punto de vista puramente económico, que como resulta fácil de suponer, al intervenir en el mismo de tipo subjetivo, (dependiendo de la programación, organización y metodología aplicada), dará lugar en cada caso concreto, a diferentes parejas de curvas Ca-Cp-Cap, que dependerán en suma del planteamiento de la dirección de la empresa, quien podrá en base a criterios de prioridades y dentro de las posibilidades de la misma, establecer una eficaz planificación de la prevención dando lugar al descenso de las curvas Ca y Cp para lograr en suma el descenso del punto óptimo económico.

---

C  
A  
P  
Í  
T  
U  
L  
O

2

**ANÁLISIS DE RIESGOS**

---

## 2.- ANÁLISIS DE RIESGOS

### 2.1. CONCEPCIÓN DE ANÁLISIS DE RIESGOS

El análisis de riesgos (AR), es un conjunto de métodos que evalúa la probabilidad de que se presente un efecto adverso como resultado de un agente, de un proceso industrial, de la tecnología ó de un proceso natural. El efecto adverso suele entenderse como efecto adverso para la salud humana (muerte ó enfermedad), pero también puede definirse como una pérdida económica (análisis de riesgo económico) ó un efecto sobre los sistemas ecológicos. Con frecuencia el análisis de riesgos de una sustancia tóxica no deriva en la probabilidad de enfermedad ó muerte (con excepción del cáncer), sino que indica si el grado de exposición a una sustancia química determinada se encuentra por encima ó por debajo de un nivel que se considera seguro.

El análisis de riesgos es una ciencia inexacta y no puede emplearse para hacer predicciones exactas de riesgos reales ó absolutos, sin embargo puede usarse para determinar una amenaza real ó potencial.

El análisis de riesgo permite caracterizar de manera cualitativa y cuantitativa los riesgos, abarcando desde eventos frecuentes de bajo impacto, a eventos mayores poco frecuentes. Los componentes ó técnicas del proceso de análisis de riesgos, permiten identificar los mayores factores que contribuyen al riesgo y, por lo tanto, se pueden hacer recomendaciones y ayudar en la toma de decisiones y en la aplicación de medidas para su disminución. El análisis de riesgo puede variar en profundidad, desde un estudio elemental hasta uno de gran detalle, que tome en cuenta el número de incidentes considerados, a la manera en que se obtienen las frecuencias y probabilidades, así como los modelos empleados para la determinación de consecuencias. El número de incidentes considerados puede variar de acuerdo con las clases de éstos:

- ◆ Incidente menor (zona de afectación limitada).
- ◆ Incidente mayor (zona de afectación media).
- ◆ Incidente catastrófico (zona de afectación extensa).

El análisis de riesgo proporciona información sobre:

- ◆ Eventos precursores y causas potenciales de accidentes.
- ◆ Probabilidad de liberación de una sustancia peligrosa y de que exista cualquier condición ambiental inusual, ó la posibilidad de incidentes simultáneos.
- ◆ Tipo de daño ó lesión a la población y los grupos de riesgo asociados.
- ◆ Tipo de daño a la propiedad (temporal, reparable, permanente).
- ◆ Tipo de daño al ambiente (recuperable, permanente).
- ◆ Los posibles riesgos, las estrategias de prevención y las medidas de mitigación.

Su aplicación a un proyecto, ó a unas instalaciones determinadas se ha representado de forma simplificada en la figura 2.1.

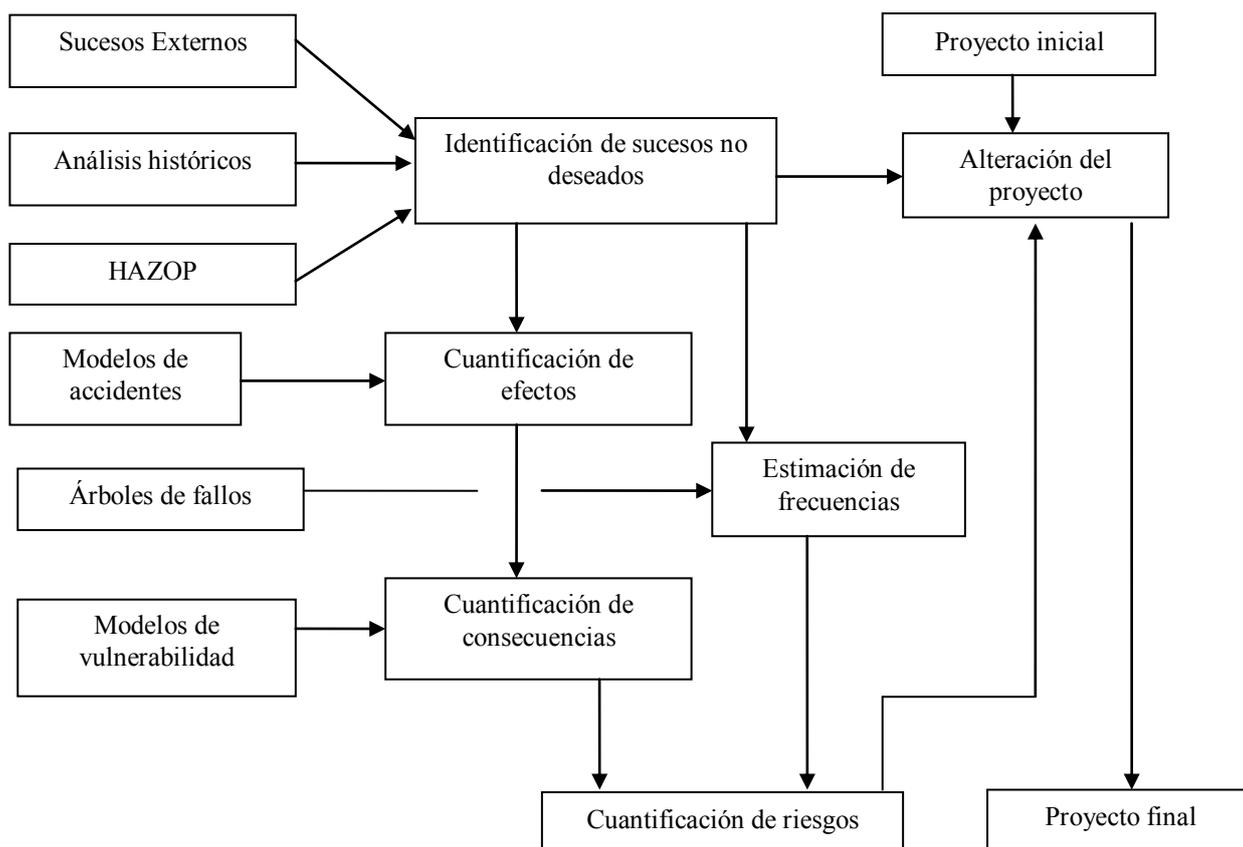


Figura 2.1 Análisis de riesgos.

## 2.2. OBJETIVOS DEL ANÁLISIS DE RIESGOS

Los objetivos de los análisis de riesgos son la prevención de la ocurrencia y mitigación de los efectos a instalaciones industriales potencialmente peligrosas a través del estudio sistemático de las mismas. Básicamente consisten en:

- ◆ Identificar los riesgos que pueden presentarse en una instalación industrial para las personas, bienes y el medio ambiente.
- ◆ Determinar los alcances que puedan tener estos accidentes.
- ◆ Definir las zonas de vulnerabilidad.
- ◆ Calcular los daños que se puedan provocar.
- ◆ Analizar las causas de los accidentes, eventualmente cuantificando sus frecuencias.
- ◆ Determinar las medidas de prevención y protección, incluyendo las de carácter organizativo, para evitar su ocurrencia ó mitigar sus consecuencias.
- ◆ Determinar el nivel de riesgo asociado a las instalaciones.

Más ampliamente los análisis de riesgos deberían ser un medio para evaluar también la política general de la seguridad de la empresa, junto con otros documentos, Plan de Emergencia Interior ó Información Básica para la Administración (IBA) en su caso, abarcando:

- ◆ Organización y gestión de la empresa.
- ◆ Diseño y legislaciones aplicables.
- ◆ Mantenimiento e inspecciones periódicas.
- ◆ Permisos de trabajo y procedimientos operativos.
- ◆ Registro de accidentes.
- ◆ Formación e información a los operarios.

### 2.3. TIPOS DE ANÁLISIS DE RIESGOS

El análisis de riesgos formal puede describirse como se muestra en la figura 2.2. En el caso de las sustancias químicas no carcinógenas, se supone que un efecto adverso puede presentarse sólo cuando la exposición a la sustancia supera cierto umbral. El análisis de riesgos se utiliza tanto para establecer los criterios y normas para las sustancias químicas en el medio ambiente, como para evaluar el riesgo en ciertos casos particulares de exposición a sustancias químicas tóxicas (tales como agua, suelo ó aire contaminados en los alrededores de una fuente contaminante ó cuando se evalúan lugares que necesiten de un superfinanciamiento).

El análisis de riesgos de las sustancias tóxicas es probabilística sólo en el caso de sustancias carcinógenas. La probabilidad de padecer cáncer ó de crear propensión a la enfermedad, como resultado de la exposición a cierta sustancia química, se deriva por medio de modelos de datos obtenidos de animales. Dependiendo del modelo que se aplique, puede obtenerse una variedad de resultados.

El análisis probabilístico de riesgos se aplica a la seguridad de los procesos industriales y de las plantas nucleares (árbol de fallas y análisis del árbol de fallas). La probabilidad de un resultado adverso (falla de un componente ó del sistema) de una serie de eventos interconectados, se obtiene mediante la evaluación de las probabilidades de falla de los componentes individuales. En ambos casos, dichas probabilidades se obtienen con base en los datos históricos ó en las suposiciones de falla. Una vez que se establece la probabilidad de falla de un proceso químico, es posible aplicar el análisis de riesgo químico para determinar la gravedad de las consecuencias de la descarga de una sustancia tóxica particular.

Los datos históricos permiten establecer las probabilidades de los efectos adversos ocasionados por los fenómenos naturales (por ejemplo, rayos, inundaciones) ó por los tipos de actividades humanas (por ejemplo, índices de accidentes en transportes).

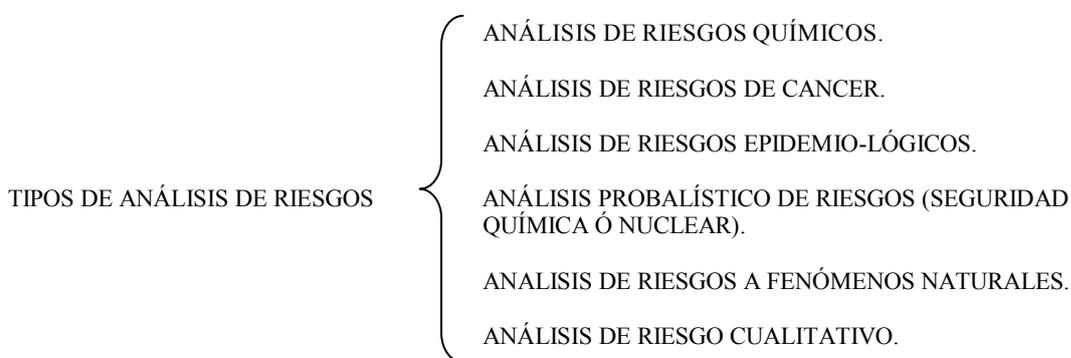


Figura 2.2. Tipos de análisis de riesgos.

### 2.4. ETAPAS DEL ANÁLISIS DE RIESGOS

Como se había mencionado anteriormente el AR es una conjunción de arte y ciencia, que comprende las siguientes etapas:

- ◆ La evaluación del riesgo para la salud ó para el medio ambiente en términos cuantitativos.
- ◆ El análisis comparativo de los riesgos.
- ◆ El manejo de los riesgos.
- ◆ La comunicación de los riesgos.

## 2.5. CRITERIOS PARA DEFINIR EL NIVEL DE RIESGO

Las empresas que manejan las sustancias peligrosas en las cantidades y condiciones que pueden conllevar el riesgo de que se produzca un accidente mayor, suelen clasificarse en distintos niveles de riesgo siguiendo criterios que permiten determinar su vulnerabilidad interna y la de las poblaciones circundantes. De la forma en que se les clasifique de acuerdo con su nivel de riesgo, depende el tipo de estudio de riesgo que se les requiera.

Los criterios para establecer el nivel de riesgo en México son los siguientes:

### a) TIPO DE INSTALACIÓN

Básicamente pueden distinguirse cuatro tipos de instalación:

- ◆ Instalación de almacenamiento de productos químicos. Las operaciones que les son asociadas son principalmente operaciones de carga / descarga desde / a distintos elementos (camiones cisternas, vagones cisternas ó barco), de trasiego y envasado.
- ◆ Instalaciones de producción, transformación ó tratamiento de sustancias químicas.
- ◆ Instalaciones en las cuales existen a la vez áreas de almacenamiento (materias primas, productos terminados ó productos acabados) y de proceso.
- ◆ En algunos casos, instalaciones de tratamiento de residuos industriales.

En la primera el riesgo asociado proviene más en general, de los inventarios de producto que la complejidad en las instalaciones. En el segundo caso el riesgo puede ser más disperso y el estudio es normalmente más laborioso por los distintos tipos de producto que intervienen, las condiciones variables de operación, las mayores interrelaciones entre distintos sistemas, etc.

### b) POR UBICACIÓN

- ◆ Clasificación de la zona y uso del suelo colindante.
- ◆ Superficie de la empresa.
- ◆ Condiciones externas a la empresa.

El riesgo por ubicación está relacionado con el tipo de zona en la que se planea desarrollar un proyecto industrial, comercial ó de servicios, ó donde se encuentre operando una instalación riesgosa. Para la definición del riesgo por ubicación, se toma en consideración el hecho de que la vulnerabilidad varía dependiendo de que la zona colindante sea industrial, comercial, de recreación, habitacional, etc., así como de acuerdo con la densidad poblacional y con el hecho de que las actividades que se realicen en esa zona ocurran intramuros ó al exterior de los inmuebles. También, se toma en consideración si las empresas cuentan con una superficie en torno a ellas y de su propiedad que pueda funcionar como zona de amortiguamiento, así como las condiciones externas a las instalaciones, tales como vialidad, infraestructura de servicios de emergencia, disponibilidad de agua, y otros factores que contribuyen a agravar los problemas ocasionados por los accidentes ó atenuar sus efectos.

### c) POR PROCESO

En las instalaciones de producción, transformación ó tratamiento de sustancias peligrosas conviene distinguir también entre procesos continuos y procesos discontinuos ó batch. Estos últimos son secuenciales lo que obliga a un planteamiento de análisis de las distintas fases de operación, tanto en la identificación de los riesgos como en su posterior tratamiento. Intervienen factores como el orden de los pasos seguidos, errores en la naturaleza, cantidades y calidad de las materias primas, etc. porque a menudo se suelen compartir las líneas de proceso para la fabricación de productos distintos. Por otra parte suelen ser procesos poco mecanizados y con mayor distribución manual. En los primeros existe una variable de proceso estacionario que suelen oscilar mínimamente entre unos valores predeterminados.

- ◆ Riesgo por manejo de sustancias peligrosas.
- ◆ Capacidad almacenada ó de manejo.
- ◆ Propiedades físicas y químicas de las sustancias.
- ◆ Disposición de las sustancias peligrosas.
- ◆ Tipo de procesos ó modalidades energéticas.

Por su parte, los riesgos por proceso, están relacionados con toda una serie de variables que pueden favorecer que ocurran accidentes ó que, por el contrario, contribuyen a prevenirlos ó a controlarlos oportuna y adecuadamente. En particular, se consideran los volúmenes y peligrosidad de las sustancias que se manejan y las condiciones de seguridad en las que se realiza su manejo. Como se indica a continuación en la tabla 2.1, de acuerdo con la categoría de riesgo se requieren diferentes modalidades de riesgo.

TABLA 2.1. NIVELES DE RIESGO		
I	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Se realizan operaciones de mezclado, filtración, almacenamiento, ó la combinación de ellas.</li> <li>◆ El almacenamiento ocurre a condiciones atmosféricas.</li> <li>◆ No se realizan reacciones químicas en las áreas de producción, intercambio de calor, manejo de presiones diferentes a la atmosférica y temperaturas mayores a la del ambiente.</li> <li>◆ El uso de suelo es industrial, rural ó agrícola</li> </ul>	Análisis Preliminar de Riesgo
II	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Se trata de complejos químicos, petroquímicos con 2 ó más plantas.</li> <li>◆ Se produce uno de los siguientes materiales: ácido fluorhídrico, ácido clorhídrico, óxido de etileno, butadieno, cloruro de vinilo ó propileno.</li> <li>◆ El establecimiento ha sufrido accidentes mayores (que han trascendido a la opinión pública).</li> <li>◆ Cuando se trate de una actividad que está interconectada con otra actividad altamente riesgosa ubicada en predio colindante, a través de tuberías en las que se maneje alguno de los materiales reportados en los Listados de Actividades Altamente Riesgosas.</li> </ul>	Análisis de Riesgo
III	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ El tipo de operación que se realiza es destilación, refrigeración ó extracción con solventes ó absorción.</li> <li>◆ El almacenamiento es en tanques presurizados.</li> <li>◆ Existe reacción química, intercambio de calor y/o energía, presiones mayores, menores a la atmosférica ó temperaturas mayores a la del ambiente.</li> <li>◆ El uso de suelo es habitacional, mixto ó es zona de reserva ecológica.</li> <li>◆ La zona es susceptible a sismos, hundimientos, fenómenos hidrológicos y metereológicos.</li> </ul>	Análisis Detallado de Riesgo
Específico de ductos.  NIVEL 0.	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Longitud igual ó mayor de 1 km.</li> <li>◆ Diámetro igual ó mayor de 10.2 cm (4 plg.).</li> <li>◆ La presión igual ó mayor de 10 kgf/cm<sup>2</sup> antes de la caseta de regulación.</li> <li>◆ En su trayectoria cruza con zonas habitacionales ó áreas naturales protegidas.</li> <li>◆ Independientemente de las condiciones anteriores, el ducto transporta ácido fluorhídrico, cloruro de hidrógeno, ácido cianhídrico, cloro, amoniaco, óxido de etileno, butadieno.</li> </ul>	Estudio del Riesgo de Ductos

Fuente: Promoción de la prevención de accidentes químicos INE, 1999. 1ra ed. México.

## 2.6. ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS

El objetivo del análisis de consecuencias es cuantificar el impacto negativo de un evento. Las consecuencias generalmente se miden en términos del número de muertes, aunque también es posible expresarlos en función del número de lesionados, número de personas evacuadas ó de daños a la propiedad. Normalmente se consideran tres tipos de efectos: radiación térmica, ondas de sobrepresión por explosión y la exposición de las personas a sustancias tóxicas.

Las consecuencias de los eventos pueden estimarse de una manera cuantitativa ó cualitativa, ó en ambas. El análisis de consecuencias debe contemplar como mínimo:

- ◆ La cantidad de sustancia liberada.
- ◆ Los procesos físicos y mecanismos de dispersión por los cuales una sustancia puede alcanzar y afectar a las personas próximas al lugar de la fuga, ó dañar al ambiente.
- ◆ La cantidad de sustancia, radiación ó sobrepresión que pueda alcanzar a las personas, ó a propiedades.
- ◆ Los efectos esperados de la sustancia liberada.

## 2.7. LA COMUNICACIÓN DE RIESGOS

La comunicación de riesgos es la etapa del análisis de riesgos en la cual se explica cómo el público percibe y procesa los riesgos y se identifican formas de mejorar la transferencia de información entre los expertos y el público. La respuesta del público a los riesgos es compleja, multidimensional y diversa, porque «el público» es, en realidad, muchos públicos con diferentes valores e intereses.

Los problemas inherentes a la comunicación y la educación son un verdadero reto y todavía queda mucho por realizar en el área de la educación y la comunicación de riesgos. El proceso de análisis de riesgos debe ser un proceso abierto a una mayor participación y escrutinio de los públicos afectados. Esto implica la necesidad de incrementar la capacidad y habilidad del público para entender la información sobre el riesgo y aumentar la habilidad de los tomadores de decisiones para entender cómo el público percibe el riesgo.

## 2.8. TIPOS DE RIESGOS A CONSIDERAR

Aunque los análisis de riesgos se centran principalmente en los accidentes que finalmente involucren productos químicos, también deberían contemplar todos aquellos otros accidentes que puedan causar daño.

Básicamente el análisis de riesgos debería reflejar los siguientes riesgos químicos:

### A) RIESGOS QUÍMICOS PROVOCADOS POR CAUSAS INTERNAS ENTRE ESTOS DESTACAN

- ◆ Fallo de servicios (suministro eléctrico, agua de refrigeración corte de vapor de calefacción).
- ◆ Fallo de operación (sobrellenado, vaciado, sobre presurizado, entrada en vacío, etc.).
- ◆ Pérdida de contención (fugas, colapsos, roturas).
- ◆ Fallos humanos (error en procedimiento).

### B) RIESGOS QUÍMICOS PROVOCADOS POR CAUSAS EXTERNAS

- ◆ Causas naturales: inundaciones, sismos, lluvias torrenciales, incendios forestales, vendavales.
- ◆ Tecnológicos: actos de sabotaje, acciones en instalaciones vecinas, etc.

### C) EFECTOS SINÉRGICOS Y DOMINÓ

El efecto sinérgico es el que puede ocurrir cuando se producen simultáneamente dos sucesos generando consecuencias que no son comparables a la suma de los efectos contemplados de forma individual.

Pero ejemplo, si en un mismo almacenamiento existen tanques de TDI (disocianato de tolueno) y polioles la ruptura del tanque de TDI produce una nube tóxica de pequeñas dimensiones dada la poca volatilidad del TDI. Si se produce la ruptura del tanque de poliol los efectos son mínimos.

En un almacén de GLP (gas licuado a presión), por ejemplo, la BLEVE de un depósito puede provocar que la radiación generada destruya un depósito vecino.

### D) OTROS

## 2.9. IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS

Para la identificación de peligros se requiere: conocer las consecuencias específicas indeseables y la identificación del material, sistema, proceso ó actividad que puedan provocar estas consecuencias. Las consecuencias indeseables pueden agruparse en tres categorías principales: impactos a personas, impactos al ambiente e impactos económicos. Estas categorías pueden subdividirse de acuerdo al tipo de resultado (ejemplo: exposición a material tóxico, exposición a calor ó energía, sobrepresión, etc.). Determinación de las propiedades del material y de las condiciones en el recipiente: a partir de las propiedades del material pueden determinarse las consecuencias de interés (explosión, incendio, etc.). Las condiciones en que se encuentra el material (por ejemplo: presión, temperatura) y su interacción con el ambiente pueden ayudar a establecer el peligro.

### A) *MATRICES DE INTERACCIÓN*

Cuando existe la posibilidad de mezclar dos ó más sustancias, puede analizarse la interacción entre las mismas y con otros parámetros. Cuando se tiene solo una sustancia puede analizarse su interacción con otros parámetros como son: condiciones del material (temperatura, presión, carga estática), condiciones ambientales (lluvia, humedad, polvo), efectos a personas (exposición corta), etcétera.

### B) *TÉCNICAS DE EVALUACIÓN*

Pueden emplearse técnicas como son: lista de revisión, ¿qué pasa si?, árbol de fallas, árbol de eventos, etcétera, que permiten la identificación de eventos peligrosos y la secuencia en que puede presentarse un incidente.

## 2.10. EVALUACIÓN DE RIESGOS

La evaluación de riesgos y el análisis de riesgo con frecuencia son utilizados como sinónimos, pero el análisis de riesgo en ocasiones también se utiliza en un sentido amplio para incluir aspectos de la administración de riesgos. Sin ignorar estas diferencias, los riesgos financieros de Wall Street, los riesgos actuariales de la industria de los seguros, las bajas ocasionadas por un accidente en una planta nuclear, los riesgos de cáncer asociados con las emisiones industriales, la pérdida de hábitat por actividades humanas: todas esas nociones de apariencia distinta tienen en común el concepto de un fenómeno medible llamado riesgo.

En un “enfoque unificado” la evaluación de riesgos puede definirse como el proceso de estimar la probabilidad de que ocurra un acontecimiento y la magnitud probable de los efectos adversos. Existirán acciones que no requieren de una evaluación detallada, dado que el riesgo es claro y las acciones son obvias en su corrección, pero suele ocurrir que para ciertos riesgos existen diferentes alternativas (unas más caras que otras, reducen más el riesgo, etc). Que será necesario evaluar su costo beneficio. Para ayudar en la toma de decisiones, se recomienda evaluar el riesgo, así como su modificación con las alternativas propuestas, mediante metodologías como:

TABLA 2.2 COMPARACIÓN DE MÉTODOS DE ANÁLISIS DE RIESGOS

Método de Análisis de riesgos	Fase de la planta	Objeto	Resultados	Complejidad del sistema	Datos necesarios	Tiempo costo	Recurso humano
	D: Diseño C: Construcción O: Operación A: Arranque	T: Fallos técnicos P: Procedimientos H: Fallos humanos C: Consecuencias	QL: Cualitativos QN: Cuantitativos RR: Reducción del riesgo SMQ: Semicuantitativos	S: Simple M: Medio C: Complejo	G: Globales D: Detallados E: Entrevistas	Bajo Medio Alto	P: Especialistas de la planta S: Especialista en seguridad
Check list	D / C / O	T / P	QL	S / M	G / E	B	P
Análisis de seguridad de tareas	D / O	P	QL / RR	S / M / C	D	M / A	P / S
Down / Mond	D / O	T / C	QL / SMQ	S / M	G	B	P
Análisis preliminar (PHA)	D	T / C	QL / RR	S / M / C	G	B	P
¿What if?	D / A	T / P / H / C	QL / RR	S / M	D / E	B / M	P / S
<b>HAZOP</b>	<b>D / O</b>	<b>T / C</b>	<b>QL / RR</b>	<b>M / C</b>	<b>D</b>	<b>A</b>	<b>P / S</b>
FMEA/FMECA	D / C / O	T	QL	M / C	D	M / A	P
NTC-GTC 45	D / O	T / H	QN / RR	S / M	G	B / M	P
<b>Árbol de fallos</b>	<b>D / O</b>	<b>T / H / C</b>	<b>QL / QN</b>	<b>M / C</b>	<b>D</b>	<b>M / A</b>	<b>S</b>
<b>Análisis de árbol de eventos</b>	<b>D / O</b>	<b>T / P / H / C</b>	<b>QL / QN</b>	<b>S / M / C</b>	<b>D</b>	<b>M / A</b>	<b>S</b>
Análisis de fiabilidad humana	D / C / O	H / C	QL / RR / SMQ	M / C	D / G	M / A	S

Fuente: Guía para el diseño e implementación de los planes de emergencia empresariales, análisis y gestión del riesgo, alcaldía mayor de Bogotá D.C. Fondo de prevención atención de emergencias.

## 2.11. ANÁLISIS DE PELIGROS Y OPERABILIDAD (HAZOP)

El análisis de peligros y operabilidad (HAZ and OP enableity Analysis, HAZOP), conocido también como Análisis De Riesgo y Operabilidad<sup>2</sup> ó análisis funcional de operabilidad (AFO) ó análisis operativo (AO), en un método que fue diseñado en Inglaterra en la década de los sesenta por Imperial Chemical Industries (ICI) para aplicarlo al diseño de plantas de fabricación de pesticidas.

### 2.11.1. DESCRIPCIÓN Y OBJETIVO

La definición dada por la Chemical Industry Association (CIA) en su guía es:

“La aplicación de un examen crítico, formal y sistemático a un proceso ó proyecto de ingeniería de nueva instalación, para evaluar el riesgo potencial de la operación ó funcionamiento incorrecto de los componentes individuales de los equipos, y los consiguientes efectos sobre la instalación como conjunto”.

El análisis HAZOP es una técnica deductiva para la identificación, evaluación cualitativa y prevención del riesgo potencial y de los problemas de operación derivados del funcionamiento incorrecto de un sistema técnico. El análisis pretende, mediante un protocolo relativamente sencillo, estimular la creatividad de un equipo de expertos con diferente formación para encontrar los posibles problemas operativos.

La técnica se fundamenta en el hecho de que las desviaciones en el funcionamiento de las condiciones normales de operación y diseño suelen conducir a un fallo del sistema. La identificación de estas desviaciones se realiza mediante una metodología rigurosa y sistemática. El fallo del sistema puede provocar desde una parada sin importancia del proceso hasta un accidente mayor de graves consecuencias.

<sup>2</sup>Análisis de peligro y operabilidad es una traducción estricta del inglés, pero la expresión más extendida es análisis de riesgo y operabilidad. La utilización indistinta de los vocablos peligro y riesgo es común en el castellano.

a) *METODOLOGÍA DEL ANÁLISIS*

El paso previo para el desarrollo del análisis es la definición del objetivo y el alcance del estudio, de los límites físicos de la instalación ó el proceso que se quiera estudiar y de la información requerida.

Además debe estudiarse el sistema ó proceso ya definido para conocer la información disponible, prepararla y organizar el equipo de estudio, y planear la secuencia de estudio y las sesiones de trabajo.

Después del estudio previo se puede comenzar el análisis propiamente dicho (ver figura 2.3). El primer paso es la selección de los elementos críticos que deben estudiarse depósitos, reactores, separadores, etc). A continuación, sobre cada nodo de estudio, que corresponde a cada línea de fluido de cada elemento seleccionado, y de forma secuencial y repetitiva, se aplican las palabras guía (no, más, menos, otro, parte de, etc) a cada una de las condiciones de operación del proceso, las substancias y las variables que intervienen (flujo, presión, temperatura, nivel, tiempos, etc.). Operando de esta manera se generan las desviaciones significativas de las condiciones normales de operación y se realiza un repaso exhaustivo de los posibles funcionamientos anómalos.

Las principales palabras guía propuestas originalmente por ICI y los parámetros de proceso a los que se aplican se muestran en la tabla 2.3. Un caso particular es el estudio de procesos discontinuos y manuales operativos, donde se toman las operaciones propiamente (carga, descarga, etc.). Como parámetro sobre las cuales aplicar las palabras guía. El estudio de las desviaciones conduce a la identificación de sus posibles causas y consecuencias y, por tanto, del riesgo potencial y de los problemas derivados de un funcionamiento incorrecto; paralelamente, se basan los medios protectores del sistema. Toda la información del análisis es documentada ordenadamente en forma de tabla (tabla 2.4), hecho que permite la evaluación cualitativa de las medidas de control y seguridad. A partir de esta información es relativamente sencillo implementar nuevas medidas para la mejora de la seguridad y fiabilidad del sistema.

La metodología inicialmente desarrollada por ICI propone la aplicación de las palabras guía a todas las líneas de flujo de todos los equipos principales que conformen la instalación. Actualmente, las desviaciones se generan en un número de equipos seleccionados según diferentes criterios. Hay numerosas variaciones del protocolo de análisis que pretenden mejorar la baja efectividad del método clásico, donde hasta el 90 por ciento de las cuestiones planeadas pueden resultar irrelevantes para la mejora de la seguridad del proceso.

Tabla 2.3. Resumen de palabras guía y variables de proceso utilizada en los análisis HAZOP.

TABLA 2.3. PALABRAS GUÍA			
PALABRA GUÍA	SIGNIFICADO	PARÁMETRO DE PROCESO	EJEMPLOS DE DESVIACIÓN
No	Negación de la intención del diseño	Temperatura Presión Nivel Reacción Composición Caudal Velocidad Tiempo Viscosidad Mezcla Voltaje Adición Separación pH	“No” + “caudal” = Falta de caudal
Menos	Disminución cuantitativa		“menos” + “nivel” = Bajo nivel
Más	Aumento cuantitativo		“más” + “presión” = Presión excesiva
Otro	Sustitución parcial o total		“otra” + “composición” = Presencia de impurezas
Inversa	Función opuesta a la intención de diseño		“inverso” + “caudal” = Flujo inverso

Fuente: Análisis del riesgo en instalaciones industriales Joaquim Casal- Helena Montiel-Eulàlia Planas. Editado por Universidad Politècnica de Catalunya, 1999, 1ra ed. España.

En general, las modificaciones al protocolo de análisis mantienen la utilización de las palabras guía para generar las desviaciones. Estas modificaciones se efectúan sobre dos aspectos:

- ◆ Modificación del protocolo de análisis para la generación de desviaciones, mediante la introducción de criterios para la selección de módulos críticos de estudio, utilización de listados de control, etc.
- ◆ Modificación de las cabeceras de las tablas de documentación del análisis, añadiendo columnas, índices numéricos, etc.

TABLA 2.4. MODELO ORIENTATIVO DE TABLA HAZOP					
SOCIEDAD: LOCALIDAD: INSTALACION:			FECHA: REVICIÓN: PLANO No.		
Palabra guía	Variable	Desviación	Causas posibles	Consecuencias posibles	Medidas correctoras
Fuente: Análisis del riesgo en instalaciones industriales Joaquim Casal- Helena Montiel-Eulàlia Planas. Editado por Universidad Politécnica de Cataluña, 1999, 1ra ed. España.					

#### b) ORGANIZACIÓN DEL ESTUDIO

Los análisis HAZOP son, en general, estudios multidisciplinares. La ejecución del estudio HAZOP requiere un conocimiento detallado del sistema que se quiere auditar y del protocolo de análisis, esta característica condiciona que el trabajo se realice en equipo, donde debe haber representantes de las distintas áreas de conocimiento implicadas en el proceso. Los miembros de los equipos de trabajo son de dos tipos:

- ◆ Técnicos y
- ◆ Los analistas de riesgo.

Los técnicos implicados en el estudio soportan el apartado técnico. Los componentes deben ser especialistas en las áreas de conocimiento implicadas en el estudio; es aconsejable que sean verdaderos expertos. Las áreas de conocimiento implicadas en cada estudio pueden variar substancialmente en función del objeto del mismo (refinerías, plantas químicas, centrales eléctricas, centrales nucleares, parques de almacenamiento de combustible, etc.) y del objetivo del estudio que se quiere desarrollar; diseño de nuevas instalaciones, revisión de instalaciones en funcionamiento, modificaciones, etc. Es recomendable que el número de especialistas que elaboran el estudio sea entre tres y seis; grupos menores pueden presentar una falta de conocimiento en determinados campos y grupos mayores suelen tener problemas organizativos.

Los analistas de riesgo deben dar soporte logístico al estudio, es decir, dirigir, moderar y documentar el análisis. Los analistas deben ser especialistas en aplicar la metodología HAZOP. Como tareas previas al desarrollo del HAZOP, tiene que definir el objetivo y el alcance del estudio, seleccionar el equipo técnico y formado en el método de análisis. Además, los analistas deben tener la formación necesaria para entender y controlar la discusión de forma satisfactoria.

El estudio se realiza en diversas sesiones de trabajo, de una duración no superior a dos ó tres horas, donde la carga de trabajo tiene que ser racional para motivar y estimular la creatividad, la imaginación y el intercambio de ideas (brainstorming) del equipo de estudio y garantizar así la utilidad de los resultados obtenidos.

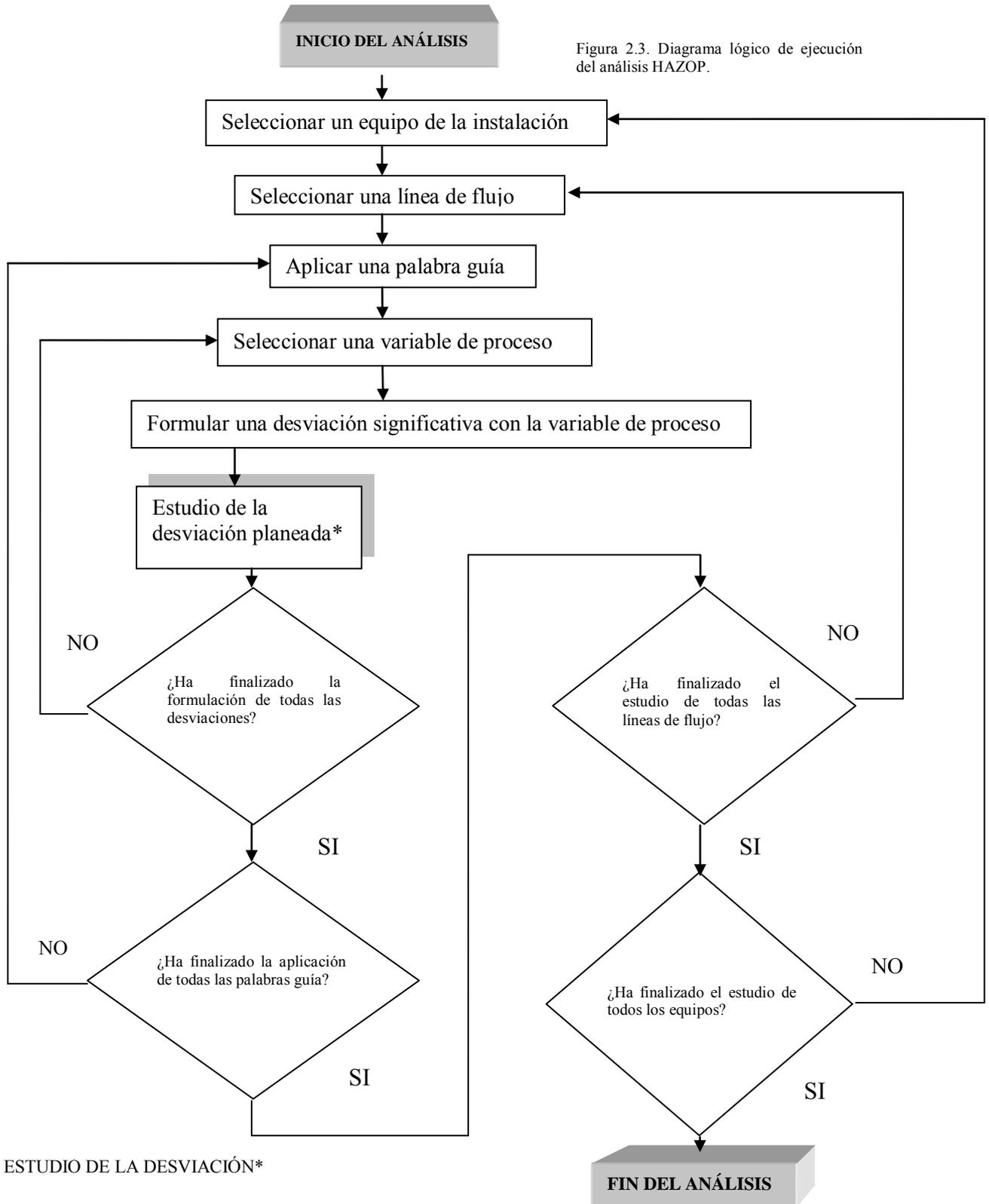


Figura 2.3. Diagrama lógico de ejecución del análisis HAZOP.

ESTUDIO DE LA DESVIACIÓN\*

- \*IDENTIFICACION DE LAS POSIBLES CAUSAS.
- \*IDENTIFICACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS POSIBLES.
- \*IDENTIFICACION DE LAS MEDIDAS DE PROTECCION.
- \*EVALUACIÓN DE LA ACEPTABILIDAD DEL RIESGO ASIGNADO AL PELIGRO IDENTIFICADO, (POCO HABITUAL, ESTA EVALUACION ES MAS PROPIA DE METODOLOGIAS TIPO FMEA).
- \*PROPUESTA DE LAS MEDIDAS CORRECTORIAES NECESARIAS.

c) *REQUISITOS Y LIMITACIONES*

El método de análisis HAZOP presupone tres hipótesis:

- ◆ La instalación está bien diseñada, en relación con la experiencia, el conocimiento de los procesos implicados y la aplicación de las normas y códigos pertinentes.
- ◆ Los materiales de construcción han sido los adecuados y la construcción y el ensamblaje se han hecho correctamente.
- ◆ Los análisis son una “fotografía instantánea” donde se mezclan sucesos de efecto inmediato con sucesos de elevada inercia temporal.

Los análisis HAZOP requieren, para ser desarrollados, que por lo menos el diseño del proceso sea completo en las partes más esenciales y que, en instalaciones en funcionamiento, la información este actualizada. El grado de detalle de la información disponible condiciona el grado de detalle y la corrección del análisis. La tabla 2.5 muestra de forma orientativa la información que puede ser necesaria para la realización del análisis.

MATERIA	INFORMACION REQUERIDA
Ingeniería del proceso	Estudios previos realizados. Emplazamiento de la instalación. Diagrama DTI `s (incluyendo la descripción detallada de la instrumentación). Descripción de la operativa de bloqueo de la instalación (automática y manual). Disponibilidad de los servicios. Química del proceso (si es necesario). Inventario de productos (si es necesario).
Substancias	Peligrosidad: características fisicoquímicas (inflamabilidad, explosividad, estabilidad, reactividad, etc). Toxicidad: dosis de exposición, efectos sobre la salud, etc.
Equipamiento	Características: materiales de construcción normas de diseño, etc), condiciones de trabajo y límites de operación (temperatura y presión máximas, etc).

Fuente: Análisis del riesgo en instalaciones industriales Joaquim Casal- Helena Montiel-Eulália Planas. Editado por Universidad Politécnica de Cataluña, 1999, 1ra ed. España.

d) *RESULTADOS Y APLICABILIDAD*

El resultado principal de los análisis HAZOP es un conjunto de situaciones peligrosas y problemas operativos y una serie de medidas orientadas a la reducción del riesgo existente ó a la mitigación de las consecuencias de los problemas operativos. Estas medidas se dan en forma de cambios físicos en las instalaciones, modificaciones de protocolos de operación ó recomendaciones de estudios posteriores para evaluar con más detalle los problemas identificados ó la conveniencia de las modificaciones propuestas.

El análisis HAZOP es un instrumento de estudio muy adecuado para procesos en fase de diseño y construcción, donde la documentación está totalmente actualizada y las recomendaciones del análisis no suponen modificaciones costosas y los paros que puedan existir en la planta.

Por otro lado, a causa de la laboriosidad del método y del grado de detalle que el estudio proporciona, el análisis HAZOP solo es indicado para instalaciones específicas y no como método general de análisis.

## 2.12. MATRIZ DE ÍNDICE Y CLASE DE RIESGOS EMPLEADA PARA EL ANÁLISIS DE PELIGROS Y OPERABILIDAD (HAZOP)

Una vez que se han identificado los Eventos – Riesgos que pueden afectar al proceso u área, está en condición de iniciar la Evaluación del Riesgo y calcular su Magnitud.

### a) CLASIFICACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS (C)

Rango	Consecuencia	Descripción
4	Catastrófico	Fatalidad/daños irreversibles y pérdidas de producción mayores a USD \$1,000,000.00
3	Severa	Heridas múltiples/daños mayores a propiedades y pérdidas de producción entre \$100,000 y \$1,000,000 USD
2	Moderada	Heridas ligeras/daños menores a propiedades y pérdidas de producción entre \$10,000 y \$100,000 USD.
1	Ligera	No hay heridas/daños mínimos a propiedades y pérdidas de producción menores a \$ 10,000 USD.

Fuente: Guidelines for Hazard Evaluation Procedures, Center for Chemical Process Safety, American Institute of Chemical Engineer. 1992. Pg 209.

### a) ESTIMACIÓN DE LA PROBABILIDAD (P)

Dice relación con la probabilidad de ocurrencia del evento no deseado, que tiene el potencial de producir daño a los bienes físicos y al medio ambiente.

Categoría	Evento	Tiempo en años entre fallas	Rango de probabilidad por año	Definición (con base en el tiempo de vida de operación de la planta)
1	Raro	100 a 320	0.01 a 0.003	No esperado que ocurra
2	Eventual	32 a 100	0.03 a 0.01	Posibilidad remota de que ocurra
3	Posible	10 a 32	0.1 a 0.03	Esperando que ocurra una vez
4	Probable	3 a 10	0.3 a 0.1	Esperando que ocurra más de una vez
5	Frecuente	1 a 3	1 a 0.3	Esperando ocurra cuando menos anualmente

Fuente: Guidelines for Hazard Evaluation Procedures, Center for Chemical Process Safety, American Institute of Chemical Engineer. 1992. Pg 209.

### b) EVALUACIÓN DEL RIESGO

El Riesgo permite clasificar a estos para priorizar las acciones de control en las etapas de diseño de los proyectos.

$$R = C \times F \dots \dots \dots \text{ec. 2.1}$$

DONDE:

R = Riesgo  
C = Consecuencia  
F = Frecuencia

<sup>3</sup>Nota: Cada empresa cliente define los márgenes de pérdidas.

Para visualizar la clasificación se construye la matriz de jerarquización de riesgo, utilizando la categoría de la consecuencia y la frecuencia de ocurrencia del evento, como dimensiones de la matriz.

Índice de Frecuencia de Riesgo			Consecuencia			
			Ligero	Moderado	Severo	Catastrófico
<b>Frecuencia</b>	Frecuente	5	5	10	15	20
	Probable	4	4	8	12	16
	Posible	3	3	6	9	12
	Eventual	2	2	4	6	8
	Raro	1	1	2	3	4

Fuente: NOM-EM-001-SECRE-2002

De acuerdo a la Magnitud del Riesgo se definen cuatro niveles de criticidad: **acceptable**, **acceptable con controles**, **indeseable e inacceptable**, según los rangos que se muestran en la tabla 2.9.

Rango	Riesgo	Descripción
1,2 y 3	Aceptable	Riesgo generalmente aceptable
4 a 6	Aceptable con controles	Se debe de revisar y en su caso modificar los procedimientos de control de proceso.
8 y 9	Indeseables	Se debe revisar y en su caso modificar los procedimientos y controles, tanto de ingeniería como administrativos, en un período de 3 a 12 meses.
12 a 20	Inaceptable	Se debe revisar y en su caso modificar los procedimientos y controles, tanto de ingeniería como administrativos, en un período de 3 a 6 meses.

Fuente: NOM-EM-001-SECRE-2002

De esta manera, conociendo el nivel de los riesgos identificados, se obtiene un inventario priorizado de los riesgos a los bienes físicos y de inversión en análisis.

### 2.13. ANÁLISIS POR ÁRBOLES DE FALLOS

La elaboración de árboles de fallos (fault tree (FT)) es una técnica de análisis creada por Bell Telephone Laboratories al inicio de la década de los sesenta, para mejorar la fiabilidad del sistema de control del lanzamiento de cohetes. Posteriormente, su utilización se extendió a otros campos de la industria y, en especial, fue muy empleada en la industria nuclear.

#### 2.13.1. DESCRIPCIÓN Y OBJETIVO

La utilización de árboles de fallos es una técnica deductiva que se aplica a un sistema técnico ó proceso para la identificación de los sucesos y las cadenas de sucesos que pueden conducir a un incidente no deseado, en general un accidente ó un fallo global de un sistema. Esta técnica permite asimismo la cuantificación de la probabilidad ó frecuencia con que puede producirse un suceso, es decir, permite el cálculo de la no fiabilidad ó no disponibilidad del sistema.

La ventaja principal de esta técnica es su representación grafica, que facilita la comprensión de la causalidad; de hecho, un árbol de fallos como tal es un modelo grafico en forma de árbol invertido que ilustra la combinación lógica de fallos parciales que conducen al fallo del sistema.

La relación lógica entre los sucesos es representada por los operadores lógicos “Y”, “O”, “INH” (el operador condicional).

Los fallos que se dan en sistemas técnicos pueden ser básicamente de dos tipos:

- ◆ Fallos primarios: Aquellos atribuibles a defectos de los componentes y no a la interacción con el exterior (pej, una soldadura mal hecha, etc.).
- ◆ Fallos secundarios: Aquellos atribuibles a la interacción del exterior con los componentes (pej, la rotura de un motor eléctrico por giro inverso al conectar las fases al revés, etc.). Esto siempre son el resultado de condiciones anómalas de funcionamiento y tienen una causa bien definida.

La distinción de los conceptos-sucesos iniciadores, protecciones del sistema e intervención operativa ayudan en la elaboración y comprensión del árbol:

- ◆ Los sucesos iniciadores, también denominados sucesos ó fallos primarios, son los responsables primeros de una variación no deseada en el proceso.
- ◆ Las protecciones del sistema son aquellas que permiten frenar la propagación de esta desviación de las condiciones normales de operación y se representan mediante las puertas lógicas “INH”.
- ◆ La intervención operativa es la última intervención del operador para evitar que se produzca el suceso no deseado.

Los conjuntos mínimos de corte ó conjuntos mínimos (minimal cut sets) son los diferentes conjuntos de fallos críticos que al producirse provocan la anomalía global del sistema. El conocimiento de estos conjuntos de fallos primarios permite detectar los puntos débiles de la instalación analizada con la metodología del árbol de fallos.

La figura 2.4. Muestra la simbología de los sucesos y las puertas u operadores lógicos utilizados en los árboles de fallos.

#### *a) METODOLOGÍA DE ELABORACIÓN Y DE ANÁLISIS*

El primer paso para la elaboración de un árbol de fallos es un estudio previo del sistema ó proceso que se quiere analizar con el fin de determinar los incidentes susceptibles de ser analizados y evaluados. Este estudio suele realizarse con otras técnicas de identificación, como las que se han presentado a lo largo del capítulo análisis HAZOP, etc. Una vez determinados los accidentes que se quieren desarrollar, deben establecerse los límites de la instalación: límites físicos, nivel de detalle de la resolución, condiciones iniciales de funcionamiento y otros supuestos.

Seguidamente, y de manera secuencial, es necesario identificar los fallos de los elementos y las relaciones lógicas que conducen al accidente. La identificación de los sucesos y las cadenas de sucesos se hace partiendo de la eventualidad no deseada y deduciendo la combinación lógica de incidentes que lo pueden desencadenar de forma recurrente. El primer paso es la determinación de los sucesos más inmediatos necesarios y suficientes para que se produzca el fallo del sistema. Con esta forma de operar, para cada nuevo hecho planteado, se generan los árboles de fallos. El proceso finaliza cuando todos los fallos identificados son primarios y no es posible determinar sus causas.

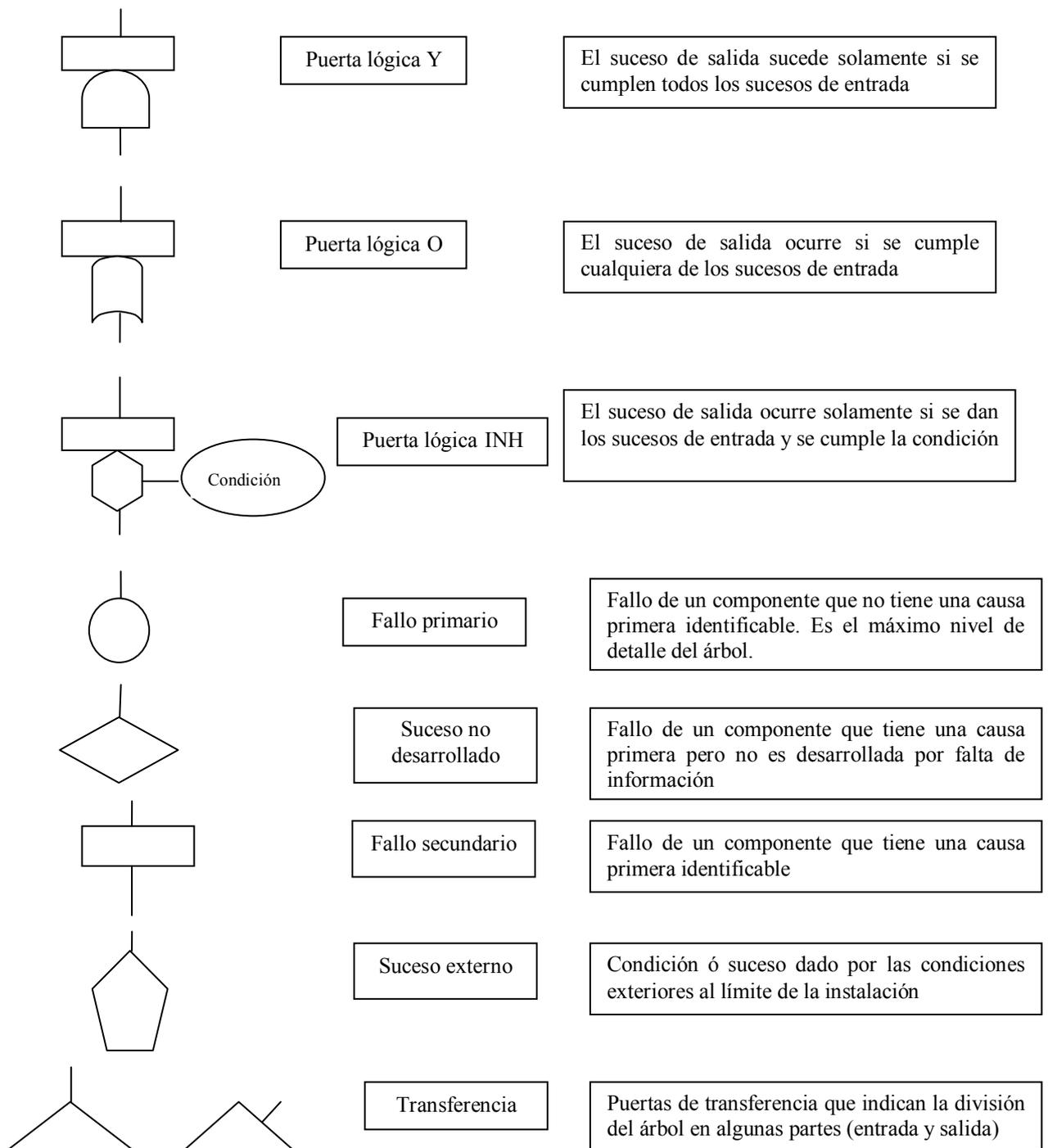


Figura.2.4. Simbología utilizada en los árboles de fallos.

### b) ANÁLISIS

Los árboles de fallos contienen la información de cómo la concatenación de diferentes fallos conduce al fallo global del sistema. Desgraciadamente, esta información no resulta muy evidente en árboles de fallos de tamaño considerable y debe, pues, resolverse el modelo lógico que representa el árbol. Esta resolución se denomina análisis del árbol y consiste principalmente en encontrar la combinación de fallos primarios que pueden producir el accidente estudiado.

### *c) RESULTADOS Y APLICABILIDAD*

El interés de los árboles de fallos para la identificación de riesgos reside en la capacidad de identificar la combinación de fallos críticos del sistema que produce el accidente, es decir, los conjuntos mínimos de corte. Esto permite priorizar las medidas correctivas para evitar el desarrollo del accidente, normalmente, los árboles de fallos se utilizan para estudiar situaciones particulares que requieren de un estudio más detallado y que otras técnicas de identificación han señalado como críticas; otra utilidad de los árboles de fallos es la comparación de modificaciones en el diseño de la instrumentación de control y en las medidas de seguridad de instalaciones concretas.

## **2.14. ANÁLISIS POR ÁRBOLES DE EVENTOS**

El análisis por árbol de eventos evalúa el potencial de un accidente que es el resultado de un tipo general de avería del equipo ó una alteración en el proceso (conocido como iniciación de un suceso). A diferencia del análisis de árbol de fallos (un proceso de razonamiento deductivo), el análisis del árbol de eventos es un proceso de razonamiento inductivo donde el analista comienza con una iniciación del evento y desarrolla las posibles secuencias de eventos que conducen a los posibles accidentes, contando con los éxitos y los fracasos de cualquiera de las funciones de seguridad asociadas, es como el accidente avanza. Los árboles de eventos proporcionan una forma sistemática de la grabación de secuencias de accidentes y la definición de las relaciones entre la iniciación de los eventos y los sucesos posteriores que resultan en accidentes.

Los árboles de eventos son muy adecuados para iniciar el análisis de eventos que podrían resultar en una variedad de resultados. Un árbol de eventos hace hincapié en la causa inicial de los posibles accidentes del trabajo y de la iniciación de los eventos para los sucesos de los efectos finales. Cada rama del árbol de eventos representa un caso aparte de la secuencia del accidente que es un conjunto claramente definido de relaciones funcionales entre las funciones de seguridad para iniciar un evento.

### **2.14.1. PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS**

El procedimiento general para el análisis por árbol de eventos consiste en seis pasos:

(1) Identificación de la iniciación de los eventos de interés que pueden resultar en el tipo de accidente son motivo de preocupación, (2) la identificación de las funciones de seguridad diseñadas para mitigar el suceso de la iniciación, (3) construcción del árbol de eventos, (4) describir la secuencia resultante de los resultados de los accidentes (5) la determinación de la secuencia del accidente establece un mínimo corte, y (6) documentar los resultados. Cada uno de estos pasos se discuten a continuación.

#### *1) INICIAR LA IDENTIFICACIÓN DE UN SUCESO DE INTERÉS*

Seleccione un evento inicial es una parte importante del análisis del árbol de eventos. Este evento debe ser un sistema ó equipo averiado, un error humano, ó un proceso que puede contener contratiempos en los efectos de interés, dependiendo de qué tan bien este el sistema ó los operadores responden al suceso. En la mayoría de las aplicaciones el análisis de árbol de eventos, la iniciación del suceso es "anticipar", es decir, el diseño de la planta incluye sistemas de barreras, ó procedimientos que se destinan para responder y mitigar los efectos de la iniciación del evento.

## 2) *LA IDENTIFICACIÓN DE LAS FUNCIONES DE SEGURIDAD DISEÑADAS PARA MITIGAR LA INICIACIÓN DEL EVENTO*

Las funciones de seguridad (sistemas de seguridad, operador de acciones, etc.) que responden a la iniciación del suceso se puede considerar como la planta de las defensas contra las consecuencias de iniciar el evento. Estas funciones de seguridad incluyen:

- ◆ Los sistemas que responden automáticamente al iniciar el evento (incluidos los sistemas de apagado automático).
- ◆ Alarmas que alertan al operador cuando se produce la iniciación del suceso.
- ◆ Operador de acciones destinadas a realizar en respuesta a las alarmas ó como es requerido por los procedimientos.
- ◆ Sistema de acciones de mitigación, tales como los sistemas de enfriamiento, sistemas de alivio de presión, y sistemas de depuración.
- ◆ Barreras de contención ó de métodos que tienen por objeto limitar los efectos de la iniciación de los acontecimientos.

En particular, estas funciones de seguridad influyen en los efectos finales de cualquier accidente resultante de la iniciación del evento. El analista debe identificar, en el orden cronológico en el que se espera que respondan, todas las funciones de seguridad que pueden mitigar el efecto de la iniciación del evento. Las descripciones de estas funciones de seguridad deben indicar su propósito. Los éxitos y los fracasos de las funciones de seguridad se representan por el árbol de eventos.

## 3) *CONSTRUCCIÓN DEL ÁRBOL DE EVENTOS*

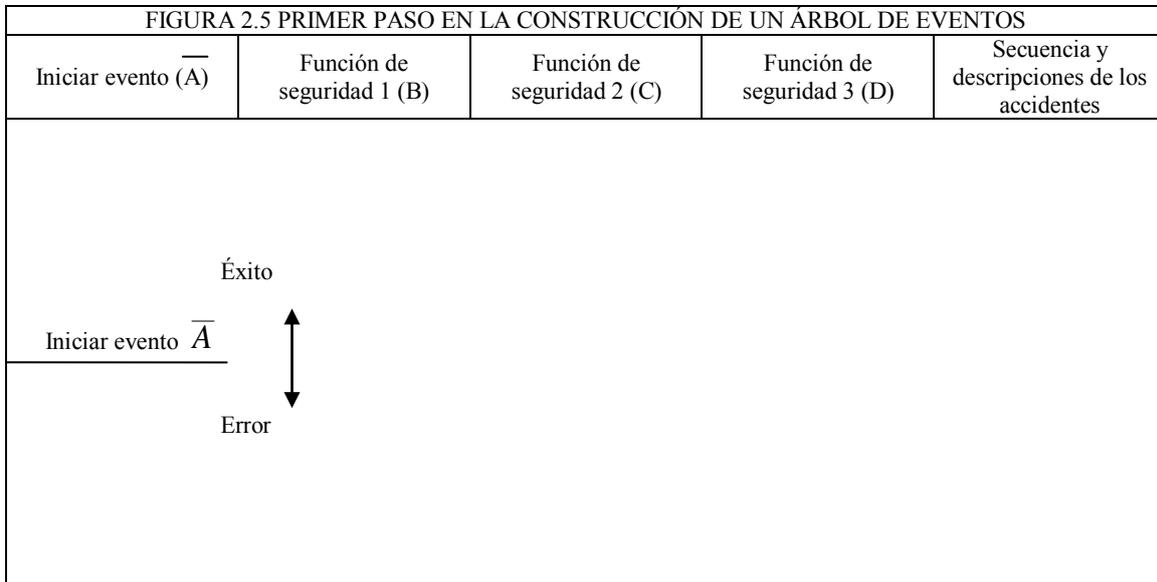
El árbol de eventos muestra el desarrollo de secuencias de accidentes, a partir de iniciar con el suceso y proceder al control de seguridad y las respuestas del sistema. Los resultados están claramente definidos los accidentes que pueden resultar de iniciar el evento. Un analista trata de establecer las acciones de las funciones de seguridad por orden cronológico, aunque muchas veces los acontecimientos pueden ocurrir casi simultáneamente.

El analista debe estudiar detenidamente los factores en el proceso normal de control de respuesta a las condiciones de alteración a la hora de evaluar la respuesta al sistema de seguridad dañada.

El primer paso en la construcción del árbol de eventos es entrar en la iniciación del evento y de las funciones de seguridad que se aplican a los análisis. La apertura del evento se muestra en el lado izquierdo de la página, y las funciones de seguridad se enumeran en la parte superior de la página. La Figura 2.5 muestra el primer paso completado por accidentes genéricos. Debajo de la línea de apertura se representa la progresión de la ruta desde el accidente ocurrido del evento para iniciar la primera función de seguridad.

El siguiente paso es evaluar la función de seguridad. Normalmente sólo se consideran dos posibilidades: éxito ó fracaso de la función de seguridad. El analista debe asumir que la iniciación del evento se ha producido, definir el éxito ó fracaso son criterios para la función de seguridad, y decidir si el éxito ó el fracaso de la función de seguridad afecta el curso del accidente. Si el accidente se ve afectado, el árbol de eventos se divide (es decir, en un punto de la ramificación) en dos caminos para distinguir entre el éxito y el fracaso de la función de seguridad. Normalmente, el éxito de la función es identificado por un camino ascendente, y el fracaso de la función, por un camino hacia abajo.

Si la función de seguridad no afecta el curso del accidente, el producto del camino del accidente, sin un punto de la ramificación, pasa a la siguiente función de seguridad.

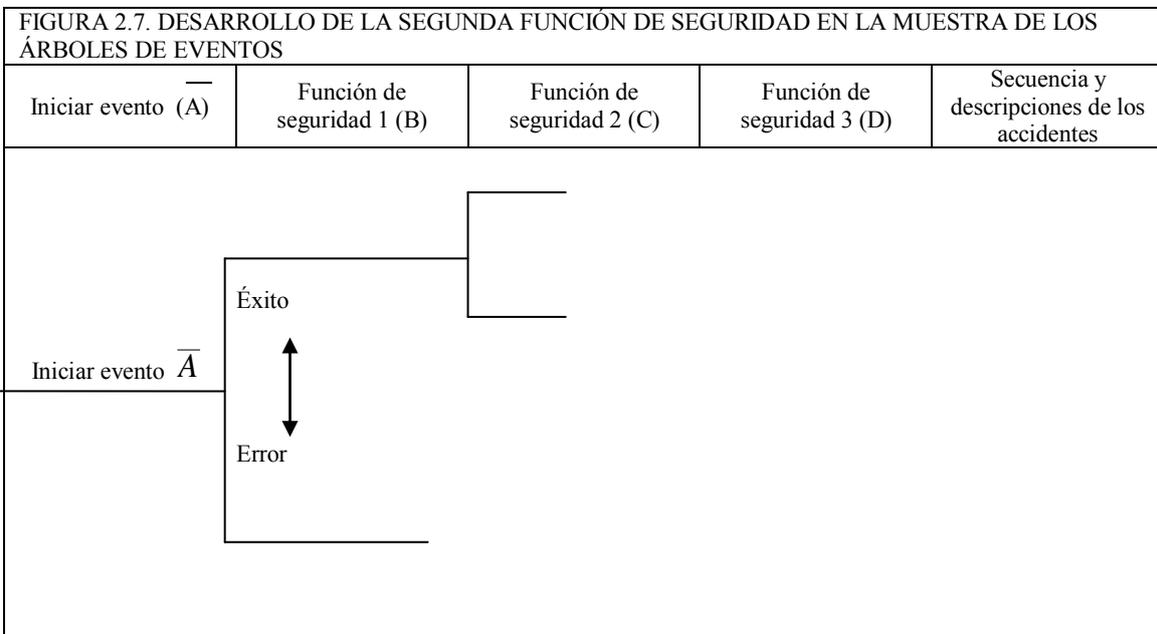
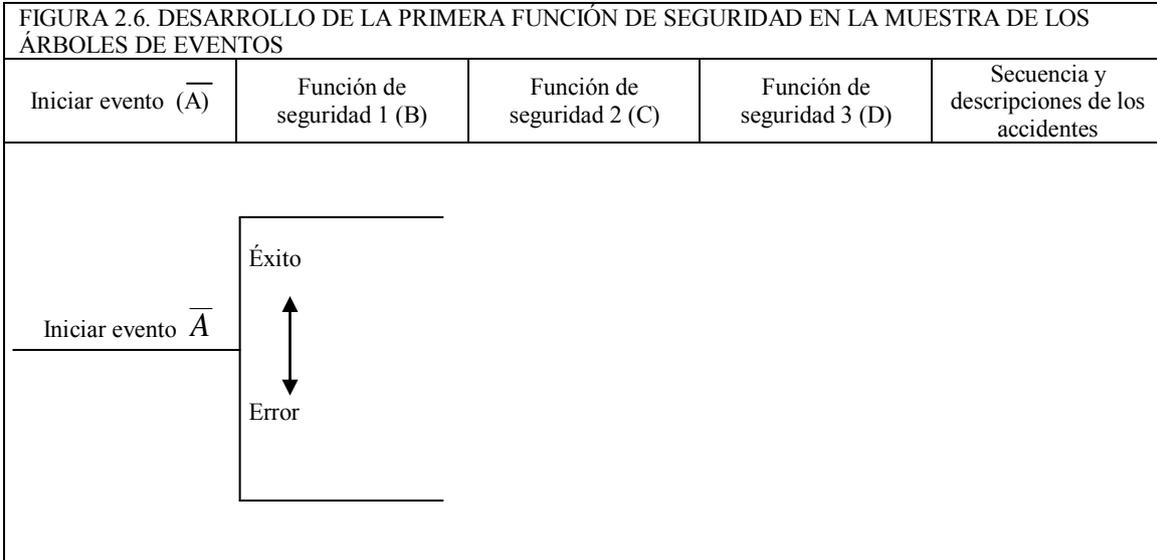


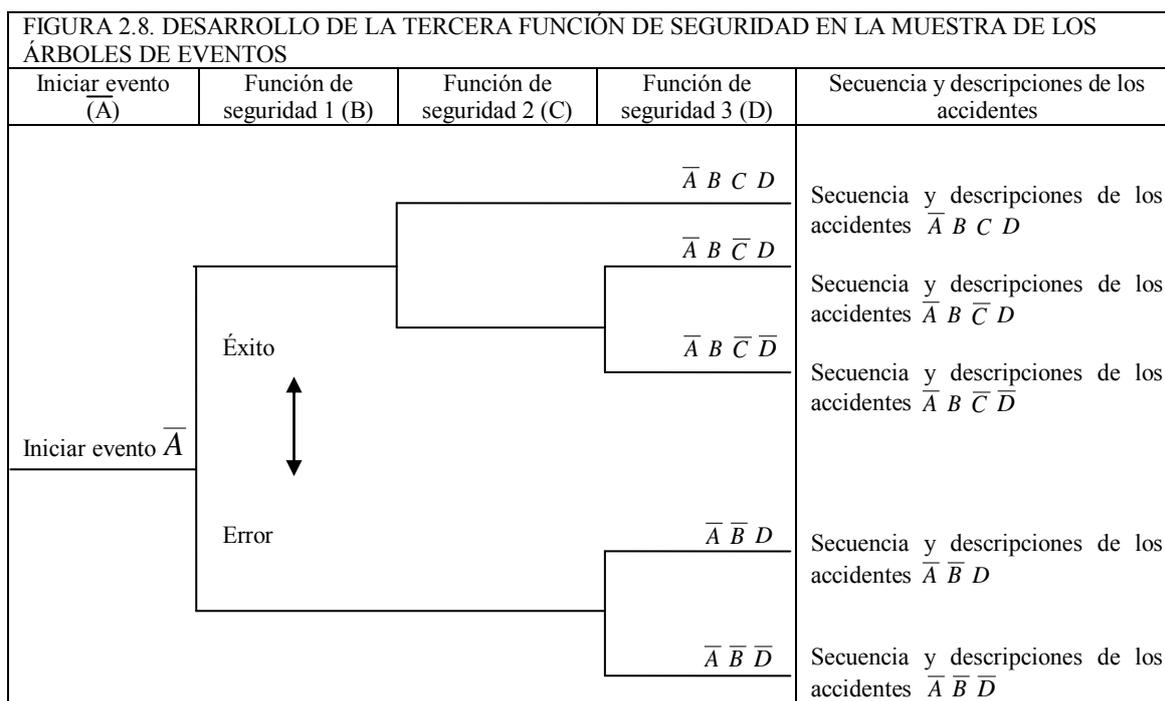
Las letras (por ejemplo, A, B, C ó D) se utilizan para indicar el éxito de la función de seguridad, y con "barras" en las letras indican el fracaso de la función (por ejemplo,  $\bar{A}$ ,  $\bar{B}$ ,  $\bar{C}$  ó  $\bar{D}$ ). Para nuestro ejemplo, la primera función de seguridad no afecta el curso del accidente, como lo demuestra el punto de la ramificación que se ilustra en la figura 2.6.

Cada punto de la rama desarrollada en el árbol de eventos crea un camino adicional del accidente más que debe ser evaluado individualmente para cada uno de los sistemas de seguridad. Al evaluar una función de seguridad sobre un camino accidentado, el analista debe asumir previamente los éxitos y los fracasos que se han producido como dicta el camino. Esto puede verse en el ejemplo, cuando la segunda función de seguridad se evalúa (figura 2.7).

La parte superior del camino requiere de un punto de ramificación ya que la primera función de seguridad fue un éxito, pero la segunda función de seguridad todavía puede influir en el curso del accidente. El más bajo permite que la segunda ruta de función de seguridad no tenga la oportunidad de influir en el curso del accidente si la primera función de seguridad falla. La ruta más baja del accidente beneficia directamente a la tercera función de seguridad.

La Figura 2.8, muestra terminado el árbol de eventos para nuestro ejemplo. El camino más alto del accidente no tiene punto de ramificación para la tercera función de seguridad, ya que, en el diseño de este sistema, una perturbación no desafía a la tercera función, si la primera y segunda funciones de seguridad tuvieron éxito. El otro camino del accidente contiene puntos de ramificaciones para la tercera función de seguridad, ya que todavía pueden influir en el resultado de los caminos del accidente.





#### 4) DESCRIPCIÓN DE LA SECUENCIA RESULTANTE DE LOS RESULTADOS DE LOS ACCIDENTES

El siguiente paso del procedimiento del análisis del árbol de eventos es describir los resultados de las diferentes secuencias de accidentes. Las secuencias que representan la variedad de resultados que puede seguir a la iniciación del evento. Uno ó más de las secuencias pueden representar un seguro de recuperación y un retorno a las operaciones normales, ó un cierre ordenado. Las secuencias de importancia, forman un punto de vista de seguridad, son los que resultan en consecuencias de interés.

#### 5) DETERMINAR LA SECUENCIA DE ACCIDENTES DE UN MÍNIMO CORTE FIJO

Las secuencias de accidentes en un árbol de eventos pueden analizarse de la misma manera que los árboles de fallos son analizados para determinar que establece su corte mínimo. Cada accidente representa una secuencia lógica "ANDing" de iniciar el evento y los fallos en el sistema de seguridad posteriores. Así, cada secuencia se puede considerar como un árbol de fallos del accidente como la descripción de la secuencia principal del evento, seguido de Y y que contiene la puerta de la iniciación del evento y todos las contribuciones de seguridad los fallos del sistema. El sistema de seguridad y sus fracasos de modelos lógicos debe asumir que el éxito se define en funciones de seguridad posteriores que se han producido.

#### 6) DOCUMENTAR LOS RESULTADOS

El paso final en el desempeño de un análisis de árbol de eventos es el de documentar los resultados del estudio. El analista de riesgo debe proporcionar una descripción del sistema analizado, una discusión de la definición del problema, incluido el accidente de iniciar los eventos analizados, una lista de supuestos, el modelo(s) del árbol de eventos que fueron desarrollados, las listas de secuencias de accidentes de corte mínimo fijo, una discusión de las consecuencias de las distintas secuencias de accidentes, así como una evaluación de la importancia de la secuencia de accidentes. Además, las recomendaciones que surgen de los análisis del árbol de eventos se deben presentar.

---

C  
A  
P  
Í  
T  
U  
L  
O

3

**APLICACIÓN DEL ANÁLISIS HAZOP,  
ANÁLISIS POR ÁRBOLES DE FALLOS  
Y  
ANÁLISIS POR ÁRBOLES DE EVENTOS**

---

### 3.- APLICACIÓN DEL ANÁLISIS HAZOP, ANÁLISIS POR ÁRBOLES DE FALLOS Y ANÁLISIS POR ÁRBOLES DE EVENTOS

#### 3.1. SURFACTANTES BIODEGRADABLES

Los surfactantes (a menudo llamados detergentes) son sustancias anfífilas utilizadas como agentes de limpieza en una gran variedad de aplicaciones, tanto domésticas como industriales. El consumo de surfactantes sintéticos a gran escala se inició a mediados del siglo pasado, siendo los alquilbenzenosulfonatos los compuestos más utilizados.

Los primeros surfactantes sintéticos estaban basados en cadenas alquílicas ramificadas.

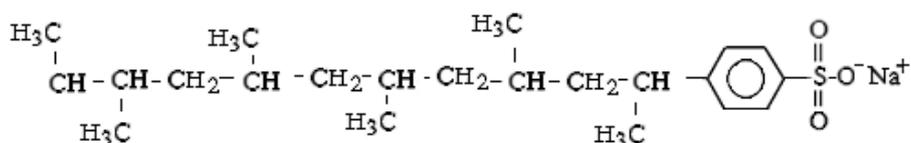


Figura 3.1. Sulfonato de alquilbenzeno (SAB), ramificado.

La estabilidad química de estas cadenas es elevada, con lo que la acumulación de residuos de surfactantes en el medio hidrosférico originaba importantes y persistentes formaciones de espumas en los cursos de agua, además de alcanzar niveles de surfactante en disolución tóxicos para la población acuática.

En la actualidad, la parte hidrófoba de la molécula de surfactante es una cadena hidrocarbonada lineal (LAS, Lineal Alquilbenzene Sulfonate), con lo que la estabilidad química de la molécula es mucho menor, y se degrada en el medio hidrosférico.

#### 3.2. CLASIFICACIÓN DE LOS DETERGENTES

Los detergentes se han dividido en cuatro grupos principales:

- ◆ Aniónicos (la parte activa de la molécula es el anión, ion -)
- ◆ Catiónicos (la parte activa es el catión, ion +)
- ◆ No iónicos (no se disocia)
- ◆ Anfotéricos (pueden comportarse como aniónicos y catiónicos)

##### 3.2.1. ANIÓNICOS

El ión activo en disolución está cargado negativamente. En el mercado se encuentran muchas variedades sintéticas. Tienen excelente poder dispersante y humectante, siendo especialmente útiles en la eliminación de ácidos grasos ó suciedades inorgánicas (tipo polar). Son malos bactericidas y se utiliza sólo por sus propiedades de detergentes. Dentro de este grupo se encuentran las siguientes sustancias:

Jabones (sales sódicas de ácidos grasos) (R-COONa).

Alquilsulfatos (R-CH<sub>2</sub>-O-SO<sub>3</sub>Na) (uno de los más usados es el laurilsulfato sódico).

Alquilsulfonatos (R-CH<sub>2</sub>-SO<sub>3</sub>Na).

##### 3.2.2. CATIÓNICOS

Estos surfactantes en disolución acuosa dan iones cargados positivamente. Son malos detergentes, pero excelentes bactericidas, utilizándoseles por sus propiedades desinfectantes. Los más importantes son los amonios cuaternarios. Las principales sustancias de este grupo son:

Cloruro de benzalcoilo.  
Sulfato de dodeciletanolamina pirimidina.  
Aminas.  
Aminas etoxiladas.

No son normalmente utilizados en combinación con otros agentes deterisivos pues, dadas sus cualidades como germicidas, se suelen utilizar en la etapa de desinfección, y como se ha señalado no es conveniente reunir en una sola operación deterción y desinfección.

### 3.2.3. NO IÓNICOS

Los agentes de superficie no iónicos no se disocian en disolución. No dan lugar a iones en solución acuosa por lo que consecuentemente no son prácticamente afectados por la dureza del agua. Son poderosos emulsionantes y se utilizan para emulsionar suciedades y tierras coloidales, porque son inertes a la carga eléctrica presente en los coloides. Los agentes surfactantes no iónicos tienen una acción espumante pronunciada que pueden conducir a dificultades, especialmente en la eliminación de los desechos de detergentes contaminados.

Los más comunes están formados por condensados de varias moléculas de óxido de etileno sobre un radical hidrófobo (generalmente ácidos grasos), también son comunes los ésteres de sacarosa y de ácidos grasos.

### 3.2.4. ANFÓTEROS

Son mucho menos utilizados, se comportan en medio alcalino como aniónicos y en medio ácido como catiónicos. Dentro de este grupo están las betainas y los ácidos alquilaminocarboxílicos, que son empleados como desinfectantes por sus propiedades bactericidas. En detergentes se emplean como agentes espumantes.

## 3.3. DETERGENTES SINTÉTICOS

Aunque los detergentes sintéticos varían considerablemente en cuanto a estructura, todas sus moléculas tienen una característica común que comparten con el jabón ordinario:

Son anfipáticas y tienen una cadena saturada no polar muy larga, soluble en aceites, y un extremo polar soluble en agua. Los alcoholes  $C_{12}$  a  $C_{18}$  se convierten en sales de los ácidos alquilsulfúricos. Por ejemplo:



Figura 3.2. Reacción para obtener laurilsulfato de sodio a partir del alcohol laurílico.

En éstos, la cadena larga corresponde al extremo no polar, y el polar al grupo ( $-OSO_3^-Na^+$ ). Los detergentes que probablemente se emplean más son las sales sódicas de ácidos alquilbencensulfónicos. Se enlaza un grupo de cadena larga a un anillo bencénico por medio de un catalizador de Friedel-Crafts, un halogenuro de alquilo, alqueno ó un alcohol. El detergente resulta de una sulfonación seguida de una neutralización.

El alquilsulfonato lineal, ASL ó LAS, por sus siglas en ingles (linear alkyl sulfonate).

El LAS ó ASL, un bencensulfonato, tiene la fórmula estructural general ilustrada abajo, figura (3.3.), donde el anillo del benceno puede unirse a cualquier punto en la cadena alquílica excepto a los extremos:

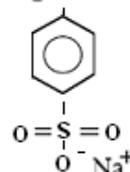
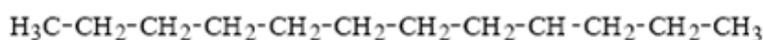


Figura 3.3. Estructura de un alquilbencensulfonato lineal.

El LAS ó ASL es más biodegradable que el ABS ó SAB por que la porción alquílica del LAS no está ramificada y no contiene el carbono terciario que es tan perjudicial para la biodegradabilidad dentro de la ramificación.

Los jabones y detergentes se componen de moléculas que contienen grupos hidrocarbonados grandes, el grupo hidrófobo (repelente al agua) y uno ó más grupos polares, grupos hidrófilos (afines al agua) (figura 3.4.). Las partes no polares de tales moléculas se disuelven en las grasas ó aceites y las porciones polares son solubles en agua. Las propiedades de limpieza de los jabones y detergentes dependen de su capacidad para formar emulsiones con los materiales solubles en las grasas, en las que las moléculas del jabón ó del detergente rodean la “suciedad” hasta incluirla en una envoltura solubilizante en agua denominada micela. Las partículas sólidas de suciedad se dispersan en la emulsión.

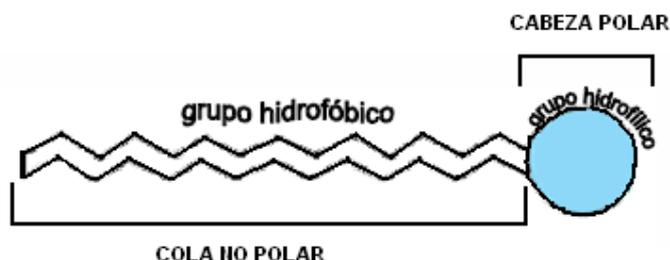


Figura 3.4. Representación del detergente.

El aceite no se desprende simplemente de los platos ó la ropa al lavarlos con agua porque es no polar y, por lo tanto, es insoluble en ella. En vez de ello, agregamos jabón al agua para arrastrar el aceite. Las moléculas no polares del aceite interaccionan con las colas no polares de hidrocarburo de las moléculas de jabón, dejando las cabezas polares del jabón para interaccionar con las moléculas circundantes de agua. Después, el aceite se mezcla con el agua (figura 3.5.). Si el material aceitoso sobre un pedazo de tela ó un plato también contienen algunas partículas de mugre, la emulsión formada arrastrará dicha suciedad.

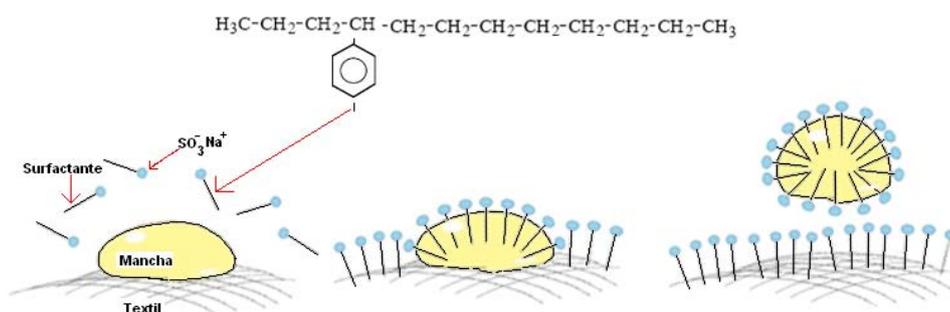


Figura 3.5. Forma en que actúa el detergente sobre la “suciedad”.

### 3.4. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE DETERGENTE BIODEGRADABLE

El proceso del detergente biodegradable consta de las siguientes áreas:

- 1.- Manejo y recepción de materias primas.
- 2.- Área de gas (obtención del trióxido de azufre).
  - a) Fundición de azufre.
  - b) Sistema de suministro de aire.
  - c) Producción de SO<sub>2</sub> con aire seco.
  - d) Enfriamiento del SO<sub>2</sub>.
  - e) Conversión de dióxido a trióxido de azufre.
  - f) Enfriamiento del SO<sub>3</sub>.
- 3.- Sulfonación.
- 4.- Sulfatación.
- 5.- Neutralización.
- 6.- Sección de preparación de la pasta.
- 7.- Sección de secado.
  - a) Sección del secado (partículas que no son tamizadas).
- 8.- Sección de perfumado y transporte.
- 9.- Sección de empaque.
- 10.- Sistema de tratamiento de gases efluentes.

#### MATERIAS PRIMAS:

Para la producción del detergente biodegradable se requiere de las siguientes materias primas:

- ◆ Alquilbenceno lineal.
- ◆ Alcohol láurico.
- ◆ Alcohol láurico etoxilado.
- ◆ Azufre.
- ◆ Aire.
- ◆ Hidróxido de Sodio (solución).
- ◆ Agua.

#### AGENTES ADICIONALES:

- ◆ Mejorador (builder): Tripolifosfato sódico.
- ◆ Inhibidores de la corrosión: Sódico, silicato.
- ◆ Agente anti-depositante: Carboximetilcelulosa.
- ◆ Abrillantadores ópticos: Colorantes fluorescentes.
- ◆ Añiles: Azul ultramar.
- ◆ Agentes antimicrobianos:
  - a) Difenilurea.
  - b) Salicilanilidas.

#### 1.- MANEJO Y RECEPCIÓN DE MATERIAS PRIMAS

En primer lugar tenemos al alquilbenceno lineal (ABL), N° CAS 68442-69-3, que se transporta en pipas ó en furgones metálicos ya que este es un derivado del petróleo y se encuentra en estado líquido. Su almacenamiento será con ventilación a ras del suelo.

Para el almacenamiento del ABL, se cuenta con 5 tanques atmosféricos verticales a temperatura ambiente, con una capacidad nominal de 485.6 ton y una capacidad real de 460 ton.

La descarga en la planta será en el área de tanques de almacenamiento, el ABL puede cargarse de las pipas a cualquiera de los tanques por medio de bombas de transferencia tipo centrifuga horizontal, contando con válvulas de control (on /off).

También se recibe el alcohol laúrico (AL). N° CAS 112-53-8, Va del líquido-sólido, con olor ceroso, terroso, jabonoso, graso, miel y es incoloro. Su punto de ebullición es de 259°C. Es insoluble en agua. Guardar en recipientes herméticos en un lugar fresco, seco y bien ventilado, apartado de fuentes de calor y de la luz directa del sol. Protéjase de fuentes de ignición. Evítese la acumulación de cargas electroestáticas. No se almacenará este producto cerca de alimentos ó agua de bebidas.

Alchol laurico etoxilado. N° CAS 68131-39-5.

El azufre (S), N° CAS 7704-34-9, se encuentra en estado sólido y se deposita en un hoyo en la tierra para su almacenamiento. Este se recibe en camiones ó en furgones. (Ver descripción más detallada en el punto 2 inciso “a” fundición de azufre).

El hidróxido de sodio (NaOH), N° CAS 1310-73-2, deberá estar alejado del agua, ácidos y alejado del alcohol laúrico. Se recibe en pipas en estado líquido (diluido al 50%), para esto se cuenta con un sencillo sistema de almacenamiento con una capacidad nominal de aproximadamente 110 ton y una capacidad real de 93.5 ton. De material.

Se cuenta con bombas centrifugas horizontales de carga y descarga y control de nivel, el material de construcción es de acero al carbón recubierto.

Para el Tripolifosfato de sodio, N° CAS 7758-29-4, es un polvo el cual se almacenara en tanques de plástico bien sellados alejados de la humedad ya que se hidrata muy fácilmente se llevarán al almacén por el personal calificado.

Para el silicato Sódio, N° CAS 1344-09-8, su almacenamiento deberá estar separado de ácidos fuertes, aluminio, agua y zinc. Su estado es una solución acuosa incolora al 25-50% de silicato de sodio.

Por lo que su almacenamiento será en tanques y su transporte será en camiones cisterna, cuando se reciban los camiones se procede a conectarse a la toma de la línea que le corresponde a este reactivo y será bombeado por la bomba de la planta para almacenar el líquido en los tanques para el mismo.

Para el carboximetilcelulosa (CMC), N° CAS 9004-32-4, su almacenamiento deberá estar alejado del agua, se recibe en barriles bien sellados su manejo será por el personal calificado.

El azul ultramar es un polvo excelente corrector de blancos y neutralizante de tonos amarillentos. No da lugar a metamerismo (diferencias de color según el iluminante), lo cual es un importante valor añadido. Esta característica blanqueante es valorada en muchos campos de aplicación. Se recibe en tambores de fibra bien sellados se colocaran en un lugar seco, sin humedad y se llevaran al almacén por el personal calificado.

Difenilurea es un sólido que se maneja en tambores de plástico bien sellados, alejado del agua y del alcohol laúrico.

Salicilanilidas es un sólido que se maneja en tambores de plástico bien sellados, alejado del agua y del alcohol laúrico.

## 2.- ÁREA DE GAS (OBTENCIÓN DEL TRIÓXIDO DE AZUFRE)<sup>4</sup>

### a) FUNDICIÓN DE AZUFRE

En esta etapa se recibe la materia prima que es azufre<sup>5</sup> el cual se recibe en estado sólido en furgones ó en camiones los cuales se descargan en una fosa.

Posteriormente el azufre es enviado dentro de una tolva medidora de azufre, luego será fundido<sup>6</sup> por una bobina de vapor, la temperatura en el horno estará a 113-115°C, el índice de fusión será acelerado por medio de un agitador.



El azufre fundido es derramado en el compartimento de almacenaje de azufre. Dicho tanque de almacenamiento tiene aislamiento en paredes, domo y fondo, el venteo esta enchaquetado y aislado hasta su extremo para evitar bloqueos por acumulación de azufre líquido.

La tubería interna es de acero inoxidable, mientras que la externa es de acero al carbón.

El tanque tiene una capacidad nominal de almacenamiento de 196.7 ton y una capacidad real de 176 ton.

1. Al igual que las otras aéreas de almacenamiento, el área de azufre también está dentro de un dique de seguridad común, que retiene el contenido de un tanque lleno.
2. Dos bombas rotatorias, serán instaladas en el compartimento de almacenaje de azufre del medidor de azufre, una será operada y la otra será parada.
3. La bomba entregará azufre derretido a través de una tubería calentada<sup>7</sup> (con una presión de 5.5 atm). Ya que el azufre se debe de mantener a una temperatura de 132°C.<sup>8</sup> teniendo una viscosidad de 7 Cp y una densidad de 1778 kg/m<sup>3</sup>.

### b) SISTEMA DE SUMINISTRO DE AIRE

Para evitar la corrosión producida por el gas hacia el quemador se tiene que secar el aire para quemar el azufre, el oxígeno lo obtenemos mediante el suministro de aire que es previamente tratado para extraer la humedad contenida (el contenido de humedad debe estar por debajo de 35 mg/m).

Para el suministro de aire se cuenta con filtros de aire comprimido su función de estos es suministrar aire libre de contaminantes a los diferentes puntos de aplicación. Contaminantes tales como: agua, aceite, polvo, partículas sólidas, neblinas, olores, y vapores, pudiendo afectar al sistema.

Posteriormente se cuenta con un compresor centrífugo y su repuesto. El aire comprimido se enfría hasta saturarlo en el enfriador conteniendo un serpentín enfriado con agua y un serpentín en serie, (el aire entra a los enfriadores a una presión de 1.02 atm, a una temperatura de 175.5 °C, una viscosidad de 0.027 Cp y con una densidad de 1.45 kg/m<sup>3</sup>).

<sup>4</sup> Para la descripción de la obtención del trióxido de azufre se utilizo "El Método de Contacto de Doble Absorción por medio del quemado de azufre" que es muy utilizado para la obtención de ácido sulfúrico.

<sup>5</sup> Principalmente azufre elemental este se obtiene como subproducto en el proceso del refinado del petróleo.

<sup>6</sup> Azufre líquido a 113°C el S<sub>(liq)</sub> es amarillo claro, transparente, móvil y menos viscoso que el agua. Contiene principalmente ciclooctaazufre. A 160-170°C líquido marrón rojizo y viscosidad elevada. A 159°C los anillos se van abriendo y polimerizando. El S fibroso (plástico) se obtiene por enfriamiento brusco del S<sub>(liq)</sub>. Está formado por cadenas helicoidales.

<sup>7</sup> La tubería esta chaquetada con vapor para evitar el enfriamiento y la solidificación del azufre, que tiene un punto de fusión de aproximadamente 115°C.

<sup>8</sup> Es importante controlar esta temperatura ya que las propiedades del azufre cambian mucho con la temperatura en ciertas regiones, pudiendo incrementar la viscosidad a más de 90000 Cp a 190°C, ó a menos de 9 Cp a 140°C.

El objetivo de los enfriadores es disminuir la temperatura del aire luego de la compresión, ya que el aire luego de ser comprimido quede 100% saturado, al tener lugar una disminución brusca de temperatura pierde capacidad de retener vapor de agua, y se presentarían condensados, por lo cual podemos decir que este equipo sirve también para disminuir la cantidad de agua contenida en el aire; esto implica que siempre que se utilice un postenfriador es necesario instalar algún medio para retirar los condensados que este genera. (La presencia de condensados en el aire produce diversos problemas tales como corrosión).

Esencialmente un postenfriador es un intercambiador de calor en el cual el elemento que pierde calor es el aire comprimido, mientras que el medio que lo gana es el refrigerante, agua. En esta primera fase de secado se remueve aproximadamente el 50% de la humedad por condensación directa. El aire suministrado en esta primera etapa tendrá una humedad constante y conocida, independientemente de las variaciones de humedad en el aire atmosférico debido a cambios de estación.

Un sistema dual de secadores<sup>9</sup> de sílica<sup>10</sup> permite secar el aire hasta un punto de rocío de  $-80^{\circ}\text{C}$ . (El aire entra a los secadores una presión de 0.98 atm, una temperatura de  $14.5^{\circ}\text{C}$ , densidad de  $2.40\text{ kg/m}^3$  y una viscosidad de 0.18 Cp).

La capacidad adsorbente de un lecho de gel es naturalmente limitada. Si está saturado, se regenera de forma simple. Disponiendo en paralelo dos secadores, se puede emplear uno para el secado del aire, mientras el otro se regenera<sup>11</sup>.

El ciclo de secado dura 8 hrs de las cuales dos y media son para regeneración del material desecante, una y media para enfriado y cuatro horas para secado. El arreglo de válvulas mariposa asegura una presión de transición suave cuando cambia a regeneración. En fallas de fuerza estas válvulas están diseñadas para cerrar automáticamente a fin de prevenir acumulaciones de gas corrosivo dentro de los secadores y mantener fuera de alcance el aire atmosférico húmedo de los secadores.

### c) PRODUCCIÓN DE DIÓXIDO DE AZUFRE CON AIRE SECO

En el quemador tipo atomizador<sup>12</sup> se lleva a cabo la combustión en presencia de azufre líquido, aire del proceso limpio y seco para producir una mezcla de aire y  $\text{SO}_2$ . El azufre será rociado en la parte superior de la cámara de combustión de azufre. (Temperatura de entrada del azufre  $148^{\circ}\text{C}$ , una presión de 5.5 atm, una densidad de  $1778\text{ kg/m}^3$  y con una viscosidad de 7Cp).

El aire seco entrará a una presión de 0.95 atm, una temperatura de  $36.6^{\circ}\text{C}$ , una densidad de  $2.25\text{ kg/m}^3$  y una viscosidad de 0.015 Cp; ya que este se calienta por un calentador de aire de ignición dentro de la línea, el cual inmediatamente prende el azufre a la punta de la boquilla de aspersión.

<sup>9</sup>Cada secador cuenta con  $340\text{ ft}^3$  de material desecante.

<sup>10</sup>La sílica gel, corresponde a dióxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ) el mismo componente que encontramos en el cuarzo. La estructura interna de cada gránulo contiene una red de millones de poros microscópicos conectados entre sí que son capaces de atrapar y retener la humedad. Tiene una presentación en forma de gránulos ó perlas de aproximadamente 3mm de diámetro, los cuales son de color ámbar, de gran dureza y porosidad. Un gramo de este desecante posee una superficie de adsorción de aproximadamente  $617\text{ m}^2$ .

<sup>11</sup> Se regenera soplando con aire caliente, con resistencias eléctricas de calor ó con ventilación para que se regenere por sí solo.

<sup>12</sup> Las gotas provienen del atomizador y se dirigen hacia la zona de combustión, y en el pasaje se calientan como consecuencia de la radiación de la llama y de la transferencia de calor convectiva desde los gases calientes que la rodean. Ello produce la vaporización de los componentes más livianos del combustible, que se mezclan con el aire que rodea la gota y luego combustionan.

El quemador de azufre tipo atomizador no requiere precalentamiento en la línea de refractario del quemador.



El gas ya formado  $SO_2$  saldrá a una temperatura de 650-700°C, y una presión de 0.5 – 0.9 atm, densidad de 1.44 kg/m<sup>3</sup>, y una viscosidad de 0.03Cp.

El quemador de azufre está construido de acero al carbón y en su interior está rodeado de ladrillo refractario. (La temperatura de operación está alrededor de los 650°C).

#### d) ENFRIAMIENTO DEL DIÓXIDO DE AZUFRE

El nuevo gas formado será pasado a través de un filtro de cuarzo para gas caliente para que se retiren las posibles impurezas que hayan sido arrastradas<sup>13</sup>, para posteriormente pasar por un intercambiador y finalmente generar la oxidación exotérmica de  $SO_2$  a  $SO_3$  en presencia del catalizador de vanadio en la torre catalítica.

El enfriador de  $SO_2$  pasa a través de un cambiador de calor de doble tubo. El  $SO_2$  fluye por el tubo interno y el aire de enfriamiento fluye, en sentido contrario, a través de la chaqueta.

El gas ( $SO_2$ ) como ya se menciona anteriormente antes de entrar al intercambiador tendrá una temperatura de 650-700°C, y una presión de 0.5 – 0.9 atm. Por lo que a la salida del intercambiador el gas contara con una temperatura de 425 - 450°C y una presión de 0.83 – 0.90 atm, una densidad de 2.0 kg/m<sup>3</sup> y una viscosidad de 0.025 Cp.

#### e) CONVERSIÓN DE DIÓXIDO A TRIÓXIDO DE AZUFRE

El recipiente de convertidor es de acero inoxidable para altas temperaturas y utiliza dos inter-enfriadores.

Antes de alimentar los gases a la primera etapa del convertidor, se ajustan a la temperatura mínima a la que el catalizador aumentara rápidamente la velocidad de la reacción, usualmente entre 425 y 450 °C. Los gases deben ser enfriados entre las etapas de catalizador para lograr una conversión alta. Con este propósito puede introducirse aire frío (para enfriar por dilución).

La comercialización de estas condiciones básicas hace posible que haya una alta conversión global mediante el empleo de un convertidor de pasos múltiples en el que, con una temperatura de entrada entre 425 y 450 °C (la temperatura de ignición), la mayor parte de la conversión (60 a 75%) se obtiene en el primer lecho catalítico, si la temperatura llegara a los 550°C se tendría una reacción inversa.

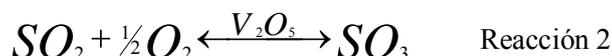
Con una temperatura de salida de 600°C ó más, dependiendo en gran medida de la concentración de  $SO_2$  en el gas. La disminución sucesiva de la temperatura entre etapas asegura una conversión global más alta. La conversión en un convertidor de 4 etapas de una planta es de 98% ó ligeramente mayor. (Ver tabla 3.1).

La caída de presión a través del convertidor debe hacerse mínima para reducir el consumo de energía.

---

<sup>13</sup> Cenizas provenientes del quemador.

En los lechos horizontales se encontrarán los catalizadores (pentaóxido de vanadio y catalizadores de Cesio)<sup>14</sup>, donde a medida que el gas pasa por el convertidor el 95 a 98% de dióxido de azufre se convierte en trióxido de azufre, desprendiéndose una gran cantidad de calor.



Estos convertidores están equipados con charolas para sostener el catalizador, y bocas de inspección para tener acceso a éste.

TABLA 3.1. TEMPERATURAS Y CONVERSIONES EN CADA ETAPA DE UN CONVERTIDOR MONSATO (EMPLEA GAS SO <sub>2</sub> RELATIVAMENTE RICO, PROVENIENTE DE AZUFRE).		
Localización	Temperatura °C.	Conversión equivalente, %
Gas que entra al primer paso.	410.0	74.0
Gas que sale del primer paso.	601.8	
Elevación en la temperatura	191.8	
Gas que entra al segundo paso.	438.0	18.4
Gas que sale del segundo paso	485.3	
Elevación en la temperatura	47.3	
Gas que entra al tercer paso.	432	4.3
Gas que sale del tercer paso.	443	
Elevación en la temperatura	11	
Gas que entra al cuarto paso.	427.0	1.3
Gas que sale del cuarto paso.	430.3	
Elevación en la temperatura	3.3	
Elevación total	253.4	
Total de conversión		98.0
Fuente: Manual de Procesos Químicos en la Industria, George T. Austin, Editado por McGraw-Hill. 1995. 5ta ed. E.U.A		

La conversión química del dióxido de azufre a trióxido se planea para hacer máxima la conversión, tomando en cuenta que:

- 1.- El equilibrio es función inversa de la temperatura y función directa de la relación oxígeno/dióxido de azufre.
- 2.- La velocidad de reacción es función directa de la temperatura.
- 3.- La composición del gas y la cantidad de catalizador afectan la velocidad de conversión y la cinética de la reacción.

#### f) ENFRIAMIENTO DEL TRIÓXIDO DE AZUFRE

El trióxido de azufre saldrá por la parte inferior de la torre catalítica, con una temperatura de 430 y 455°C; una presión de 12.9 atm, un densidad de 1.92 kg/m<sup>3</sup>, una viscosidad de 0.02 Cp y continuando por la línea para pasar al primer intercambiador de calor de doble tubo, bajando así la temperatura del gas hasta unos 230°C, posteriormente el gas continua, para llegar a un segundo intercambiador de cascada de agua, el gas saldrá de este a una temperatura de 45°C-50°C y una presión de 0.78 atm, una densidad de 1.92 kg/m<sup>3</sup> y una viscosidad de 0.02 Cp.

<sup>14</sup>El V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> se moldea en grandes formas cilíndricas huecos para reducir la caída de presión en el convertidor manteniendo, al mismo tiempo, una gran área superficial. Existen cambios en la formulación, pero los catalizadores actuales son todos de tierras de diatomáceas impregnadas con vanadio.

A su vez el catalizador está protegido por dos capas filtros de cuarzo quedando el catalizador en medio de estos.

La corriente de  $\text{SO}_3$  a  $45^\circ\text{C}$  y una presión de 0.78 atm, pasa a través de un eliminador de niebla, donde las trazas de óleum que se forman son eliminadas como último paso para preparar el gas a sulfonar y sulfatar<sup>15</sup>. A la salida del eliminador de niebla el  $\text{SO}_3$  tendrá una temperatura de  $45\text{-}50^\circ\text{C}$  y una presión de 0.78 atm, densidad de  $1.92\text{ kg/m}^3$  y una viscosidad de 0.02 Cp, listo para utilizarse para la sulfonación y sulfatación.

Mientras que en el eliminador de niebla se remueve todos los residuos de ácido sulfúrico ó de óleum, el óleum colectado en este recipiente contara con una temperatura entre  $45\text{-}50^\circ\text{C}$ , una presión de 0.78 atm, una densidad de  $1.92\text{ kg/m}^3$  y una viscosidad de 12 Cp es transferido periódicamente al absorbedor de  $\text{SO}_3$  para su conversión a ácido sulfúrico al 98% .

El ácido sulfúrico es recirculado continuamente a la columna de absorción y donde el ácido absorbe al trióxido de azufre.

En el otro extremo de la columna se suministra agua, el agua tendrá una temperatura de  $30^\circ\text{C}$  mientras al óleum se le añade agua ó ácido sulfúrico diluido para producir la concentración de ácido sulfúrico deseada este saldrá a una temperatura de  $85^\circ\text{C}$ .

Al final se ha consumido toda el agua; así resultando una conversión de óleum y este es llevado a otro tanque de absorción para eliminar las trazas de  $\text{SO}_3$ ,  $\text{SO}_2$  y así mandar una parte a recircular nuevamente pasando antes por un intercambiador de calor, el ácido después de pasar por el intercambiador tendrá una temperatura de  $47^\circ\text{C}$ , una viscosidad de 10 Cp, y el resto se manda a almacenamiento.

El trióxido de azufre no puede ser absorbido directamente en agua porque esta reacción es muy rápida, difícil de controlar y muy exotérmica. Por tanto, el vapor de ácido sulfúrico que se forma en esas condiciones es difícil de condensar apropiadamente.

### 3.- SULFONACIÓN

El trióxido de azufre es transportado por la tubería hacia los reactores (sulfonadores) ya que se encuentra en estado gaseoso, para emplearlo en la sulfonación.

El gas llega a una temperatura de  $45\text{-}50^\circ\text{C}$ , una presión de 0.75 - 0.78 atm, densidad de  $1.92\text{ kg/m}^3$  y una viscosidad de 0.02 Cp. Por otro lado tenemos al ABL con una temperatura de  $38\text{-}40^\circ\text{C}$ , una presión de 5.5 atm, una densidad de  $919\text{ kg/m}^3$  y una viscosidad de 300Cp para formar el ácido alquilbencensulfónico lineal (ABSL) (ver reacción 3), para así tener una producción de 18 ton/hr y con una temperatura de salida de los reactores de 38 a  $40^\circ\text{C}$ .

Los materiales de construcción para tubería y equipo de proceso proveen alta resistencia a la corrosión, la mayor parte es de acero inoxidable de 316L. En esta parte del proceso se cuentan con 2 reactores de película descendente, cada reactor es de cilindros concéntricos<sup>16</sup>, de un diámetro total del cilindro de 48 in.

La temperatura en los reactores deberá de ser aproximadamente entre  $50\text{-}55^\circ\text{C}$ .<sup>17</sup>

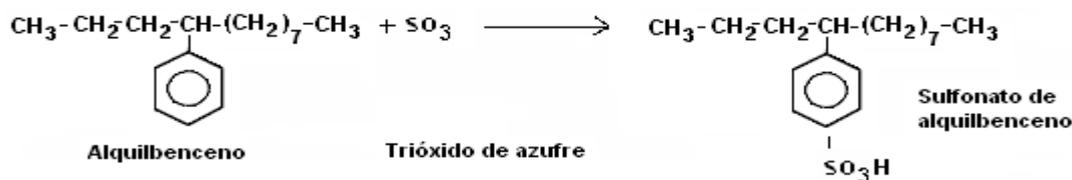
Porque a menor temperatura no reacciona y aumenta la viscosidad y a temperatura mayor se favorece la formación de compuestos polisulfonados.

<sup>15</sup> Sulfonación y sulfatación son procesos químicos para introducir el grupo  $\text{SO}_3$  en compuestos orgánicos.

<sup>16</sup> Los sulfonadores son unos reactores de película que consisten en dos cilindros concéntricos por agua, con una estrecha región anular entre ellos, por la que el  $\text{SO}_3$  fluye hacia abajo diluido en aire, sobre la superficie interna del cilindro externo y la superficie externa del cilindro interno, fluyen hacia abajo delgadas películas de alquilbenceno y ocurre la reacción entre éste y el  $\text{SO}_3$ .

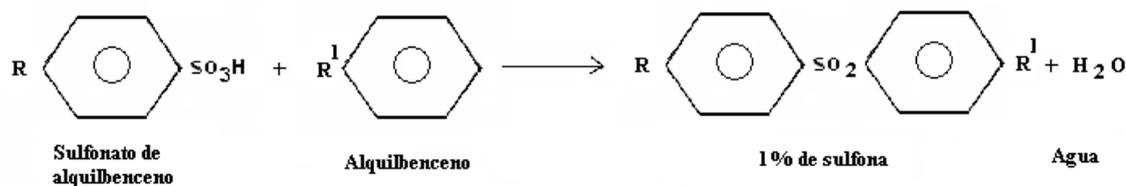
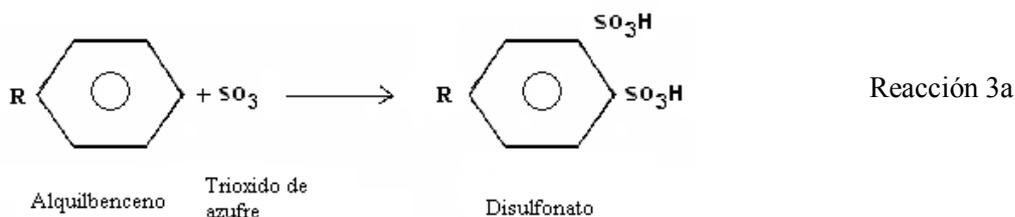
<sup>17</sup> Como la reacción es altamente exotérmica y rápida, por eso se necesita una eliminación de calor eficiente para prevenir un exceso de sulfonación y el consecuente oscurecimiento del ABSL.

### REACCIÓN PRINCIPAL



Reacción 3

### REACCIONES SECUNDARIAS



El ABSL recirculado del ciclón, es enfriado y enviado de nuevo a los reactores; el producto de los reactores se envía a los digestores en donde la reacción con SO<sub>3</sub> absorbido es determinada. El agua de hidratación es inyectada y mezclada con el ácido sulfónico que abandona los digestores para eliminar los anhídridos e incrementar la conversión.

El ABSL del ciclón podrá ser enfriado por agua de enfriamiento a 20°C<sup>18</sup> y enviado de nuevo a los reactores. La temperatura a la que sale el ABSL del ciclón hacia los reactores es de 40 - 50°C, y una presión de 5.5 atm, esta recirculación sirve como un enfriamiento adicional hacia el reactor.

El producto de ambos reactores se envía a los digestores, en donde la reacción del alquilbenceno y el SO<sub>3</sub> finalizan.

El ABSL que sale del ciclón hacia los digestores tendrá una temperatura de salida de 40 - 50°C y una presión de 5.5 atm, densidad de 919.5 kg/m<sup>3</sup> y una viscosidad de 1200 Cp. El agua de hidratación es inyectada y mezclada con el ABSL que abandona los digestores para eliminar anhídridos y mejorar la conversión.

#### Digestión /hidratación

El propósito de la digestión es tener tiempo adicional para finalizar la reacción de la sulfonación en un ambiente reactivo menos agresivo que el de los reactores (la agresividad en los reactores se debe a la alta concentración de SO<sub>3</sub>).

<sup>18</sup> Para la sulfonación del ABL se requiere agua de enfriamiento a 20°C para cumplir con las garantías de las especificaciones del producto. Este sistema individual suministra agua helada al sistema de enfriamiento de agua de sulfonación, sulfatación y al proceso de enfriamiento de aire.

El sistema de digestión consiste en cinco recipientes en serie que proveen de un total de 60 minutos de tiempo de digestión cuando se trabaja a una capacidad total.

El sistema está provisto de válvulas para ajustar el tiempo de digestión de 25 minutos ó incluso a 60 minutos. Los digestores pequeños tienen un tiempo de residencia de 6 minutos, y tres digestores grandes con un tiempo de residencia de 16 minutos.

La temperatura de entrada del ABSL al primer condensador será de 50 °C y con una presión de 5.5 atm, densidad de 919.5 kg/m<sup>3</sup> y una viscosidad de 1200Cp.

Una vez concluida la digestión se hidrata el producto en un 0.3-0.5% de humedad por medio de un mezclador estático. La temperatura de entrada del agua de proceso será de 25°C.

A la salida del último condensador el ABSL tendrá una temperatura de 60°C y una presión de 5.5- 5.8 atm, densidad de 919.5 kg/m<sup>3</sup> y una viscosidad de 1200 Cp.

El agua de servicio de los condensadores tendrá una temperatura de entrada de 20 - 25°C.

Ya obtenido el ABSL hay que almacenarlo en tanques (de 3 a 4 tanques), con recubrimiento especial ya que es un compuesto que reacciona con el acero al carbón por lo que los tanques de almacenamiento tienen un recubrimiento especial (acero inoxidable), con el fin de mantener el ABSL a una temperatura de 37 a 40°C, estos tanques cuentan con agitadores y chaquetas de calentamiento, la capacidad de los tanques es de 600 ton.

Por otro lado es importante controlar la temperatura de los tanques ya que, por una parte, el ABSL se degrada a bajas temperaturas, y por otro lado, se decolora ó quema a altas temperaturas, además de que la viscosidad aumenta mucho al bajar la temperatura.

Una vez llevada a cabo la sulfonación se continúa con la sulfatación.

#### 4.- SULFATACIÓN

El alcohol laurílico se encuentra en estado líquido y se tiene que alimentar al reactor por medio de bombeo, junto con el alcohol etoxilado así, posteriormente pasan por un intercambiador de calor para mantener a estos en estado líquido y mantener las condiciones a 55 °C; para la reacción con el trióxido de azufre. El producto sulfatado se forma en 2 unidades de reactor de película descendente cuando el SO<sub>3</sub> es inyectado simultáneamente con la alimentación del alcohol laurílico, (ver reacción 4).

#### REACCIÓN PRINCIPAL



Alcohol laurílico

Trióxido de azufre

Ácido laurilsulfúrico

Reacción 4

#### REACCIONES SECUNDARIAS



Reacción 4a



Reacción 4b



Reacción 4c



Reacción 4d



Luego esta pasta es pasada por los filtros para remover impurezas sólidas. Después de pasar por los filtros es pasada a un tanque para almacenarse.

### 7.- SECCIÓN DE SECADO

Después la pasta es impulsada por medio de una bomba de alta presión la cual va hacer transportada hacia los inyectores de rociado que se encuentran en la parte superior de la torre. La bomba contará con una presión de 10 MPa = 100 atm. La mezcla se encontrará aproximadamente entre 80-100°C y será forzada a través de los inyectores con un diámetro entre 2.5 y 3.5mm. Esta torre cuenta con un anillo limpiador para retirar las partículas que se quedan incrustadas en las paredes.

En la torre, las partículas son rociadas y se encontrarán con el aire caliente que entra a la torre a 250-350 °C este flujo de aire es normalmente a contracorriente.

Las partículas que quedan en la parte superior de la torre que no logran descender por la torre son succionadas por un tercer soplador el cual hace que las partículas pasen a través del sistema de ciclones. Por donde regresan a reflujo hacia la torre.

Dentro de los ciclones el aire caliente sale por la parte superior de estos, el cual es apoyado por un cuarto soplador para enviarlo hacia la descarga de aire.

En la parte inferior de la torre caen las partículas a la banda transportadora de ahí son enviadas a un recolector y a su vez son succionadas por un elevador de aire y luego son enviadas al sistema de tamizado con vibración separando el polvo fino y grueso.

#### a) SECCIÓN DE SECADO (PARTÍCULAS QUE NO SON TAMIZADAS)

Las partículas que no logran pasar el tamiz y quedan en la parte superior del elevador de aire son enviadas a un segundo conjunto de ciclones las cuales regresan en reflujo hacia la torre. El aire que se utiliza es enviado a la descarga.

### 8.- SECCIÓN DE PERFUMADO Y TRANSPORTE

Las partículas seleccionadas pasan a través de una banda transportadora para que sean perfumadas y posteriormente para empaquetar el detergente.

### 9.- SECCIÓN DE EMPAQUE

En esta sección una maquina deja caer el detergente en ciertas cantidades a bolsas que pasan en serie una tras otra donde a su vez se sellan en caliente y después estas bolsas son colocadas en cajas listas para su venta y almacenaje.

### 10.- SISTEMA DE TRATAMIENTO DE GASES GASTADOS

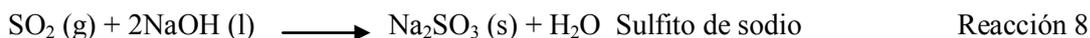
Los efluentes gaseosos que abandonan el sulfonador, y el absorbedor de SO<sub>3</sub>, contienen algo de SO<sub>2</sub> no reaccionado y partículas aniónicas como nieblas de ácido sulfónico y sulfúrico.

Esta corriente gaseosa no puede ser enviada a la atmosfera sin previo tratamiento, por lo que estos gases se hacen pasar por un precipitador electrostático que contiene una placa distribuidora de gas mediante la cual, los gases que entran al equipo se distribuyen a través del recipiente hacia varios tubos colectores montados verticalmente en la parte central del precipitador; estos tubos cuentan con una chaqueta de aire para calentamiento y protección conectado a la terminal positiva del transformador-rectificador y a los electrodos. Las partículas de niebla son impulsadas a las paredes del precipitador, formando después una película de líquido que cae por gravedad al recipiente.

Aproximadamente a 30°C estos ácidos aumentan considerablemente su viscosidad, por lo que la sección central del equipo tiene una chaqueta por la que circula aire a unos 65°C para mantener la temperatura de los tubos por arriba de los 30°C, los ácidos en forma líquida que se acumulan en el fondo del equipo se bombean al ciclón de recirculación del reactor.

Los gases, ya libres de niebla, que son SO<sub>2</sub> y SO<sub>3</sub>, salen por la parte superior del equipo y pasan a un depurador caustico (torre empacada). Los gases provenientes del precipitador entran en la torre por la parte inferior, mientras que por la parte superior entra la solución depuradora, que es una solución de sosa cáustica al 10%.

De la reacción de estas sustancias se obtienen sulfato y sulfito de sodio:



Estas sales abandonan la torre empacada por la parte inferior y se depositan en el tanque de recicló; cuando el pH del material es contenido en el tanque de recicló es de 8 - 8.5, se desecha y se transfiere a un tanque intermedio y se renueva la solución de sosa.

### 3.5. APLICACIÓN DEL ESTUDIO HAZOP A LA PLANTA DE DETERGENTE BIODEGRADABLE

Como se ha explicado en el capítulo anterior, el estudio de riesgo HAZOP es el método recomendado para identificar los peligros y problemas que impiden un funcionamiento eficiente. Dentro de las actividades de alto riesgo<sup>20</sup> se encontraron dentro del proceso de detergente biodegradable los siguientes compuestos conforme al listado<sup>21</sup>:

- ◆ Penta Óxido de Vanadio en estado sólido. La cantidad de reporte a partir de 1Kg.
- ◆ Óleum en estado líquido. La cantidad de reporte a partir de 10,000 Kg.

Asimismo en la “Guía de respuesta en caso de emergencia” (tabla 3.2), dentro de sus listados aparecen:

TABLA 3.2 “GUÍA DE EMERGENCIA” A PARTIR DEL NOMBRE DE LA SUSTANCIA INVOLUCRADA EN EL ACCIDENTE. EN ESTA LISTA, PRIMERO SE CONSIGNA EL NOMBRE DE LA SUSTANCIA SEGUIDO POR “GUÍA DE EMERGENCIA” ASIGNADA Y SU NÚMERO ONU.			
NOMBRE DEL MATERIAL	Número de guía	Número de identificación	No de ficha
Acido dodecibencensulfónico	<b>153</b>	2584	8-06
Acido sulfúrico	<b>137</b>	1830	8-01
Aire, comprimido	<b>122</b>	1002	2-08
Azufre, fundido	<b>133</b>	2448	4-20
Dióxido de azufre	<b>125</b>	1079	2-24
Hidróxido de sodio, en solución	<b>154</b>	1824	8-03
Oxígeno	<b>122</b>	1072	2-27
Pentóxido de vanadio	<b>151</b>	2862	6-06
Trióxido de azufre,	<b>137</b>	1829	8-50
LOS MATERIALES SOMBREADOS EN VERDE EN LOS LISTADOS son materiales con Riesgo de Inhalación Tóxica (RIT), una arma química ó es un Material que Reacciona Peligrosamente con el Agua (produce gases tóxicos al contacto con el agua).			
Fuente: Guía de Respuesta en Caso de Emergencia 2008. Secretaría de Comunicaciones y transportes			

Para el análisis de riesgo HAZOP, se realizará en las siguientes zonas de la planta consideradas como riesgosas. De acuerdo a la descripción del proceso antes referida.

#### ◆ ÁREA DE GAS (OBTENCIÓN DEL TRIÓXIDO DE AZUFRE)

Los nodos serán:

- Nodo 1.- Área de fundición del azufre. Donde los equipos a analizar son: el Horno de fusión 100-HF-01 y el Tanque de almacenamiento 100-TA-01.
- Nodo 2.- Área del sistema de suministro de aire. Donde los equipos a analizar son: el Enfriador con serpentín 100-ECS-01A y el Secador de sílica 100-SS-01A.
- Nodo 3.- Área de producción del dióxido de azufre con aire seco y el área de enfriamiento del dióxido de azufre. Donde los equipos a analizar son: el Intercambiador de calor 100-EA-01A, el Quemador de azufre tipo atomizador 100-Q-01 y el Intercambiador de calor 100-EA-02B.
- Nodo 4.- Área conversión de dióxido a trióxido de azufre y área de enfriamiento del trióxido de azufre. Donde los equipos a analizar son: la Torre catalítica 100-TC-01, el Intercambiador de calor 100-EA-03C y el Intercambiador de calor 100-EA-04D.

<sup>20</sup> Acuerdo por el que se expiden el primer listado de actividades altamente riesgosas.

<sup>21</sup> Diario Oficial de la Federación el Primero y Segundo listados de actividades altamente riesgosas (28 de Marzo de 1990 y 4 de Mayo de 1992).

Nodo 5.- Área de obtención de ácido sulfúrico. Donde los equipos a analizar son: el Eliminador de niebla 100-EN-01, la Columna de absorción 100-CAB-01, el Tanque de absorción 100-TAB-01 y el Intercambiador de calor 100-EA-04D.

◆ **ÁREA DE SULFONACIÓN**

El riesgo a analizar en esta área es la reacción violenta y exotérmica que se lleva a cabo entre el trióxido de azufre y el ABL.

Nodo 6.- Área de reactores de película descendente sulfonación. Donde los equipos a analizar son: el Reactor de película descendente 200-RPD-01A.

◆ **ÁREA DE SULFATACIÓN**

El riesgo a analizar en esta área es la reacción violenta y exotérmica que se lleva a cabo entre el trióxido de azufre y el alcohol laurílico.

Nodo 7.- Área de reactores de película descendente sulfatación. Donde los equipos a analizar son: el Reactor de película descendente 200-RPD-02B y el Intercambiador de calor 200-EA-01A.

◆ **ÁREA DE NEUTRALIZACIÓN**

El riesgo a analizar en esta área es la reacción violenta y exotérmica que se lleva a cabo entre el ABSL con el hidróxido de sodio y el Ácido laurilsulfúrico con el hidróxido de sodio.

Nodo 8.- Área de neutralización del ABSL con hidróxido de sodio. Donde los equipos a analizar son: el Reactor de neutralización 200-RN-01A.

Nodo 9.- Área de neutralización del Ácido laurilsulfúrico con hidróxido de sodio. Donde los equipos a analizar son: el Reactor de neutralización 200-RN-02B.

### **3.5.1. ANÁLISIS DE ESTUDIO HAZOP PARA EL NODO 1**

Azufre fundido

De acuerdo a la bibliografía<sup>22</sup> las características más importantes son las siguientes:

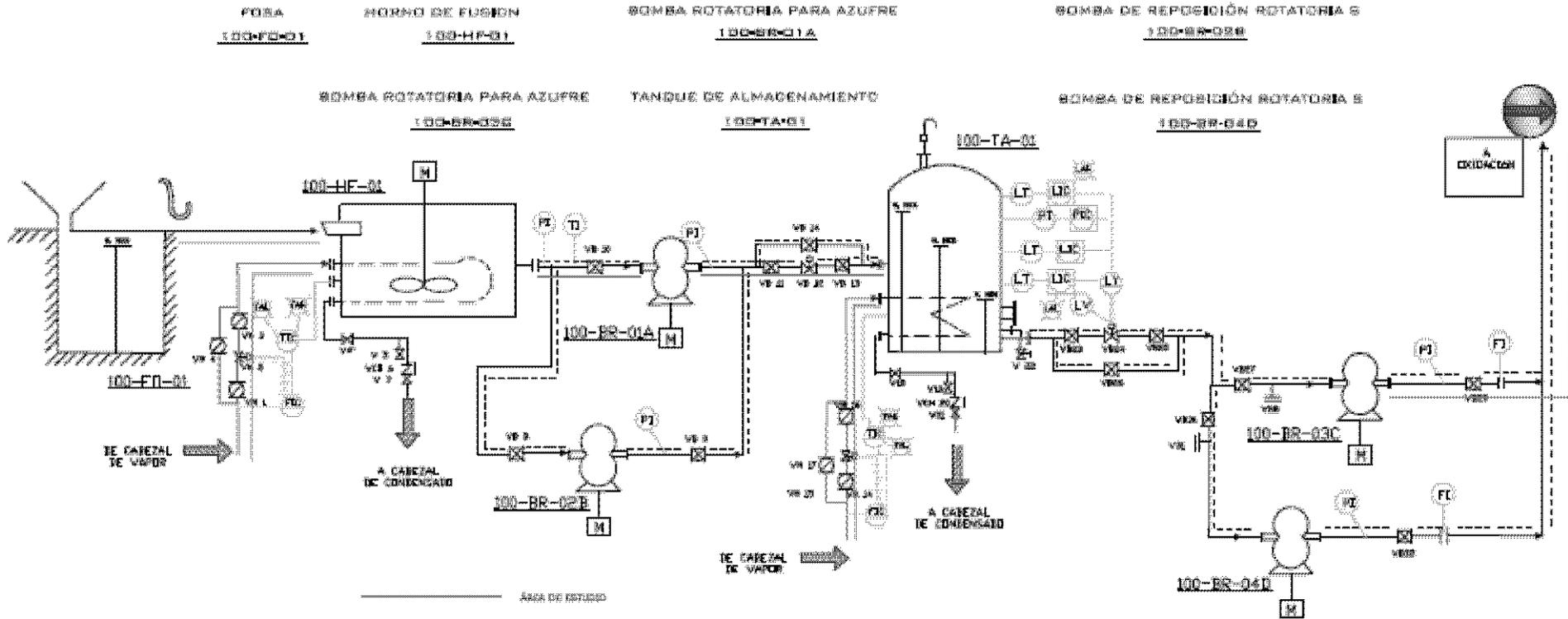
- ◆ Peligroso para la piel, los ojos y las vías respiratorias.
- ◆ Transportado a temperatura elevada.

Peligros

- ◆ Emite emanaciones tóxicas e irritantes al calentarse ó arder.
- ◆ El calentamiento del/de los recipientes puede provocar aumento de presión con riesgo de estallido.
- ◆ La temperatura de la materia fundida puede estar por encima de su punto de inflamación.

---

<sup>22</sup> Guía de respuesta en caso de emergencia. (No de ficha en [http:// proteccioncivil.org/es](http://proteccioncivil.org/es))



NODO 1

	DELA PLANTA DE TROXIDO DE AZUFRE OBTENCION DE AZUFRE	
	ASESOR: MANUEL ORTIZ FRANCISCO	
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA (IAA)		IIAA
INGENIERIA QUIMICA	FECHA: 2000	PLANO: 1 A
ALUMNO: PÉREZ CRISTÓBAL CITAL		

PLANTA O PROYECTO: Proceso de detergente biodegradable  
 EQUIPO: Horno de fusión 100-HF-01

ÁREA: Obtención de trióxido de azufre  
 FUNCIÓN: Fundir azufre

DIAGRAMA O PLANO: DTI 1A  
 NODO: UNO

FECHA: 2010  
 HOJA 01 DE 04

PALABRA CLAVE	PROBLEMA	EFEECTO	CAUSA	CONSECUENCIA	ACCIÓN O PROTECCIÓN REQUERIDA	C	F	R
NO	NO hay flujo de vapor	No hay fundición	Válvulas VM1, VM2, VM3 cerradas por error	La temperatura cae y se presenta una solidificación	Cubierta por la VM4 Garantizar una buena comunicación con el personal. Chequeo de mantenimiento	1	2	2
	NO funciona el agitador	No hay buena homogeneidad	Se descompuso el motor del agitador	El calentamiento no es uniforme y solidificación de azufre	Chequeo de mantenimiento preventivo	1	2	2
MÁS	MÁS flujo de vapor	Aumenta la temperatura	Falla en las Válvulas VM1, VM2, VM3 Abierta más de lo necesario	Provoca aumento en la presión, posible estallido. Puede llegar al punto de inflamación.	Chequeo de mantenimiento preventivo en válvulas y termopares de alta temperatura, junto con su alarma.	3	2	6
	MÁS temperatura	Aumento de la viscosidad	Falla en las Válvulas VM1, VM2, VM3 Abiertas más de lo necesario El TIC está fallando en la lectura	El azufre líquido no cuenta con las especificaciones que se requieren	Chequeo de mantenimiento preventivo Calibración en equipo de instrumentación	1	2	2
	MÁS presión	Aumento en la temperatura	Variación del flujo de alimentación del vapor Falla del FIC	Estallido en el equipo	Mantener el equipo de instrumentación calibrado y en mantenimiento Mantenimiento a válvulas VM 1, VM2 y VM3	3	2	6

C = Consecuencia, F = Frecuencia, R = Riesgo

PLANTA O PROYECTO: Proceso de detergente biodegradable  
 EQUIPO: Horno de fusión 100-HF-01

ÁREA: Obtención de trióxido de azufre  
 FUNCIÓN: Fundir azufre

DIAGRAMA O PLANO: DTI 1A  
 NODO: UNO

FECHA: 2010  
 HOJA 02 DE 04

PALABRA CLAVE	PROBLEMA	EFEECTO	CAUSA	CONSECUENCIA	ACCIÓN O PROTECCIÓN REQUERIDA	C	F	R
MENOS	MENOS flujo de vapor	Se solidifica el azufre	Falla en las Válvulas VM1, VM2, VM3 Cerradas más de lo necesario	La temperatura cae y se presenta una solidificación	Mantenimiento preventivo al horno y válvulas Colocar un medidor de flujo Checar termopares de alta y baja temperatura, junto con sus respectivas alarmas.	1	2	2
	MENOS Temperatura	Disminución de la viscosidad	Falla en las Válvulas VM1, VM2, VM3 Cerradas más de lo necesario El TIC está fallando en la lectura	El azufre líquido no cuenta con las especificaciones que se requieren	Chequeo de mantenimiento preventivo Calibración en equipo de instrumentación	1	2	2
	MENOS presión	Disminución en la temperatura	variación del flujo de alimentación del vapor falta del FIC	La temperatura cae y se presenta una solidificación	Mantener el equipo de instrumentación calibrado y en mantenimiento Mantenimiento a válvulas VM1, VM2 y VM3	1	2	2
ADEMÁS DE	ADEMÁS DE impurezas	No cuenta con la calidad que se requiere.	Materia prima contaminada	Una mala calidad del azufre líquido, las impurezas pueden causar cambio de viscosidad así como problemas más adelante en el proceso	Realizar un análisis físico químico de recepción de materia prima.	1	2	2
INVERSO A	INVERSO A que no caliente adecuadamente el flujo de vapor	No hay un buen calentamiento	Fuga de vapor de servicio	En caso de que sea por dentro la fuga. Presencia de humedad dentro del horno	Mantenimiento preventivo al horno por dentro Y mantenimiento por la línea de tubería por fuera	1	2	2

C = Consecuencia, F = Frecuencia, R = Riesgo

PLANTA O PROYECTO: Proceso de detergente biodegradable  
 EQUIPO: Tanque de almacenamiento 100-TA-01

ÁREA: Obtención de trióxido de azufre  
 FUNCIÓN: Almacenar azufre en estado líquido

DIAGRAMA O PLANO: DTI 1A  
 NODO: UNO

FECHA: 2010  
 HOJA 03 DE 04

PALABRA CLAVE	PROBLEMA	EFEECTO	CAUSA	CONSECUENCIA	ACCIÓN O PROTECCIÓN REQUERIDA	C	F	R
NO	NO hay flujo de vapor	No hay fundición	Válvulas VM14, VM15, VM16 Cerradas por error	La temperatura cae y se presenta una solidificación	Cubierta por la VM 17	1	2	2
	NO venteo	Aumento de presión	Presencia de Azufre fibrosos (solidificación)	Sobre presión en el tanque de almacenamiento	Chequeo de mantenimiento preventivo verificar que no exista obstrucción. Chequeo de los LIC para que no se llene más de lo necesario el tanque	3	2	6
	NO hay flujo de azufre líquido a la entrada	No hay suficiente azufre líquido almacenado para suministrar a la siguiente línea	Válvulas VB11, VB12, VB13 cerradas por error Bomba de suministro 100-BR-01A no funciona	No hay azufre líquido disponible	Válvula cubierta por VB14 Cubierta por la Bomba 100-BR-02B	1	2	2
MÁS	MÁS flujo de vapor	Aumenta la temperatura	Falla en las Válvulas abiertas más de lo necesario VM14, VM15, VM16	Provoca aumento en la presión, posible estallido. Puede llegar al punto de inflamación.	Chequeo de mantenimiento preventivo en válvulas Colocación de un medidor de flujo	3	2	6
	MÁS temperatura	Aumento de la viscosidad	Falla en las Válvulas VM14, VM15, VM16 Falla de lectura en el TIC	El azufre líquido no cuenta con las especificaciones que se requieren	Chequeo de mantenimiento preventivo Calibración en equipo de instrumentación	1	2	2
	MÁS presión	Solidificación del azufre líquido	Venteo obstruido	Estallido en el tanque	Chequeo de mantenimiento preventivo verificar que no exista obstrucción. Verificar que el sistema se mantenga caliente Chequeo de los LIC para que no se llene más de lo necesario el tanque	3	2	6
	MÁS nivel en el tanque	Un derrame	El LIC está fallando en la lectura Se aumento el flujo de azufre líquido	Derrame y solidificación del azufre líquido	Calibración del equipo Colocar un dique de contención Colocar un medidor de flujo preciso	2	2	4

C = Consecuencia, F = Frecuencia, R = Riesgo

PLANTA O PROYECTO: Proceso de detergente biodegradable  
 EQUIPO: Tanque de almacenamiento 100-TA-01

ÁREA: Obtención de trióxido de azufre  
 FUNCIÓN: Almacenar azufre en estado líquido

DIAGRAMA O PLANO: DTI 1A  
 NODO: UNO

FECHA: 2010  
 HOJA 04 DE 04

PALABRA CLAVE	PROBLEMA	EFEECTO	CAUSA	CONSECUENCIA	ACCIÓN O PROTECCIÓN REQUERIDA	C	F	R
MÁS	MÁS flujo de azufre líquido	Aumento en el nivel del tanque	Las válvulas VB 11, VB 12, VB 13 abiertas más de lo necesario	Derrame y solidificación del azufre líquido	Colocar un medidor de flujo preciso Colocar un dique de contención Mantenimiento a válvulas	2	2	4
MENOS	MENOS flujo de vapor	Se solidifica el azufre	Falla en las Válvulas VM14, VM15, VM16 Cerradas más de lo necesario	La temperatura cae y se presenta una solidificación	Mantenimiento a válvulas Colocar un medidor de flujo preciso	1	2	2
	MENOS temperatura	Disminución de la viscosidad	Falla en las Válvulas VM14, VM15, VM16 Cerradas más de lo necesario El TIC está fallando en la lectura	El azufre no cuenta con las especificaciones que se requieren	Colocar un medidor de flujo preciso Mantenimiento de válvulas Calibración de equipo de instrumentación	1	2	2
	MENOS flujo de azufre líquido	No hay azufre líquido de reserva	Falla en las válvulas VB11, VB12, VB13 cerradas más de lo necesario	Un paro en la producción	Colocar un medidor de flujo preciso Mantenimiento a válvulas	1	2	2
	MENOS nivel	Tanque vacío	El LIC está fallando en la lectura Disminuyo el flujo de azufre líquido	No hay azufre líquido disponible	Calibración del equipo de instrumentación	1	2	2
INVERSO A	INVERSO A que no caliente adecuadamente el flujo de vapor	No hay un buen calentamiento	Fuga de vapor de servicio	Presencia de humedad dentro del tanque de almacenamiento	Mantenimiento preventivo al sistema de calentamiento dentro del tanque de almacenamiento y la línea.	1	2	2

C = Consecuencia, F = Frecuencia, R = Riesgo

### 3.5.2. ANÁLISIS DE ESTUDIO HAZOP PARA EL NODO 2

#### Aire comprimido

De acuerdo a la bibliografía las características más importantes son las siguientes:

- ◆ Peligroso para la piel, los ojos y las vías respiratorias.
- ◆ El líquido está a temperatura extremadamente baja.
- ◆ El gas puede asfixiar sin advertencia previa.
- ◆ Favorece el incendio.
- ◆ No inflamable.

#### Peligros

- ◆ El calentamiento de los recipientes provoca aumento de presión con riesgo de estallido y liberación inmediata de una nube de vapor expandido que crea una onda de presión.
- ◆ El contacto con el líquido puede debilitar ó hacer quebradizos a muchos materiales, incluidos los equipos de Protección Personal frente a riesgos químicos.
- ◆ El contacto con el líquido provoca congelación y daño grave a los ojos.
- ◆ El contacto con materias combustibles puede provocar incendio ó explosión.
- ◆ El gas puede ser invisible y puede introducirse en alcantarillas y sótanos ó desplazar el aire de los espacios cerrados.
- ◆ Aumenta el riesgo de incendio de material combustible, en particular de la ropa.

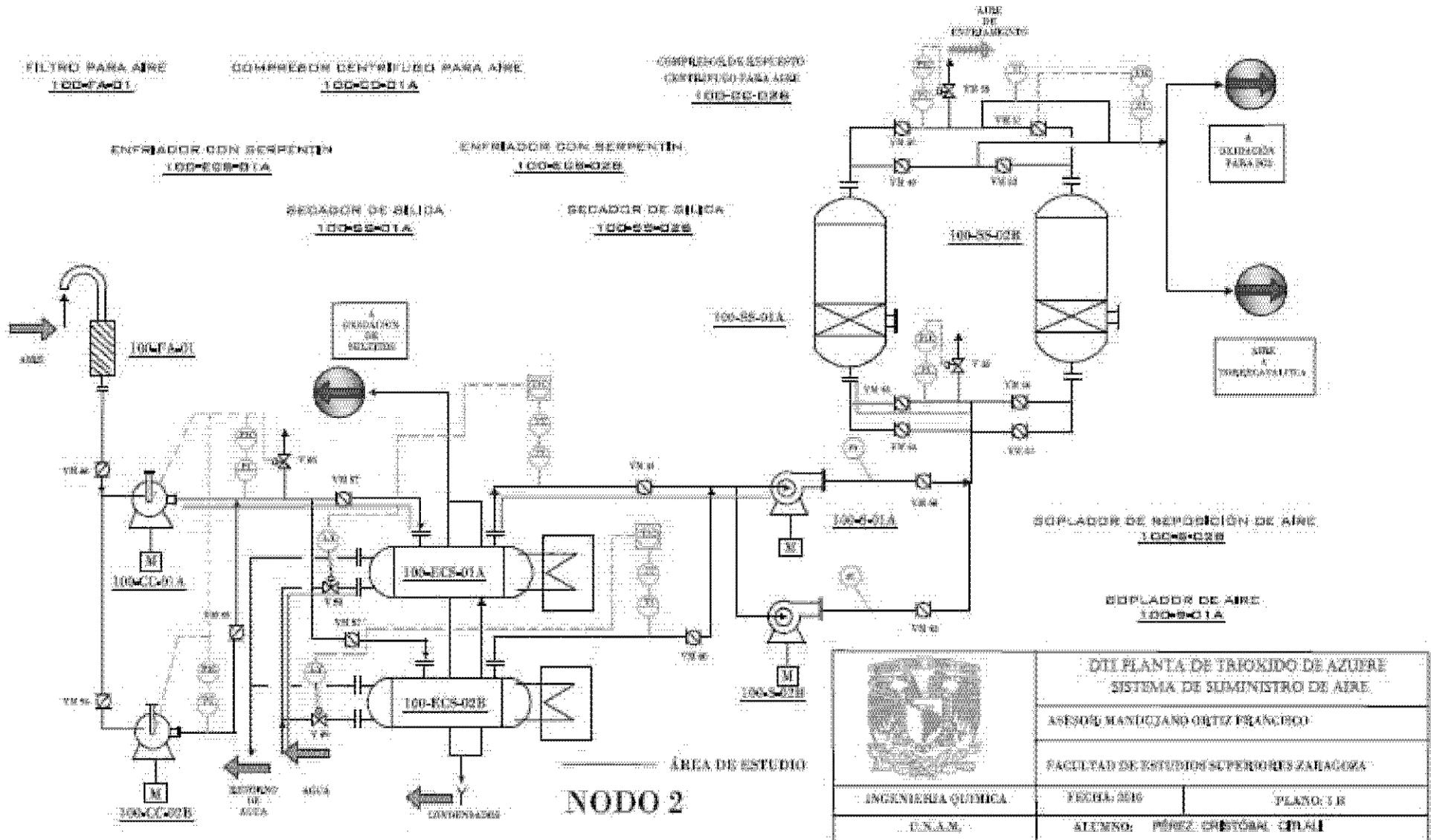
#### Oxígeno

De acuerdo a la bibliografía las características más importantes son las siguientes:

- ◆ El gas puede asfixiar sin advertencia previa.
- ◆ Favorece el incendio.
- ◆ No inflamable.

#### Peligros

- ◆ El calentamiento de los recipientes provoca aumento de presión con riesgo de estallido y liberación inmediata del gas.
- ◆ El contacto con materias combustibles puede provocar incendio ó explosión.
- ◆ El gas puede ser invisible y puede introducirse en alcantarillas y sótanos ó desplazar el aire de los espacios cerrados.
- ◆ Aumenta el riesgo de incendio de material combustible, en particular de la ropa.



	<b>DTI PLANTA DE TRONCADO DE AZÚCAR</b> <b>SISTEMA DE SUMINISTRO DE AIRE</b>	
	ASESOR MANOJANO ORTEZ FRANCISCO	
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA		
INGENIERIA QUIMICA	FECHA: 2016	PLANO: 1 R
U.N.A.M.	ALUMNO: PÉREZ CRISTÓBAL CIPRI	

PLANTA O PROYECTO: Proceso de detergente biodegradable  
 EQUIPO: Enfriador con serpentín 100-ECS-01A

ÁREA: Sistema de suministro de aire  
 FUNCIÓN: Enfriar el aire

DIAGRAMA O PLANO: DTI 1B  
 NODO: DOS

FECHA: 2010  
 HOJA 01 DE 03

PALABRA CLAVE	PROBLEMA	EFECTO	CAUSA	CONSECUENCIA	ACCIÓN O PROTECCIÓN REQUERIDA	C	F	R
NO	NO hay suministro de aire	No hay flujo de aire que enfriar, hay desperdicio de agua de enfriamiento	El compresor 100-CC-01 A no funciona. La válvula VM 37 cerrada.	No hay flujo de aire para oxidación	Cubierta por el compresor 100-CC-02B Colocar medidores de flujo	1	2	2
	NO hay suministro de agua de enfriamiento	El flujo de aire no se enfría	La válvula V 38 cerrada	No habrá reducción de humedad en el aire	Bypass para mantenimiento y de remplazo Colocar un avisador de alarma de falta de líquido de alimentación	1	2	2
MÁS	MÁS condensado	Una acumulación de condensados	Falta de válvula de drenaje automático	Flujo de aire con gran presencia de humedad	Instalar una válvulas de drenaje automático de flotador	1	2	2
	MÁS flujo de aire	No hay buen enfriamiento del flujo de aire	La válvula VM 37 demasiado abierta	No se retira la cantidad de humedad adecuada y el aire húmedo provoca una oxidación lenta a ácido sulfúrico en el horno de oxidación	Colocar un medidor de flujo Mantenimiento a válvulas	1	2	2
	MÁS flujo de agua de enfriamiento	No las hay	La válvula V 38 abierta más de lo necesario	No hay si el aire puede absorber el exceso de flujo frío	Mantenimiento preventivo a válvula Colocar un medidor de flujo	1	2	2
	MÁS temperatura	No hay	El TIC está fallando Las válvula V 38 cerrada	En si no hay aumento de temperatura por lo que el fluido pasaría caliente al 2do intercambiador	Mantenimiento y calibración a equipo de instrumentación Mantenimiento a válvula	1	1	1

C = Consecuencia, F = Frecuencia, R = Riesgo

PLANTA O PROYECTO: Proceso de detergente biodegradable  
 EQUIPO: Enfriador con serpentín 100-ECS-01A

ÁREA: Sistema de suministro de aire  
 FUNCIÓN: Enfriar el aire

DIAGRAMA O PLANO: DTI 1B  
 NODO: DOS

FECHA: 2010  
 HOJA 02 DE 03

PALABRA CLAVE	PROBLEMA	EFEECTO	CAUSA	CONSECUENCIA	ACCIÓN O PROTECCIÓN REQUERIDA	C	F	R
MÁS	MÁS presión	Acumulación del fluido aire	La válvula VM 41 está cerrada a la descarga	Estallido del equipo	Colocar medidor de flujo Mantenimiento a válvulas Colocar un dique de contención	3	2	6
MENOS	MENOS flujo de aire	No hay suficiente aire	La válvula V 37 está cerrada, el compresor 100-CC 01 A esta fallando	No hay suficiente flujo de aire para la oxidación	Cubierta por el compresor 100-CC-02B Colocar medidores de flujo	1	2	2
	MENOS flujo de agua de enfriamiento	No hay buen enfriamiento de aire	La válvula V 38 cerrada más de lo necesario	No hay suficiente reducción de humedad en el aire	Colocar un medidor de flujo	1	2	2
	MENOS temperatura	En la viscosidad y condensado	El TIC está fallando La temperatura del flujo de agua de enfriamiento viene baja.	Una disminución en la viscosidad del aire Se presentan más condensados	Mantenimiento y calibración del equipo de instrumentación mantenimiento al sistema de agua de enfriamiento	1	2	2
	MENOS presión	Una disminución en el volumen del aire	Una fuga dentro de los tubos de aire	Una caída de presión del aire	Mantenimiento a equipo	1	2	2
INVERSO A	INVERSO A que el flujo no enfríe adecuadamente	No existe un buen enfriamiento	Una fuga de agua en la tubería del intercambiador	El flujo de aire no disminuye su humedad	Chequeo y mantenimiento preventivo al equipo Chequeo y mantenimiento a tuberías	1	2	2

C = Consecuencia, F = Frecuencia, R = Riesgo

PLANTA O PROYECTO: Proceso de detergente biodegradable  
 EQUIPO: Secador de sílica 100-SS-01A

ÁREA: Sistema de suministro de aire  
 FUNCIÓN: Adsorbe las moléculas de vapor de agua contenidas en el aire

DIAGRAMA O PLANO: DTI 1B  
 NODO: DOS

FECHA: 2010  
 HOJA 03 DE 03

PALABRA CLAVE	PROBLEMA	EFECTO	CAUSA	CONSECUENCIA	ACCIÓN O PROTECCIÓN REQUERIDA	C	F	R
NO	NO hay suministro de aire	No hay flujo de aire que secar	Válvula VM 45 cerrada	No hay flujo de aire para oxidación	Cubierta por la válvula VM 44	1	2	2
	NO hay desecante	Retraso en la producción	El tanque 100-SS-01 A se encuentra vacío	Un paro de producción	Tener desecante de reserva en el almacén Cubierto por tanque 100-SS-02 B	1	2	2
MÁS	MÁS flujo de aire	No hay una buena adsorción	La válvula VM 45 abierta más de lo necesario	El desecante se satura muy pronto	Colocar un medidor de flujo	1	2	2
MENOS	MENOS flujo de aire	No hay flujo de aire que secar	La válvula VM 45 cerrada más de lo necesario	No hay flujo de aire para oxidación	Colocar un medidor de flujo	1	2	2
	MENOS desecante	Hay más humedad en el flujo de aire	No hay suficiente desecante en el tanque 100-SS-01 A	El flujo de aire húmedo provoca una oxidación lenta a ácido sulfúrico en el horno de oxidación	Tener desecante de reserva en el almacén	1	2	2

C = Consecuencia, F = Frecuencia, R = Riesgo

### 3.5.3. ANÁLISIS DE ESTUDIO HAZOP PARA EL NODO 3

#### Oxigeno

De acuerdo a la bibliografía las características más importantes son las siguientes:

- ◆ El gas puede asfixiar sin advertencia previa.
- ◆ Favorece el incendio.
- ◆ No inflamable.

#### Peligros

- ◆ El calentamiento de los recipientes provoca aumento de presión con riesgo de estallido y liberación inmediata del gas.
- ◆ El contacto con materias combustibles puede provocar incendio ó explosión.
- ◆ El gas puede ser invisible y puede introducirse en alcantarillas y sótanos ó desplazar el aire de los espacios cerrados.
- ◆ Aumenta el riesgo de incendio de material combustible, en particular de la ropa.

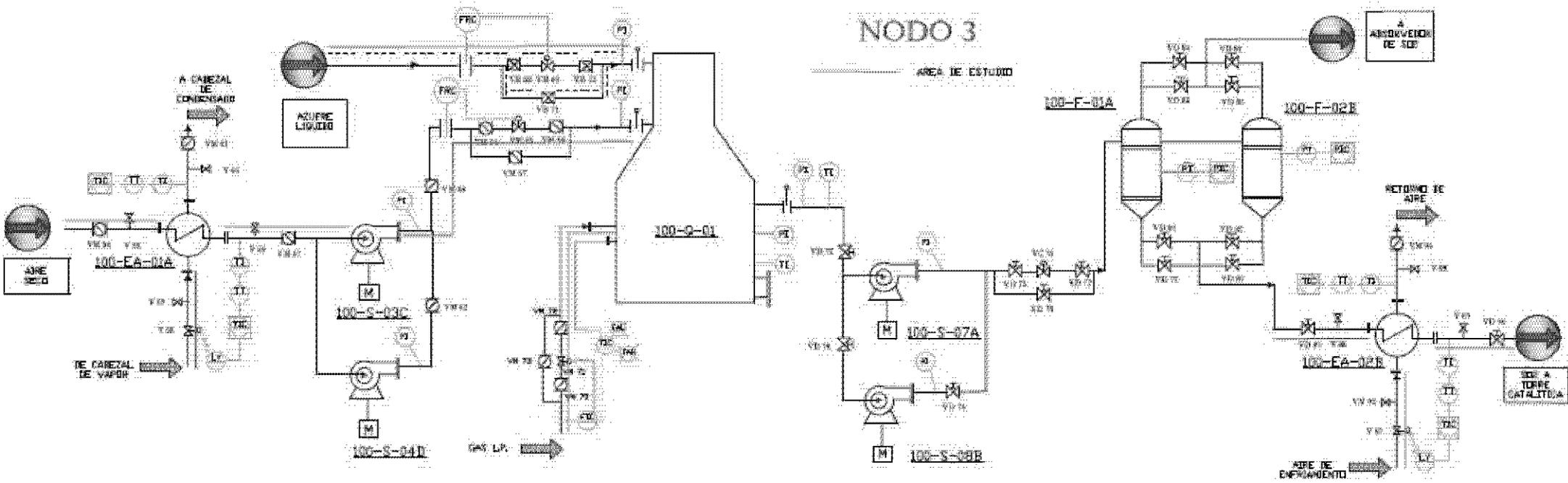
#### Dióxido de azufre

De acuerdo a la bibliografía las características más importantes son las siguientes:

- ◆ Tóxico por inhalación ó por absorción por la piel.
- ◆ Corrosivo, causa daños en la piel, los ojos y las vías respiratorias.
- ◆ No inflamable.
- ◆ El gas es absorbido ó fácilmente dispersado mediante agua en forma de niebla ó chorro.

#### Peligros

- ◆ Puede reaccionar en un incendio produciendo gases ó emanaciones tóxicas ó irritantes.
- ◆ El calentamiento del/de los recipiente/s provoca aumento de presión con riesgo de estallido y liberación inmediata de una nube de vapor expandido, tóxico y corrosivo, creando una onda de presión.
- ◆ El contacto con el líquido provoca congelación y daño grave a los ojos.
- ◆ Puede atacar a los metales y producir gas hidrógeno que puede formar mezcla explosiva con el aire.
- ◆ El gas puede ser invisible y puede introducirse en alcantarillas y sótanos ó desplazar el aire de los espacios cerrados.



INTERCAMBIADOR PARA CALENTAMIENTO DE AIRE  
100-EA-01A

SOPLADOR PARA AIRE SECO  
100-S-03C

SOPLADOR DE REPRESIÓN PARA AIRE SECO  
100-S-04D

QUEMADOR DE AZUFRE TIPO ATOMIZADOR  
100-Q-01

SOPLADOR PARA SO<sub>2</sub>  
100-S-07A

SOPLADOR DE REPRESIÓN DE SO<sub>2</sub>  
100-S-08B

FILTRO  
100-F-01A

FILTRO  
100-F-02B

INTERCAMBIADOR PARA ENFRÍAMENTO DE SO<sub>2</sub>  
100-EA-02B

	DISEÑO DE PLANTA DE TRIONIDO DE AZUFRE PRODUCCIÓN DEL DIOXIDO DE AZUFRE CON AIRE SECO	
	ASESOR: MANUEL ORTIZ FRANCISCO	
	FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA	
	INGENIERIA QUIMICA	UNAM
FECHA: 2000	PLANO: I C	
ALUMNO: PEREZ CRISTOBAL CITALI		

PLANTA O PROYECTO: Proceso de detergente biodegradable  
 EQUIPO: Intercambiador de calor 100-EA-01 A

ÁREA: Producción de dióxido de azufre con aire seco  
 FUNCIÓN: Calentar el aire

DIAGRAMA O PLANO: DTI 1C  
 NODO: TRES

FECHA: 2010  
 HOJA 01 DE 07

PALABRA CLAVE	PROBLEMA	EFECTO	CAUSA	CONSECUENCIA	ACCIÓN O PROTECCIÓN REQUERIDA	C	F	R
NO	NO hay flujo de aire	No hay aire que enfriar, hay desperdicio de agua de enfriamiento	Válvula VM 54 cerrada	No hay producción de SO <sub>2</sub>	Bypass para mantenimiento y de replazo Colocar un avisador de alarma de falta de flujo de alimentación	1	2	2
	NO hay flujo vapor	No hay calentamiento en el aire para prender al azufre a la punta de la boquilla de aspersión	Válvula VM 58 cerrada	No saldrá a las condiciones que se requieren	Calibración de equipo de instrumentación Colocar señal luminosa de alarma de falta de flujo alimentación	1	2	2
MÁS	MÁS flujo de aire	No hay buen calentamiento homogéneo del aire	La válvula VM 54 demasiado abierta de lo necesario	El calentamiento del aire no es uniforme y no saldrá a las condiciones que se requieren	Colocar un medidor de flujo Mantenimiento a válvulas	1	2	2
	MÁS flujo de vapor	Aumento de la temperatura	La válvula V 58 abierta más de lo necesario	Aumento de presión Estallido	Calibración de equipo de instrumentación	3	2	6
	MÁS temperatura	No las hay	El TIC está fallando Las válvula V 58 abierta más de lo necesario	Tiene que llegar seco el flujo de aire	Calibración de equipo de instrumentación Mantenimiento a válvulas	1	1	1

C = Consecuencia, F = Frecuencia, R = Riesgo

PLANTA O PROYECTO: Proceso de detergente biodegradable  
 EQUIPO: Intercambiador de calor 100-EA-01 A

ÁREA: Producción de dióxido de azufre con aire seco  
 FUNCIÓN: Calentar el aire

DIAGRAMA O PLANO: DTI\_1C  
 NODO: TRES

FECHA: 2010  
 HOJA 02 DE 07

PALABRA CLAVE	PROBLEMA	EFEECTO	CAUSA	CONSECUENCIA	ACCIÓN O PROTECCIÓN REQUERIDA	C	F	R
MÁS	MÁS presión	Acumulación de fluido aire	La válvula VM 57 esta cerrada a la descarga	Un estallido	Colocar medidor de flujo Mantenimiento a válvulas	3	2	6
MENOS	MENOS flujo de aire	No es suficiente para la oxidación	La válvula VM 54 cerrada más de lo necesario	Trabajo a régimen mínimo	Colocar un medidor de flujo Calibración de equipo de instrumentación	1	2	2
	MENOS flujo de vapor	No hay suficiente temperatura	La válvula V 58 cerrada más de lo necesario	Falta de calentamiento en el aire	Calibración de equipo de instrumentación	1	2	2
	MENOS temperatura	No hay un buen calentamiento del aire	La válvula VM 54 cerrada más de lo necesario El TIC está fallando	No sale a las condiciones que se requieren	Calibración de equipo de instrumentación Mantenimiento a válvulas	1	2	2
	MENOS presión	Una disminución en el volumen de aire	Una fuga dentro de los tubos de aire	Una caída de presión	Mantenimiento a equipo	1	2	2

C = Consecuencia, F = Frecuencia, R = Riesgo

PLANTA O PROYECTO: Proceso de detergente biodegradable  
 EQUIPO: Quemador de azufre tipo atomizador 100-Q-01

ÁREA: Producción de dióxido de azufre con aire seco  
 FUNCIÓN: Oxidación de azufre

DIAGRAMA O PLANO: DTI 1C  
 NODO: TRES

FECHA: 2010  
 HOJA 03 DE 07

PALABRA CLAVE	PROBLEMA	EFEECTO	CAUSA	CONSECUENCIA	ACCIÓN O PROTECCIÓN REQUERIDA	C	F	R
NO	NO hay flujo de aire	No hay oxidación	Válvula VM 64, VM 65, VM 66, cerradas por error. El soplador 100-S-03 C no funciona	No hay SO <sub>2</sub>	Cubierta por la válvula VM 67 Cubierto por soplador 100-S-04 D Colocar señal luminosa de alarma de falta de flujo de alimentación	1	2	2
	NO hay flujo de azufre líquido	No hay oxidación	Válvulas VM 68, VM 69, VM 70 cerradas por error. La bomba 100-BR-03 C no funciona	No hay SO <sub>2</sub>	Cubierta por la válvula VM 71 Cubierta por la bomba 100-BR-04 D Colocar un avisador de alarma de falta de azufre líquido en la alimentación	1	2	2
	No funciona el aspersor para azufre	Se tapa el aspersor	Se solidifica el azufre	No hay SO <sub>2</sub> y aumento de presión con riesgo de estallido	Verificar que no existan pérdidas de energía dentro del enchaquetamiento del sistema de fusión del azufre Chequeo de mantenimiento preventivo dentro de los aspersores.	3	2	6
	No hay flujo de gas L.P	No hay calentamiento en el quemador	Las válvulas VM 70', VM 71' VM72' están cerradas por error	Retraso de producción de SO <sub>2</sub> solidificación de azufre líquido	Mantenimiento a válvulas Verificar que la tubería no esté obstruida Mantenimiento al quemador Colocar señal luminosa de alarma de falta de flujo de alimentación	1	2	2

C = Consecuencia, F = Frecuencia, R = Riesgo

PLANTA O PROYECTO: Proceso de detergente biodegradable  
 EQUIPO: Quemador de azufre tipo atomizador 100-Q-01

ÁREA: Producción de dióxido de azufre con aire seco  
 FUNCIÓN: Oxidación de azufre

DIAGRAMA O PLANO: DTI 1C  
 NODO: TRES

FECHA: 2010  
 HOJA 04 DE 07

PALABRA CLAVE	PROBLEMA	EFEECTO	CAUSA	CONSECUENCIA	ACCIÓN O PROTECCIÓN REQUERIDA	C	F	R
MÁS	MÁS flujo de aire	No hay una reacción estequiometrica	Válvula VM 64, VM 65, VM 66, abiertas más de lo necesario	El exceso de aire puede formar SO <sub>3</sub> y condensar como ácido sulfúrico	Chequeo de mantenimiento preventivo en válvulas, calibración de equipo de instrumentación	1	2	2
	MÁS flujo de azufre líquido	No hay una reacción estequiometrica	Válvulas VM 68, VM 69, VM 70 abierta más de lo necesario	No se forma la cantidad necesaria de SO <sub>2</sub>	Chequeo de mantenimiento preventivo en válvulas, Calibración de equipo de instrumentación	1	2	2
	MÁS temperatura	Aumenta la temperatura	Falla en las válvulas VM 70' VM 71' VM72' están abierta más de lo requerido Falla en la lectura del TIC	Aumento de presión con riesgo de estallido El azufre líquido puede llegar al flash point	Chequeo de mantenimiento preventivo en válvulas y termopares de alta temperatura, y sus respectivas alarmas. Calibración de equipo de instrumentación	3	2	6
	MÁS flujo de gas L.P.	Aumento de temperatura	Las válvulas VM 70' VM 71' VM72' están abiertas más de lo necesario Falla del FIC	Un sobrecalentamiento en el equipo Aumento de presión Posible estallido	Mantenimiento al FIC Mantenimiento a válvulas	3	2	6
	MÁS presión	Aumento de la temperatura	Variación de alimentación del gas L.P Falla del FIC	Estallido de equipo	Mantener el equipo de instrumentación calibrado y en mantenimiento Mantenimiento a válvulas	3	2	6

C = Consecuencia, F = Frecuencia, R = Riesgo

PLANTA O PROYECTO: Proceso de detergente biodegradable  
 EQUIPO: Quemador de azufre tipo atomizador 100-Q-01

ÁREA: Producción de dióxido de azufre con aire seco  
 FUNCIÓN: Oxidación de azufre

DIAGRAMA O PLANO: DTI\_1C  
 NODO: TRES

FECHA: 2010  
 HOJA 05 DE 07

PALABRA CLAVE	PROBLEMA	EFEECTO	CAUSA	CONSECUENCIA	ACCIÓN O PROTECCIÓN REQUERIDA	C	F	R
MENOS	MENOS flujo de aire	No hay una reacción estequiometrica	Válvula VM 64, VM 65, VM 66, cerradas más de lo necesario	No se forma la cantidad suficiente de SO <sub>2</sub>	Mantenimiento a válvulas Colocar un medidor de flujo	1	2	2
	MENOS flujo de azufre	No hay una reacción estequiometrica	Válvulas VM 68, VM 69, VM 70 cerradas más de lo necesario	No se forma la cantidad suficiente de SO <sub>2</sub>	Mantenimiento a válvulas Colocar un medidor de flujo preciso	1	2	2
	MENOS temperatura	Disminución en la temperatura	Falla en la válvula VM 70 VM 71 VM 72 están cerradas más de lo requerido Falla en la lectura del TIC	No es suficiente para llevarse a cabo la oxidación. Exceso de azufre líquido.	Chequeo de mantenimiento preventivo en válvulas y termopares de baja temperatura, y sus respectivas alarmas. Calibración de equipo de instrumentación	1	2	2
	MENOS flujo de gas L.P.	Disminución en la temperatura	Las válvulas VM 70 VM 71 VM 72 están cerradas más de lo necesario	El quemador no se encuentra a las condiciones para operar	Mantenimiento a válvulas Colocar un medidor de flujo Checar equipo de instrumentación	1	2	2
	MENOS presión	Disminución en la temperatura	Variación del flujo de alimentación del gas L.P. Falla del FIC	La temperatura decae y no hay reacción Una solidificación de azufre en el interior del equipo	Mantener el equipo de instrumentación calibrado y en mantenimiento Mantenimiento a válvulas	1	2	2

C = Consecuencia, F = Frecuencia, R = Riesgo

PLANTA O PROYECTO: Proceso de detergente biodegradable  
 EQUIPO: Intercambiador de calor 100-EA-02B

ÁREA: Producción de dióxido de azufre con aire seco  
 FUNCIÓN: Enfriar el gas SO<sub>2</sub>

DIAGRAMA O PLANO: DTI 1C  
 NODO: TRES

FECHA: 2010  
 HOJA 06DE 07

PALABRA CLAVE	PROBLEMA	EFECTO	CAUSA	CONSECUENCIA	ACCIÓN O PROTECCIÓN REQUERIDA	C	F	R
NO	NO hay flujo de SO <sub>2</sub>	No hay SO <sub>2</sub> que enfriar, hay desperdicio de aire de enfriamiento	La válvula VD 87 cerrada	NO habrá una obtención de SO <sub>3</sub>	Bypass para mantenimiento y de replazo Colocar una avisador de alarma de falta de flujo en la alimentación	1	2	2
	NO hay flujo de aire de enfriamiento	El gas SO <sub>2</sub> pasa caliente	La válvula VM 92 cerrada	El SO <sub>2</sub> está fuera de especificación hacia la torre catalítica No va a ver una conversión óptima ha SO <sub>3</sub>	Chequeo de mantenimiento preventivo en válvulas y termopares de alta y baja temperatura Calibración de equipo de instrumentación	1	2	2
MÁS	MÁS flujo de SO <sub>2</sub>	No hay un enfriamiento uniforme	La válvula VD 87 abierta más de lo necesario	Fuera de especificación hacia la torre catalítica	Chequeo de mantenimiento preventivo en válvulas y termopares de alta y baja temperatura Calibración de equipo de instrumentación Medidor de flujo	1	2	2
	MÁS flujo de aire de enfriamiento	No hay	La válvula VM 92 abierta más de lo necesario	No las tiene si el flujo de SO <sub>2</sub> puede absorber el exceso del flujo del frío	Chequeo de mantenimiento preventivo en válvulas y termopares de alta y baja temperatura Calibración de equipo de instrumentación	1	1	1
	MÁS temperatura	No hay	El TIC está fallando la válvula V 91 cerrada	En si no hay aumento de temperatura	Mantenimiento y calibración a equipo de instrumentación Mantenimiento a válvulas	1	1	1

C = Consecuencia, F = Frecuencia, R = Riesgo

PLANTA O PROYECTO: Proceso de detergente biodegradable  
 EQUIPO: Intercambiador de calor 100-EA-02B

ÁREA: Producción de dióxido de azufre con aire seco  
 FUNCIÓN: Enfriar el gas SO<sub>2</sub>

DIAGRAMA O PLANO: DTI 1C  
 NODO: TRES

FECHA: 2010  
 HOJA 07 DE 07

PALABRA CLAVE	PROBLEMA	EFEECTO	CAUSA	CONSECUENCIA	ACCIÓN O PROTECCIÓN REQUERIDA	C	F	R
MÁS	MÁS presión	Acumulación de fluido de SO <sub>2</sub>	La válvula VD 90 está cerrada a la descarga	Estallido en el equipo	Colocar un medidor de flujo Mantenimiento válvulas	3	2	6
MENOS	MENOS flujo de SO <sub>2</sub>	No hay una reacción estequiometrica	La válvula VD 87 cerrada menos de lo necesario	Trabajo mínimo No hay una conversión óptima del SO <sub>3</sub>	Colocar un medidor de flujo Calibración de equipo de instrumentación	1	2	2
	MENOS flujo de aire de enfriamiento	El SO <sub>2</sub> no logra enfriarse adecuadamente	La válvula VM 92 cerrada menos de lo necesario	Fuera de especificación hacia la torre catalítica	Chequeo de mantenimiento preventivo en válvulas y termopares de alta y baja temperatura Calibración de equipo de instrumentación	1	2	2
	MENOS temperatura	No sale a las especificaciones que se requiere	El TIC está fallando El aire de enfriamiento llega con menor temperatura	La temperatura del SO <sub>2</sub> se sale de especificación para entrar a la torre catalítica	Chequeo y mantenimiento a válvulas Mantenimiento y calibración a equipo de instrumentación	1	2	2
	MENOS presión	Una disminución en el volumen del SO <sub>2</sub>	Una fuga dentro de los tubos del SO <sub>2</sub>	Una caída de presión en del SO <sub>2</sub> Una reacción lenta a SO <sub>3</sub>	Chequeo y mantenimiento a válvulas Mantenimiento al equipo	1	2	2

C = Consecuencia, F = Frecuencia, R = Riesgo

### 3.5.4. ANÁLISIS DE ESTUDIO HAZOP PARA EL NODO 4

Oxígeno<sup>23</sup>

Pentóxido de vanadio

De acuerdo a la bibliografía las características más importantes son las siguientes:

- ◆ Tóxico en caso de ingestión ó inhalación.
- ◆ Peligroso para los ojos y las vías respiratorias.
- ◆ Líquido ó sólido.
- ◆ Punto de inflamación por encima de 61°C ó no inflamable.

Peligros

- ◆ El calentamiento del/de los recipiente/s provocará aumento de presión con riesgo de estallido y la consiguiente explosión (incluso un BLEVE).
- ◆ Emite emanaciones tóxicas e irritantes, incluso cuando arde.
- ◆ El vapor puede ser invisible y es más pesado que el aire. Se difunde a ras de suelo y puede introducirse en alcantarillas y sótanos.

Trióxido de azufre

De acuerdo a la bibliografía las características más importantes son las siguientes:

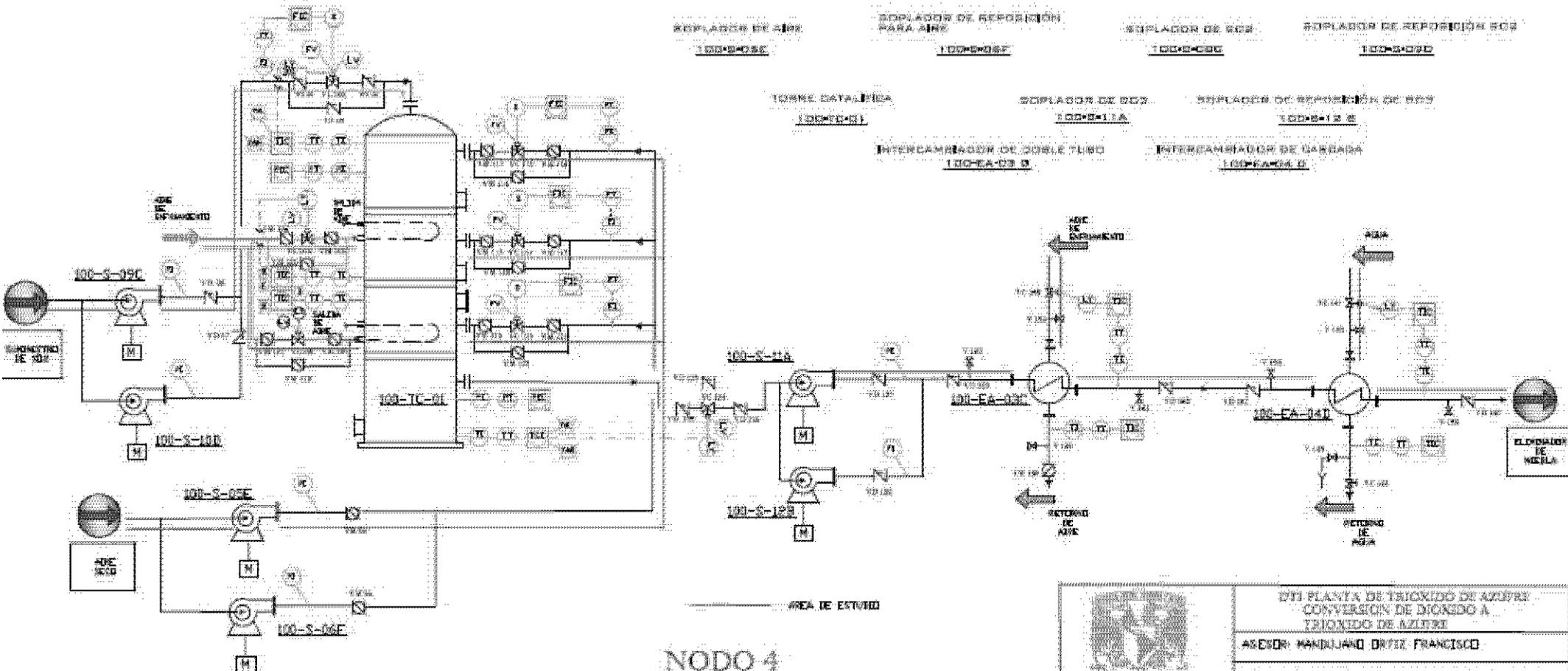
- ◆ Desprende emanaciones peligrosas.
- ◆ Reacción violenta con el agua desprendiendo gases peligrosos.
- ◆ Muy corrosivo, causa graves daños en la piel, los ojos y las vías respiratorias.
- ◆ Líquido ó sólido
- ◆ Punto de inflamación por encima de 61°C ó no inflamable.

Peligros

- ◆ El calentamiento del/de los recipiente/s provocará aumento de presión con riesgo de estallido y la consiguiente explosión (incluso un BLEVE).
- ◆ Emite emanaciones corrosivas e irritantes, incluso cuando arde.
- ◆ Puede atacar a los metales y producir gas hidrógeno que puede formar mezcla explosiva con el aire.
- ◆ El vapor puede ser invisible y es más pesado que el aire. Se difunde a ras de suelo y puede introducirse en alcantarillas y sótanos.

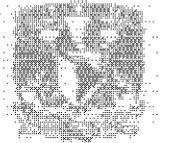
---

<sup>23</sup> Ver 3.5.2. ANÁLISIS DE ESTUDIO HAZOP PARA EL NODO 2 y 3.5.3. ANÁLISIS DE ESTUDIO HAZOP PARA EL NODO 3



NODO 4

AREA DE ESTUDIO

	DTI PLANTA DE TRICEDO DE AZÚCAR CONVERSIÓN DE DICENSO A TRICEDO DE AZÚCAR	
	ASESOR: MANDUJANO ORTIZ FRANCISCO	
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZAMACOIS		
INGENIERIA QUIMICA UNAM	FECHA: 2010	PLANO: 1-D
ALUMNO: PÉREZ CRISTÓBAL CIJALÁ		

PLANTA O PROYECTO: Proceso de detergente biodegradable  
 EQUIPO: Torre catalítica 100-TC-01

ÁREA: Producción de dióxido de azufre con aire seco  
 FUNCIÓN: Reacción de SO<sub>2</sub> a SO<sub>3</sub>

DIAGRAMA O PLANO: DTI 1D  
 NODO: CUATRO

FECHA: 2010  
 HOJA 01 DE 10

PALABRA CLAVE	PROBLEMA	EFEECTO	CAUSA	CONSECUENCIA	ACCIÓN O PROTECCIÓN REQUERIDA	C	F	R
NO	NO hay flujo de SO <sub>2</sub> en el primer lecho	No hay reacción	Las válvulas VD 99, VC 100, VD101 cerradas. El soplador 100-S-09 C no funciona	No se producirá SO <sub>3</sub>	Cubiertas por la válvula VD 102 Cubierto por el soplador 100-S-10 C Colocar un avisador de alarma de falta de flujo de alimentación	1	2	2
	NO hay flujo de aire para reacción en el primer lecho	No hay una reacción en el primer lecho	Las válvulas VM 111, VC 112, VM 113 cerradas. El soplador 100-S 05E no funciona	No se producirá SO <sub>3</sub> en el primer lecho	Cubierta por la válvula VM 114 Cubierto por el soplador 100-S-06F Colocar un avisador de alarma de falta de flujo de alimentación	1	2	2
	NO hay catalizador en el primer lecho	Retraso en la producción	No se colocó en el primer lecho	Hay una conversión muy lenta	Garantizar una buena comunicación con el personal Garantizar que hay catalizador en el almacén	1	2	2
	NO hay flujo de aire para reacción en el segundo lecho	No hay una reacción estequiometrica	Las válvulas VM 115, VC 116, VM 117 cerradas. El soplador 100-S 05E no funciona	No se producirá la cantidad suficiente de SO <sub>3</sub>	Cubierta por la válvula MV118 Cubierto por el soplador 100-S-06F Colocar un avisador de alarma de falta de flujo de alimentación	1	2	2
	NO hay catalizador en el segundo lecho	Retraso en la producción	No se colocó en el segundo lecho	No hay una conversión rápida	Garantizar una buena comunicación con el personal Garantizar que hay catalizador en el almacén	1	2	2
	No hay aire de enfriamiento en el segundo lecho	Aumento en la temperatura	Las válvulas VM103, VC104, VM105 cerradas	La velocidad de reacción es rápida. El calentamiento del/de los recipiente/s provocará aumento de presión con riesgo de estallido	Cubierta por la válvula VM 106 Dar mantenimiento a los equipos y válvulas Colocar un avisador de alarma de falta de flujo de alimentación en aire de enfriamiento	3	2	6

C = Consecuencia, F = Frecuencia, R = Riesgo

PLANTA O PROYECTO: Proceso de detergente biodegradable  
 EQUIPO: Torre catalítica 100-TC-01

ÁREA: Producción de dióxido de azufre con aire seco  
 FUNCIÓN: Reacción de SO<sub>2</sub> a SO<sub>3</sub>

DIAGRAMA O PLANO: DTI 1D  
 NODO: CUATRO

FECHA: 2010  
 HOJA 02 DE 10

PALABRA CLAVE	PROBLEMA	EFECTO	CAUSA	CONSECUENCIA	ACCIÓN O PROTECCIÓN REQUERIDA	C	F	R
NO	NO hay flujo de aire para reacción en el tercer lecho	No hay una reacción estequiometrica	Las válvulas VM 119, VC120, VM121 cerradas El soplador 100-S 05E no funciona	No se producirá la cantidad suficiente de SO <sub>3</sub>	Cubierta por la válvula VM122 Cubierto por el soplador 100-S-06F Colocar un avisador de alarma de falta de flujo de alimentación	1	2	2
	NO hay catalizador en el tercer lecho	Retraso en la producción	No se colocó en el tercer lecho	Hay una conversión muy lenta	Garantizar una buena comunicación con el personal Garantizar que hay catalizador en el almacén	1	2	2
	No hay aire de enfriamiento en el tercer lecho	Aumento en la temperatura	Las válvulas VM107, VC108, VM109 cerradas	Afectación en la velocidad de reacción es rápida. El calentamiento del/de los recipiente/s provocará aumento de presión con riesgo de estallido	Cubierta por la válvula VM110 Colocar un avisador de alarma de falta de flujo de alimentación Dar mantenimiento a los equipos y válvulas	3	2	6
MÁS	MÁS flujo de SO <sub>2</sub>	No hay una reacción estequiometrica	Las válvulas VD 99, VC100, VD101 abiertas más de lo necesario El FIC está fallando	No se producirá la cantidad suficiente de SO <sub>3</sub>	Chequeo de mantenimiento preventivo en válvulas Calibración en el equipo de instrumentación	1	2	2
	MÁS flujo de aire para reacción en el primer lecho	No hay una reacción estequiometrica	Las válvulas VM111, VC112, VM113 abiertas más de lo necesario El FIC está fallando	No se producirá la cantidad suficiente de SO <sub>3</sub>	Chequeo de mantenimiento preventivo en válvulas Calibración en el equipo de instrumentación	1	2	2

C = Consecuencia, F = Frecuencia, R = Riesgo

PLANTA O PROYECTO: Proceso de detergente biodegradable  
 EQUIPO: Torre catalítica 100-TC-01

ÁREA: Producción de dióxido de azufre con aire seco  
 FUNCIÓN: Reacción de SO<sub>2</sub> a SO<sub>3</sub>

DIAGRAMA O PLANO: DTI 1D  
 NODO: CUATRO

FECHA: 2010  
 HOJA 03 DE 10

PALABRA CLAVE	PROBLEMA	EFEECTO	CAUSA	CONSECUENCIA	ACCIÓN O PROTECCIÓN REQUERIDA	C	F	R
MÁS	MÁS flujo de aire para reacción en el segundo lecho	No hay una reacción estequiometrica	Las válvulas VM 115, VC116, VM117 abiertas más de lo necesario El FIC está fallando	No se producirá la cantidad suficiente de SO <sub>3</sub>	Chequeo de mantenimiento preventivo en válvulas Calibración en el equipo de instrumentación	1	2	2
	MÁS flujo de aire de enfriamiento en el segundo lecho	Disminución en la temperatura	Las válvulas VM 103, VC 104 VM 105 abierta más de lo necesario	La reacción es más lenta	Chequeo de mantenimiento preventivo en válvulas y Colocar medidores de flujo para un buen control	1	2	2
	MÁS temperatura en el segundo lecho	Afecta a la velocidad de reacción	No hay aire de enfriamiento La válvulas VM 103, VC 104, VM 105 cerradas El TIC está fallando	La reacción es más rápida. El calentamiento del/de los recipiente/s provocará aumento de presión con riesgo de estallido.	Colocar señal luminosa de alarma de falda de flujo de alimentación de aire de enfriamiento Mantenimiento y calibración a equipo de instrumentación Mantenimiento a válvulas	3	2	6
	MÁS flujo de aire para reacción en el tercer lecho	No hay una reacción estequiometrica	Las válvulas VM 119, VC120, VM121 abiertas más de lo necesario El FIC está fallando	No se producirá la cantidad suficiente de SO <sub>3</sub>	Chequeo de mantenimiento preventivo en válvulas Calibración en el equipo de instrumentación	1	2	2

C = Consecuencia, F = Frecuencia, R = Riesgo

PLANTA O PROYECTO: Proceso de detergente biodegradable  
 EQUIPO: Torre catalítica 100-TC-01

ÁREA: Producción de dióxido de azufre con aire seco  
 FUNCIÓN: Reacción de SO<sub>2</sub> a SO<sub>3</sub>

DIAGRAMA O PLANO: DTI 1D  
 NODO: CUATRO

FECHA: 2010  
 HOJA 04 DE 10

PALABRA CLAVE	PROBLEMA	EFEECTO	CAUSA	CONSECUENCIA	ACCIÓN O PROTECCIÓN REQUERIDA	C	F	R
MÁS	MÁS aire de enfriamiento en el tercer lecho	Disminución de la temperatura	Las válvulas VM 107, VC 108 VM 109 abierta más de lo necesario	La velocidad de reacción es más lenta	Chequeo de mantenimiento preventivo en válvulas y Colocar medidores de flujo para un buen control	1	2	2
	MÁS temperatura en el tercer lecho	Afecta a la velocidad de reacción	No hay aire de enfriamiento La válvulas VM 107, VC 108, VM 109 cerradas El TIC está fallando	La reacción es más rápida El calentamiento del/de los recipiente/s provocará aumento de presión con riesgo de estallido	Colocar señal luminosa de alarma de falda de flujo de alimentación de aire de enfriamiento Mantenimiento y calibración a equipo de instrumentación Mantenimiento a válvulas Cubierta por VM 110	3	2	6
MENOS	MENOS flujo de SO <sub>2</sub> en el primer lecho	No hay una reacción estequiometrica	Las válvulas VD 99, VC 100, VD 101 cerradas más de lo necesario. El FIC está fallando	No se producirá la cantidad suficiente de SO <sub>3</sub>	Chequeo de mantenimiento preventivo en válvulas Calibración en el equipo de instrumentación	1	2	2
	MENOS flujo de aire para reacción en el primer lecho	No hay una reacción estequiometrica	Las válvulas VM 111, VC 112, VM 113 cerradas más de lo necesario El FIC está fallando	No se producirá la cantidad suficiente de SO <sub>3</sub>	Chequeo de mantenimiento preventivo en válvulas Calibración en el equipo de instrumentación	1	2	2

C = Consecuencia, F = Frecuencia, R = Riesgo

PLANTA O PROYECTO: Proceso de detergente biodegradable  
 EQUIPO: Torre catalítica 100-TC-01

ÁREA: Producción de dióxido de azufre con aire seco  
 FUNCIÓN: Reacción de SO<sub>2</sub> a SO<sub>3</sub>

DIAGRAMA O PLANO: DTI 1D  
 NODO: CUATRO

FECHA: 2010  
 HOJA 05 DE 10

PALABRA CLAVE	PROBLEMA	EFEECTO	CAUSA	CONSECUENCIA	ACCIÓN O PROTECCIÓN REQUERIDA	C	F	R
MENOS	MENOS catalizador en el primer lecho	Afecta la velocidad de conversión	Se colocó muy poco en el primer lecho	La conversión es más lenta	Garantizar una buena comunicación con el personal Tener listas a la mano de cantidades y balances	1	2	2
	MENOS flujo de aire para reacción en el segundo lecho	No hay una reacción estequiometrica	Las válvulas VM 115, VC 116, VM 117 cerradas más de lo necesario El FIC está fallando	No se producirá la cantidad suficiente de SO <sub>3</sub>	Chequeo de mantenimiento preventivo en válvulas Calibración en el equipo de instrumentación	1	2	2
	MENOS catalizador en el segundo lecho	Afecta la velocidad de conversión	Se colocó muy poco en el segundo lecho	La conversión es más lenta	Garantizar una buena comunicación con el personal Tener listas a la mano de cantidades y balances	1	2	2
	MENOS aire de enfriamiento en el segundo lecho	Aumento en la temperatura	Las válvulas VM103, VC104, VM105 cerradas más de lo necesario	La velocidad de reacción es más rápida	Cubierta por la válvula VM 106 Colocar un FIC Dar mantenimiento a los equipos y válvulas	1	2	2
	MENOS temperatura en el segundo lecho	Afecta a la velocidad de reacción	No hay aire de enfriamiento La válvulas VM 103, VC 104, VM 105 abiertas más de lo necesario El TIC está fallando	La reacción es más lenta	Mantenimiento y calibración a equipo de instrumentación Mantenimiento a válvulas	1	2	2
	MENOS flujo de aire para reacción en el tercer lecho	No hay una reacción estequiometrica	Las válvulas VM 119, VC 120, VM 121 cerradas más de lo necesario. El FIC está fallando	No se producirá la cantidad suficiente de SO <sub>3</sub>	Chequeo de mantenimiento preventivo en válvulas Calibración en el equipo de instrumentación	1	2	2

C = Consecuencia, F = Frecuencia, R = Riesgo

PLANTA O PROYECTO: Proceso de detergente biodegradable  
 EQUIPO: Torre catalítica 100-TC-01

ÁREA: Producción de dióxido de azufre con aire seco  
 FUNCIÓN: Reacción de SO<sub>2</sub> a SO<sub>3</sub>

DIAGRAMA O PLANO: DTI 1D  
 NODO: CUATRO

FECHA: 2010  
 HOJA 06 DE 10

PALABRA CLAVE	PROBLEMA	EFEECTO	CAUSA	CONSECUENCIA	ACCIÓN O PROTECCIÓN REQUERIDA	C	F	R
MENOS	MENOS catalizador en el tercer lecho	Afecta la velocidad de conversión	Se colocó muy poco en el tercer lecho	La conversión es más lenta	Garantizar una buena comunicación con el personal Tener listas a la mano de cantidades y balances	1	2	2
	MENOS aire de enfriamiento en el tercer lecho	Aumento en la temperatura	Las válvulas VM107, VC108, VM109 cerradas más de lo necesario	La velocidad de reacción es más rápida	Cubierta por la válvula VM 110 Colocar un FIC Dar mantenimiento a los equipos y válvulas	1	2	2
	MENOS temperatura en el tercer lecho	Afecta a la velocidad de reacción	No hay aire de enfriamiento La válvulas VM 107, VC 108, VM 109 abiertas más de lo necesario El TIC está fallando	La velocidad de reacción es más lenta	Mantenimiento y calibración a equipo de instrumentación Mantenimiento a válvulas	1	2	2
ADEMÁS DE	ADEMÁS DE impurezas en el catalizador	No cuenta con la calidad que se requiere	El catalizador está contaminado	No tendrá un buen funcionamiento, podría envenenarse muy pronto Reacciones indeseables	Realización de pruebas al catalizador El lugar y condiciones de almacenamiento no es el adecuado	1	2	2
INVERSO A	INVERSO A que por dentro los enfriadores no funcionen	Aumento en la temperatura	Rompimiento del tubo fuga de aire,	Aumento en la presión explosión por sobre calentamiento	Mantenimiento preventivo a la torre catalítica por dentro	3	2	6

C = Consecuencia, F = Frecuencia, R = Riesgo

PLANTA O PROYECTO: Proceso de detergente biodegradable  
 EQUIPO: Intercambiador de calor 100-EA-03C

ÁREA: Producción de dióxido de azufre con aire seco  
 FUNCIÓN: Enfriamiento del SO<sub>3</sub>

DIAGRAMA O PLANO: DTI 1D  
 NODO: CUATRO

FECHA: 2010  
 HOJA 07 DE 10

PALABRA CLAVE	PROBLEMA	EFEECTO	CAUSA	CONSECUENCIA	ACCIÓN O PROTECCIÓN REQUERIDA	C	F	R
NO	NO hay flujo de SO <sub>3</sub>	No hay suministro hacia el intercambiador de cascada y por consecuente hacia eliminador de niebla	La válvula MD129 cerrada. El soplador 100-S-11A no funciona	Se detiene la producción	Cubierto por compresor 100-S-12B Colocar un avisador de alarma de falta de flujo de alimentación Bypass para mantenimiento y de remplazo	1	2	2
	NO hay flujo de aire de enfriamiento	La temperatura se mantiene igual	Las válvula VC 133 cerrada	El SO <sub>3</sub> no sale a las condiciones que se requieren.	Colocar medidores de flujo Bypass para mantenimiento y de remplazo	1	2	2
MÁS	MÁS flujo de SO <sub>3</sub>	No hay enfriamiento homogéneo	La válvula MD 129 abierta más de lo necesario	No sale a las condiciones que se requieren	Colocar medidores de flujo Mantenimiento en válvulas	1	2	2
	MÁS flujo de aire de enfriamiento	No hay	La válvula VC 133 abierta más de lo necesario	No las tiene si el flujo de SO <sub>3</sub> puede absorber el exceso del flujo frío	Chequeo de mantenimiento preventivo en válvulas y Colocar medidores de flujo para un buen control	1	1	1
	MÁS temperatura	No hay enfriamiento del SO <sub>3</sub>	La válvula VC 133 cerrada más de lo necesario El TIC está fallando	En si no hay aumento de temperatura por lo que el fluido pasaría caliente a la siguiente etapa	Mantenimiento calibración a equipo de instrumentación Mantenimiento a válvulas	1	2	2
	MÁS presión	Acumulación de fluido SO <sub>3</sub>	La válvula VD 132 cerrada a la descarga	Estallido en el equipo	Colocar un medir de flujo Mantenimiento a equipo	3	2	6

C = Consecuencia, F = Frecuencia, R = Riesgo

PLANTA O PROYECTO: Proceso de detergente biodegradable  
 EQUIPO: Intercambiador de calor 100-EA-03C

ÁREA: Producción de dióxido de azufre con aire seco  
 FUNCIÓN: Enfriamiento del SO<sub>3</sub>

DIAGRAMA O PLANO: DTI 1D  
 NODO: CUATRO

FECHA: 2010  
 HOJA 08 DE 10

PALABRA CLAVE	PROBLEMA	EFEECTO	CAUSA	CONSECUENCIA	ACCIÓN O PROTECCIÓN REQUERIDA	C	F	R
MENOS	MENOS flujo de SO <sub>3</sub>	Desperdicio de aire de enfriamiento	La válvula MD 129 cerrada más de lo necesario	Trabajo mínimo	Colocar un medidor de flujo Calibración de equipo de instrumentación	1	2	2
	MENOS flujo de aire de enfriamiento	La temperatura se mantiene en 455°C	La válvula VC 133 cerrada más de lo necesario Fallo en la lectura del TIC	No sale a las condiciones que se requieren	Colocar medidores de flujo Mantenimiento en válvulas Colocar una alarma de temperatura alta	1	2	2
	MENOS temperatura	No las hay	La válvula VC 133 abiertas más de lo necesario El TIC está fallando	Ayuda a bajar la temperatura del flujo del SO <sub>3</sub>	Mantenimiento a válvulas Mantenimiento a equipo	1	2	2
	MENOS presión	Una disminución en el volumen del aire	Una fuga dentro de tubos de SO <sub>3</sub>	Una caída de presión del aire	Mantenimiento a equipo	1	2	2

C = Consecuencia, F = Frecuencia, R = Riesgo

PLANTA O PROYECTO: Proceso de detergente biodegradable  
 EQUIPO: Intercambiador de calor 100-EA-04D

ÁREA: Producción de dióxido de azufre con aire seco  
 FUNCIÓN: Enfriamiento del SO<sub>3</sub>

DIAGRAMA O PLANO: DTI 1D  
 NODO: CUATRO

FECHA: 2010  
 HOJA 09 DE 10

PALABRA CLAVE	PROBLEMA	EFEECTO	CAUSA	CONSECUENCIA	ACCIÓN O PROTECCIÓN REQUERIDA	C	F	R
NO	NO hay flujo de SO <sub>3</sub>	No hay suministro hacia el eliminador de niebla	La válvula MD137 cerrada.	Se detiene la producción	Colocar medidores de flujo Bypass para mantenimiento y de replazo Colocar un avisador de alarma de falta de flujo de alimentación	1	2	2
	NO hay flujo de agua de enfriamiento	La temperatura se mantiene en 230°C	Las válvula VC 141 cerrada Obstrucción en los rociadores	El SO <sub>3</sub> no sale a las condiciones que se requieren.	Colocar medidores de flujo Bypass para mantenimiento y de replazo Mantenimiento al equipo Checar la dureza del agua Colocar un avisador de alarma de falta de flujo de alimentación	1	2	2
MÁS	MÁS flujo de SO <sub>3</sub>	No hay enfriamiento homogéneo	La válvula MD 137 abierta más de lo necesario	No sale a las condiciones que se requieren	Colocar medidores de flujo Mantenimiento en válvulas	1	2	2
	MÁS flujo de agua de enfriamiento	No hay	La válvula VC 141 abierta más de lo necesario	No las tiene si el flujo de SO <sub>3</sub> puede absorber el exceso del flujo frío	Chequeo de mantenimiento preventivo en válvulas y Colocar medidores de flujo para un buen control	1	1	1
	MÁS temperatura	No hay enfriamiento del SO <sub>3</sub>	La válvula VC 141 cerradas más de lo necesario El TIC está fallando	En si no hay aumento de temperatura por lo que el fluido pasaría caliente a la siguiente etapa	Mantenimiento calibración a equipo de instrumentación Mantenimiento a válvulas	1	2	2
	MÁS presión	Acumulación de fluido SO <sub>3</sub>	La válvula VD140 cerrada a la descarga	Estallido en el equipo	Colocar un medidor de flujo Mantenimiento a equipo	3	2	6

C = Consecuencia, F = Frecuencia, R = Riesgo

PLANTA O PROYECTO: Proceso de detergente biodegradable  
 EQUIPO: Intercambiador de calor 100-EA-04D

ÁREA: Producción de dióxido de azufre con aire seco  
 FUNCIÓN: Enfriamiento del SO<sub>3</sub>

DIAGRAMA O PLANO: DTI 1D  
 NODO: CUATRO

FECHA: 2010  
 HOJA 10 DE 10

PALABRA CLAVE	PROBLEMA	EFEECTO	CAUSA	CONSECUENCIA	ACCIÓN O PROTECCIÓN REQUERIDA	C	F	R
MENOS	MENOS flujo de SO <sub>3</sub>	Desperdicio de agua de enfriamiento	La válvula MD 137 cerrada más de lo necesario	Trabajo mínimo	Colocar un medidor de flujo Calibración de equipo de instrumentación	1	2	2
	MENOS flujo de agua de enfriamiento	La temperatura se mantiene en 230°C	La válvula VC 141 cerrada más de lo necesario Fallo en la lectura del TIC	No sale a las condiciones que se requieren	Colocar medidores de flujo Mantenimiento en válvulas Colocar una alarma de temperatura alta	1	2	2
	MENOS temperatura	No las hay	La válvula VC 141 abiertas más de lo necesario El TIC está fallando	No saldría a las condiciones que se requieren	Mantenimiento a válvulas Mantenimiento a equipo	1	2	2
	MENOS presión	Una disminución en el volumen del SO <sub>3</sub>	Una fuga dentro de tubos de SO <sub>3</sub>	Una caída de presión del SO <sub>3</sub>	Mantenimiento a equipo Colocar medidor de flujo	1	2	2
ADEMÁS DE	ADEMÁS DE que el agua de enfriamiento este sucia y con dureza	No cuenta con la calidad que se requiere	El ablandador no funciona y filtros	Una obstrucción tanto en tuberías, equipo y aspersores	Mantenimiento preventivo al ablandador, filtros e intercambiador así como un análisis físico químico al agua	1	2	2

C = Consecuencia, F = Frecuencia, R = Riesgo

### 3.5.5. ANÁLISIS DE ESTUDIO HAZOP PARA EL NODO 5

Acido sulfúrico

De acuerdo a la bibliografía las características más importantes son las siguientes:

- ◆ Corrosivo, causa daños en la piel, los ojos y las vías respiratorias.
- ◆ Reacción violenta con el agua, que puede dominarse si se aplica agua de modo abundante.
- ◆ Líquido ó sólido.
- ◆ Punto de inflamación por encima de 61°C ó no inflamable.

Peligros

- ◆ El calentamiento del/de los recipiente/s provocará aumento de presión con riesgo de estallido y la consiguiente explosión (incluso un BLEVE).
- ◆ Emite emanaciones corrosivas e irritantes, incluso cuando arde.
- ◆ Puede atacar a los metales y producir gas hidrógeno que puede formar mezcla explosiva con el aire.
- ◆ El vapor puede ser invisible y es más pesado que el aire. Se difunde a ras de suelo y puede introducirse en alcantarillas y sótanos.



PLANTA O PROYECTO: Proceso de detergente biodegradable  
 EQUIPO: Eliminador de niebla 100-EN-01

ÁREA: Absorción de SO<sub>3</sub>  
 FUNCIÓN: Separa el SO<sub>3</sub> gas del líquido

DIAGRAMA O PLANO: DTI 1E  
 NODO: CINCO

FECHA: 2010  
 HOJA 01 DE 07

PALABRA CLAVE	PROBLEMA	EFFECTO	CAUSA	CONSECUENCIA	ACCIÓN O PROTECCIÓN REQUERIDA	C	F	R
NO	NO hay flujo de SO <sub>3</sub>	No hay suministro hacia el eliminador de niebla	La válvula MD147, VC148, VD149 cerradas. El soplador 100-S-13C no funciona	Se detiene la producción De la sulfonación y sulfatación	Colocar medidores de flujo Cubierta por VM 150 Cubierta por el soplador 100-S-14 D Colocar un avisador de alarma de falta de flujo de alimentación	1	2	2
MÁS	MÁS flujo de SO <sub>3</sub>	Un aumento en el volumen de óleum	La válvula MD 147, VC 148, VD 149 abierta más de lo requerido	Un aumento en el nivel	Mantenimiento a válvulas Colocar medidores de flujo Cubierto por LIC de alta y con alarma de alto nivel	1	2	2
	MÁS nivel de óleum	Un aumento de volumen de óleum dentro del eliminador de niebla	El LIC está fallando en la lectura Las válvulas MD 147, VC 148, VD 149 abiertas más de lo requerido	Un derrame de óleum riesgo de Emite emanaciones corrosivas e irritantes.	Calibración del equipo de instrumentación Mantenimiento a válvulas Colocar un dique de contención	2	2	4
MENOS	MENOS flujo de SO <sub>3</sub>	No hay suficiente SO <sub>3</sub> para la sulfonación y sulfatación	La válvula MD 147, VC 148, VD 149 cerrada más de lo requerido	Paro en la producción de sulfonación y sulfatación	Colocar medidores de flujo Mantenimiento a válvulas	1	1	1
	MENOS nivel de óleum	El eliminador de niebla se encuentra vacío	El LIC está fallando en la lectura	No hay suficiente para la columna de absorción	Calibración del equipo de instrumentación Colocar una alarma de bajo nivel. Mantenimiento a válvulas	1	1	1

C = Consecuencia, F = Frecuencia, R = Riesgo

PLANTA O PROYECTO: Proceso de detergente biodegradable  
 EQUIPO: Columna de absorción 100-CAB-01

ÁREA: Absorción de SO<sub>3</sub>  
 FUNCIÓN: Producción de ácido sulfúrico

DIAGRAMA O PLANO: DTI 1E  
 NODO: CINCO

FECHA: 2010  
 HOJA 02 DE 07

PALABRA CLAVE	PROBLEMA	EFECTO	CAUSA	CONSECUENCIA	ACCIÓN O PROTECCIÓN REQUERIDA	C	F	R
NO	NO hay flujo de óleum	No hay reacción	Las válvulas VD167, VC168, VD169 cerradas. La bomba 100-B-01A no funciona	Acumulación de agua de proceso dentro de la columna Dilución del H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> recirculado	Cubierta por la VB 170 Cubierta por LA BOMBA 100-B-02 B	1	2	2
	NO hay flujo de agua de proceso	No hay reacción	Las válvulas VC 171, VC172, VC173 cerradas	Acumulación de óleum dentro de la columna. Aumento en la presión No hay reacción con el SO <sub>3</sub>	Cubierta por VC 174 Situar avisador de alarma de falta de líquido de alimentación Colocar un avisador de alarma de falta de flujo de alimentación	2	2	4
	NO hay flujo de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> de recirculación	No hay absorción	Las válvulas VD 201, VC202, VD203 cerradas	Si el SO <sub>3</sub> reacciona solo con H <sub>2</sub> O, el H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> se forma como una niebla de finas partículas que son difíciles de condensar.	Cubierta por VD 204 Situar avisador de alarma de falta de líquido de alimentación	2	2	4
MÁS	MÁS flujo de óleum	No hay una reacción estequiometrica	Las válvulas VD 167, VC 168, VD 169 abierta más de lo requerido	No sale a las especificaciones requeridas	Mantenimiento a válvulas	1	2	2
	MÁS flujo de agua de proceso	No hay una reacción estequiometrica	Las válvulas VC 171, VC172, VC173 abiertas más de lo requerido	No sale a las especificaciones requeridas	Mantenimiento en válvulas	1	2	2

C = Consecuencia, F = Frecuencia, R = Riesgo

PLANTA O PROYECTO: Proceso de detergente biodegradable  
 EQUIPO: Columna de absorción 100-CAB-01

ÁREA: Absorción de SO<sub>3</sub>  
 FUNCIÓN: Producción de ácido sulfúrico

DIAGRAMA O PLANO: DTI 1E  
 NODO: CINCO

FECHA: 2010  
 HOJA 03 DE 07

PALABRA CLAVE	PROBLEMA	EFEECTO	CAUSA	CONSECUENCIA	ACCIÓN O PROTECCIÓN REQUERIDA	C	F	R
MÁS	MÁS flujo de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> de recirculación	Aumento en el nivel del tanque	Las válvulas VD 201, VC202, VD203 abiertas más de lo requerido	Un derrame en la columna de absorción	Colocar un medidor de flujo Mantenimiento a válvulas Mantenimiento a equipo de instrumentación Colocar un dique de contención	2	2	4
	MÁS nivel de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Un aumento en volumen de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> dentro de la columna de absorción	El LIC está fallando en la lectura Las válvulas VD 201, VC 202, VD203 abiertas más de lo necesario	Un derrame de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> riesgo de que emita emanaciones corrosivas e irritantes, incluso cuando arde.	Calibración del equipo de instrumentación Colocar un dique de contención	2	2	4
	MÁS temperatura	Aumento de la presión	Una mayor cantidad de flujo ya sea del óleum, agua o del H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> La válvula de desfogue no funciona	Un estallido	Calibración del equipo de instrumentación Colocar un dique de contención	3	2	6
	MÁS presión	Aumento de la temperatura	Una mayor cantidad de flujo ya sea del óleum, agua o del H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> La válvula de desfogue no funciona	Un estallido	Calibración del equipo de instrumentación Colocar un dique de contención	3	2	6

C = Consecuencia, F = Frecuencia, R = Riesgo

PLANTA O PROYECTO: Proceso de detergente biodegradable  
 EQUIPO: Columna de absorción 100-CAB-01

ÁREA: Absorción de SO<sub>3</sub>  
 FUNCIÓN: Producción de ácido sulfúrico

DIAGRAMA O PLANO: DTI 1E  
 NODO: CINCO

FECHA: 2010  
 HOJA 04 DE 07

PALABRA CLAVE	PROBLEMA	EFEECTO	CAUSA	CONSECUENCIA	ACCIÓN O PROTECCIÓN REQUERIDA	C	F	R
MENOS	MENOS flujo de óleum	No hay una reacción estequiométrica	Las válvulas MD167, VC168, VD169 cerradas más de lo requerido La bomba 100-B-01A está fallando	No sale a las especificaciones requeridas Hay una baja absorción	Cubierta por la VD 170 Cubierta por LA BOMBA 100-B-02 B Mantenimiento a equipo	1	2	2
	MENOS flujo de agua de proceso	No hay una reacción estequiométrica	Las válvulas VC 171, VC172, VC173 cerradas más de lo necesario	No sale a las especificaciones requeridas hay una baja absorción	Cubierta por VC 174 Mantenimiento a válvulas	1	2	2
	MENOS flujo de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> de recirculación	No hay una absorción eficiente y estequiométricamente	Las válvulas VD 201, VC202, VD203 cerradas más de lo requerido	No hay una reacción eficiente	Cubierta por VD 204 Mantenimiento a equipo	1	2	2
	MENOS nivel de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	El tanque se encuentra en nivel bajo en volumen de ácido sulfúrico	El LIC está fallando en la lectura Una disminución en el los flujos de entrada	No hay una producción de acido sulfúrico óptima	Calibración del equipo de instrumentación	1	2	2

C = Consecuencia, F = Frecuencia, R = Riesgo

PLANTA O PROYECTO: Proceso de detergente biodegradable  
 EQUIPO: Tanque de absorción 100-TAB-01

ÁREA: Absorción de SO<sub>3</sub>  
 FUNCIÓN: Separar trazas de SO<sub>2</sub>

DIAGRAMA O PLANO: DTI 1E  
 NODO: CINCO

FECHA: 2010  
 HOJA 05 DE 07

PALABRA CLAVE	PROBLEMA	EFEECTO	CAUSA	CONSECUENCIA	ACCIÓN O PROTECCIÓN REQUERIDA	C	F	R
NO	NO hay flujo de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	No hay recirculación hacia la columna de absorción	Las válvulas VD175, VC176, VD177 cerradas.	No se mejora la pureza	Cubierta por la VD 178 Situar avisador de alarma de falta de líquido de alimentación Colocar un avisador de alarma de falta de flujo de alimentación	1	2	2
	NO hay separación de SO <sub>2</sub>	El H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> sale con trazas de SO <sub>2</sub>	Las válvula VD 178 cerrada Los filtros están desgastados o rotos	Cuando se recolecte el H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> el SO <sub>2</sub> se libera a la atmósfera	Mantenimiento de equipo Bypass para mantenimiento y de remplazo Colocar medidores de flujo a la salida del SO <sub>2</sub>	1	2	2
MÁS	MÁS flujo de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Un aumento de volumen	Las válvulas MD175, VC176, VD177 abiertas más de lo requerido EL LIC está fallando	Un posible derrame de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Mantenimiento a válvulas Colocar un medidor de flujo Mantenimiento y calibración a equipo de instrumentación Colocar un dique de contención	2	2	4
	MÁS nivel de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Un aumento en volumen de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> dentro del tanque de absorción	El LIC está fallando en la lectura	Un derrame de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> riesgo de Emite emanaciones corrosivas e irritantes	Calibración del equipo de instrumentación Colocar una alarma de alto nivel Colocar un dique de contención	2	2	4
MENOS	MENOS flujo de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	La torre de absorción se encuentra vacía	Las válvulas MD175, VC176, VD177 cerradas más de lo requerido	No existe un riesgo mayor, pero no es suficiente para una recirculación	Mantenimiento en válvulas Colocar un medidor de flujo	1	2	2
	MENOS nivel de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	No es suficiente para una recirculación óptima	El LIC está fallando en la lectura	No existe un riesgo mayor, pero no es suficiente para una recirculación	Calibración del equipo de instrumentación	1	2	2

C = Consecuencia, F = Frecuencia, R = Riesgo

PLANTA O PROYECTO: Proceso de detergente biodegradable  
 EQUIPO: Intercambiador de calor 100-EA-04D

ÁREA: Absorción de SO<sub>3</sub>  
 FUNCIÓN: Enfriar el H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> para recircular

DIAGRAMA O PLANO: DTI 1E  
 NODO: CINCO

FECHA: 2010  
 HOJA 06 DE 07

PALABRA CLAVE	PROBLEMA	EFEECTO	CAUSA	CONSECUENCIA	ACCIÓN O PROTECCIÓN REQUERIDA	C	F	R
NO	NO hay flujo de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Desperdicio del agua de enfriamiento	Las válvulas VD 193 cerrada. La bomba 100-B-03 A, no funciona	No hay intercambio de calor	Bypass para mantenimiento y de remplazo Cubierta por 100-C-04 B Colocar un avisador de alarma de falta de flujo de alimentación	1	2	2
	NO hay flujo de agua de enfriamiento	No disminución de temperatura del H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Las válvula VB 197 cerrada	El H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> no llega frío Puede causar un aumento en la temperatura en la columna de absorción	Bypass para mantenimiento y de remplazo Colocar un avisador de alarma de falta de flujo de alimentación	2	2	4
MÁS	MÁS flujo de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	No hay un enfriamiento uniforme	La válvula VD 193 abierta más de lo requerido	EL H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> no se enfría lo suficiente para la reacción por lo que podría a ver un aumento de temperatura en la C.A.	Mantenimiento a válvulas Colocar un medidor de flujo	2	2	4
	MÁS flujo de agua de enfriamiento	No hay	La válvula VB 197 abierta más de lo requerido	No las tiene si el flujo de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> puede absorber el exceso del fluido frío	Chequeo de mantenimiento preventivo en válvulas Colocar un medidor de flujo	1	1	1
	MÁS temperatura	No hay enfriamiento del H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	La válvula VB 197 cerrada más de lo necesario El TIC está fallando	En si no hay aumento de temperatura por lo que el fluido pasaría caliente a la siguiente etapa	Mantenimiento calibración a equipo de instrumentación Mantenimiento a válvulas	1	1	1
	MÁS presión	Un aumento en la temperatura	La válvula VB 195 cerrada a la descarga	Un estallido del equipo	Colocar un medir de flujo Mantenimiento a equipo	3	2	6

C = Consecuencia, F = Frecuencia, R = Riesgo

PLANTA O PROYECTO: Proceso de detergente biodegradable  
 EQUIPO: Intercambiador de calor 100-EA-04D

ÁREA: Absorción de SO<sub>3</sub>  
 FUNCIÓN: Enfriar el H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> para recircular

DIAGRAMA O PLANO: DTI 1E  
 NODO: CINCO

FECHA: 2010  
 HOJA 07 DE 07

PALABRA CLAVE	PROBLEMA	EFEECTO	CAUSA	CONSECUENCIA	ACCIÓN O PROTECCIÓN REQUERIDA	C	F	R
MENOS	MENOS flujo de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	No las tiene	Las válvula VD 193 cerrada más de lo requerido	Si se logra enfriar	Mantenimiento en válvulas Colocar un medidor de flujo	1	2	2
	MENOS flujo de enfriamiento	No es suficiente para enfriar al H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	La válvula VB 197 cerrada más de lo requerido	EL H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> no se enfría lo suficiente para la reacción	Calibración de válvulas	1	2	2
	MENOS temperatura	No las hay	La válvula VB 197 abiertas más de lo necesario El TIC está fallando	No saldría a las condiciones que se requieren	Mantenimiento a válvulas Mantenimiento a equipo	1	1	1
	MENOS presión	Una disminución en el volumen del H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Una fuga dentro de tubos del H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Una caída de presión Peligro por fuga H <sub>2</sub> O, el H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> se forma como una niebla de finas partículas que son difíciles de condensar.	Mantenimiento a equipo Colocar medidor de flujo	2	2	4
ADEMÁS DE	ADEMÁS DE que el agua de enfriamiento este sucia y con dureza	No cuenta con la calidad que se requiere	El ablandador no funciona y filtros	Una obstrucción tanto en tuberías, equipo y aspersores	Mantenimiento preventivo al ablandador, filtros e intercambiador así como un análisis físico químico al agua	1	2	2

C = Consecuencia, F = Frecuencia, R = Riesgo

### 3.5.6. ANÁLISIS DE ESTUDIO HAZOP PARA EL NODO 6

Dodecibenceno lineal

De acuerdo a la bibliografía las características más importantes son las siguientes:

- ◆ Estabilidad: Químicamente estable a condiciones normales de almacenamiento y manejo. Incompatibilidad con agentes oxidantes fuertes.
- ◆ Polimerización peligrosa: No hay riesgo de polimerización.

Las características de esta sustancia : (NFPAs = 1), (NFPA<sub>I</sub> = 1), (NFPA<sub>I/R</sub> = 0),

- ◆ Almacenamiento: Almacenar y transportar a temperatura y presión atmosférica. Materiales como acero al carbón, epoxi y aluminio son apropiados para recipientes. No realizar operaciones de corte, perforación, afilado ó soldadura en dichos recipientes (aún ya vacíos).

Trióxido de azufre <sup>24</sup>

Acido dodecibencensulfónico lineal

De acuerdo a la bibliografía<sup>25</sup> las características más importantes son las siguientes:

- ◆ Corrosivo, causa daños en la piel, los ojos y las vías respiratorias.
- ◆ Líquido ó sólido.
- ◆ Punto de inflamación por encima de 61°C ó no inflamable.

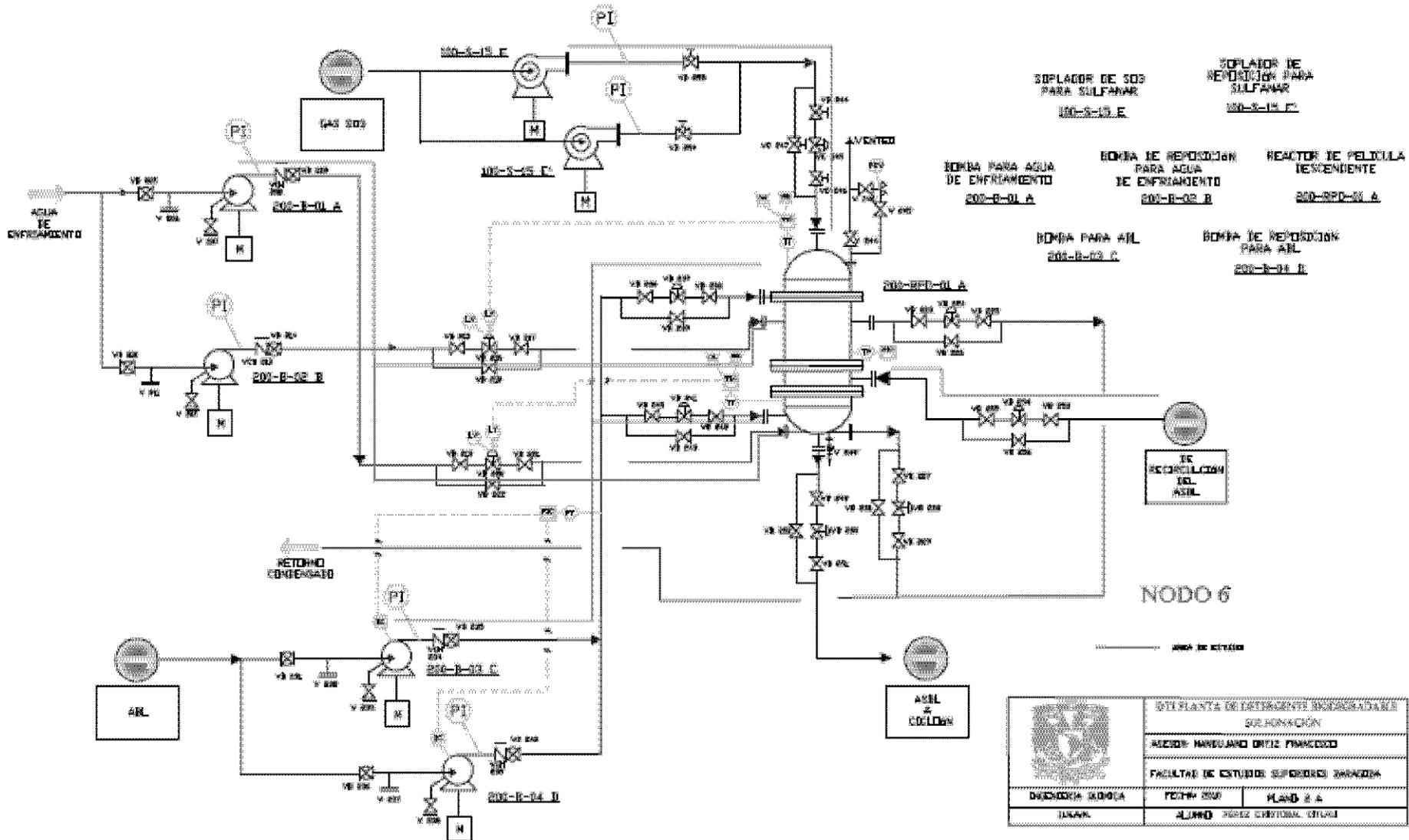
Peligros

- ◆ El calentamiento del/de los recipiente/s provocará aumento de presión con riesgo de estallido y la consiguiente explosión (incluso un BLEVE).
- ◆ Emite emanaciones corrosivas e irritantes, incluso cuando arde.
- ◆ Puede atacar a los metales y producir gas hidrógeno que puede formar mezcla explosiva con el aire.
- ◆ El vapor puede ser invisible y es más pesado que el aire. Se difunde a ras de suelo y puede introducirse en alcantarillas y sótanos.

---

<sup>24</sup> Ver 3.5.4. ANÁLISIS DE ESTUDIO HAZOP PARA EL NODO 4

<sup>25</sup> Guía de respuesta en caso de emergencia. (No de ficha en [http:// proteccioncivil.org/es](http://proteccioncivil.org/es))



PLANTA O PROYECTO: Proceso de detergente biodegradable  
 EQUIPO: Reactor de película descendente 200-RPD-01A

ÁREA: Sulfonación  
 FUNCIÓN: Reacción entre el trióxido de azufre y el ABL

DIAGRAMA O PLANO: DTI 2A  
 NODO: SEIS

FECHA: 2010  
 HOJA 01 DE 06

PALABRA CLAVE	PROBLEMA	EFFECTO	CAUSA	CONSECUENCIA	ACCIÓN O PROTECCIÓN REQUERIDA	C	F	R
NO	NO hay flujo de SO <sub>3</sub>	No hay reacción	Las válvulas VD 244, VC245, VD246 cerradas. El soplador 100-S-15 E no funciona	No hay ABSL	Cubierta por VB 247 Cubierta por 100-S-15 E' Mantenimiento a válvulas y soplador Colocar señal luminosa de alarma de falta de flujo de alimentación	1	2	2
	NO hay flujo del ABL en la parte superior del reactor	No es suficiente para una reacción estequiometrica	Las válvula VB 236, VB237, VB238 cerrada La bomba 200-B-03-C no funciona	No hay una conversión del 100%	Cubierta por VB 239 Cubierta por 200-B-04-D Mantenimiento a válvulas y bombas Colocar señal luminosa de alarma de falta de flujo de alimentación	1	2	2
	NO hay flujo del ABL en la parte inferior del reactor	No es suficiente para una reacción estequiometrica	La válvula VB240, VB241, VB242 cerradas La bomba 200-B-03-C no funciona	No hay una conversión del 100%	Cubierta por VB 243 Cubierta por 200-B-04-D Mantenimiento a válvulas y bombas Colocar señal luminosa de alarma de falta de flujo de alimentación	1	2	2
	NO hay recirculación del ABSL	No hay un buen enfriamiento	Las válvulas VB 253, VB 254, VB255 cerradas	No hay un enfriamiento adicional dentro del equipo	Cubierta por VB 256 Mantenimiento a válvulas Colocar señal luminosa de alarma de falta de flujo de recirculación.	1	2	2
	NO hay flujo de agua de enfriamiento en la parte superior del reactor	Aumento de la temperatura	La válvula VB215, VB216, VB217 cerradas La bomba 200-B-01A No funciona	Un sobrecalentamiento en el equipo Se favorece la formación de compuestos polisulfonados	Cubierta por VB218 Cubierta por 200-B-02-B Colocar una alarma de alta temperatura Colocar alarma de alta presión Colocar señal luminosa de alarma de falta de flujo de alimentación Colocar un dique de contención	3	1	3

C = Consecuencia, F = Frecuencia, R = Riesgo

PLANTA O PROYECTO: Proceso de detergente biodegradable  
 EQUIPO: Reactor de película descendente 200-RPD-01A

ÁREA: Sulfonación  
 FUNCIÓN: Reacción entre el trióxido de azufre y el ABL

DIAGRAMA O PLANO: DTI 2A  
 NODO: SEIS

FECHA: 2010  
 HOJA 02 DE 06

PALABRA CLAVE	PROBLEMA	EFEECTO	CAUSA	CONSECUENCIA	ACCIÓN O PROTECCIÓN REQUERIDA	C	F	R
NO	NO hay flujo de agua de enfriamiento en la parte inferior del reactor	Aumento de la temperatura	La válvula VB219, VB220, VB221 Cerradas La bomba 200-B-01A No funciona	Un sobrecalentamiento en el equipo Se favorece la formación de compuestos polisulfonados	Cubierta por VB 222 Cubierta por 200-B-02-B Colocar alarma de alta temperatura Colocar alarma de alta presión Colocar un avisador de alarma de falta de flujo de alimentación Colocar un dique de contención	3	1	3
	NO venteo	Aumento en la presión	Venteo bloqueado	Estallido	Mantenimiento a equipo Mantenimiento a válvulas de venteo	3	1	3
MÁS	MÁS flujo de SO <sub>3</sub>	No hay una reacción estequiometrica	Las válvulas VD 244, VC245, VD246 abiertas más de lo necesario	El ABSL no sale a las condiciones que se requieren	Colar un medidor de flujo preciso Mantenimiento a válvulas	1	2	2
	MÁS flujo del ABL en la parte superior del reactor	No hay una reacción estequiometrica	Las válvula VB 236, VB237, VB238 abiertas más de lo necesario El SC está fallando variación de velocidad en la bomba 200-B-03 C El FIC está fallando	El ABSL no sale a las condiciones que se requieren	Mantenimiento a equipo de instrumentación Mantenimiento a bombas Mantenimiento a válvulas	1	2	2

C = Consecuencia, F = Frecuencia, R = Riesgo

PLANTA O PROYECTO: Proceso de detergente biodegradable  
 EQUIPO: Reactor de película descendente 200-RPD-01A

ÁREA: Sulfonación  
 FUNCIÓN: Reacción entre el trióxido de azufre y el ABL

DIAGRAMA O PLANO: DTI 2A  
 NODO: SEIS

FECHA: 2010  
 HOJA 03 DE 06

PALABRA CLAVE	PROBLEMA	EFECTO	CAUSA	CONSECUENCIA	ACCIÓN O PROTECCIÓN REQUERIDA	C	F	R
MÁS	MÁS flujo del ABL en la parte inferior del reactor	No hay una reacción estequiometrica	La válvula VB240, VB241, VB242 Abiertas más de lo necesario El SC está fallando variación de velocidad en la bomba 200-B-03 C El FIC está fallando	El ABSL no sale a las condiciones que se requiere	Mantenimiento a equipo de instrumentación Mantenimiento a bombas Mantenimiento a válvulas	1	2	2
	MÁS reflujo de ABSL	Una aumento en el volumen del ABSL	Las válvulas VB 253, VB 254, VB255 abiertas más de lo necesario	Saturación en el reactor Un aumento en la presión	Colocar un medidor de flujo a la entrada de la recirculación Mantenimiento a válvulas	3	1	3
	MÁS flujo de agua de enfriamiento en la parte superior del reactor	No las tiene	La válvula VB215, VB216, VB217 abiertas más de lo necesario Variación de velocidad en la bomba 200-B-01 A	No las hay si el sistema puede absorber el exceso del fluido frío (durante la reacción exotérmica)	Mantenimiento a válvulas Colocar un medidor de flujo Colocar un variador de velocidad en la bomba 200-B-01 A	1	1	1
	MÁS flujo de agua de enfriamiento en la parte inferior del reactor	No las tiene	La válvula VB219, VB220, VB221 abierta más de lo necesario variación en la velocidad de la bomba 200-B-01-A	No las hay si el sistema puede absorber el exceso del fluido frío (durante la reacción exotérmica)	Mantenimiento a válvulas Colocar un medidor de flujo Colocar un variador de velocidad en la bomba 200-B-01 A	1	1	1

C = Consecuencia, F = Frecuencia, R = Riesgo

PLANTA O PROYECTO: Proceso de detergente biodegradable  
 EQUIPO: Reactor de película descendente 200-RPD-01A

ÁREA: Sulfonación  
 FUNCIÓN: Reacción entre el trióxido de azufre y el ABL

DIAGRAMA O PLANO: DTI 2A  
 NODO: SEIS

FECHA: 2010  
 HOJA 04DE 06

PALABRA CLAVE	PROBLEMA	EFEECTO	CAUSA	CONSECUENCIA	ACCIÓN O PROTECCIÓN REQUERIDA	C	F	R
MÁS	MÁS temperatura	El sistema de enfriamiento no está funcionando	El TIC está fallando Las válvulas VB215, VB216, VB217, VB219, VB220, VB221 están cerradas	Formación de compuestos polisulfonados Un aumento en la presión	Calibración en el equipo de instrumentación Colocar un dique de contención Mantenimiento a válvulas	3	2	6
	MÁS presión	Aumento en la temperatura	Las válvulas VB215, VB216, VB217, VB219, VB220, VB221 están cerradas	Estallido en el equipo	Calibración en el equipo de instrumentación Colocar un dique de contención Mantenimiento a válvulas	3	2	6
MENOS	MENOS flujo de SO <sub>3</sub>	No hay una reacción estequiometrica	Las válvulas VD 244, VC245, VD246 cerradas más de lo necesario	El ABSL no sale a las condiciones que se requieren	Colar un medidor de flujo preciso Mantenimiento a válvulas	1	2	2
	MENOS flujo del ABL en la parte superior del reactor	No hay una reacción estequiometrica	Las válvula VB 236, VB237, VB238 cerradas más de lo necesario El SC está fallando variación de velocidad en la bomba 200-B-03 C Falla del FIC	El ABSL no sale a las condiciones que se requieren	Mantenimiento y calibración a equipo de instrumentación Mantenimiento a bombas Mantenimiento a válvulas	1	2	2

C = Consecuencia, F = Frecuencia, R = Riesgo

PLANTA O PROYECTO: Proceso de detergente biodegradable  
 EQUIPO: Reactor de película descendente 200-RPD-01A

ÁREA: Sulfonación  
 FUNCIÓN: Reacción entre el trióxido de azufre y el ABL

DIAGRAMA O PLANO: DTI 2A  
 NODO: SEIS

FECHA: 2010  
 HOJA 05DE 06

PALABRA CLAVE	PROBLEMA	EFEECTO	CAUSA	CONSECUENCIA	ACCIÓN O PROTECCIÓN REQUERIDA	C	F	R
MENOS	MENOS flujo del ABL en la parte inferior del reactor	No hay una reacción estequiometrica	La válvula VB240, VB241, VB242 cerradas más de lo necesario El SC está fallando variación de velocidad en la bomba 200-B-03 C Falla del FIC	El ABSL no sale a las condiciones que se requieren	Mantenimiento y calibración a equipo de instrumentación Mantenimiento a bombas Mantenimiento a válvulas	1	2	2
	MENOS reflujo del ABSL	No hay un buen enfriamiento	Las válvulas VB 253, VB 254, VB255 cerradas más de lo necesario	No hay un buen amortiguamiento de calor de reacción	Mantenimiento a válvulas Colocar un medidor de flujo a la entrada	2	2	4
	MENOS flujo de agua de enfriamiento en la parte superior del reactor	Aumento en la temperatura de reacción (exotérmica)	La válvula VB215, VB216, VB217 cerradas más de lo necesario Variación de velocidad en la bomba 200-B-01 A	Un sobrecalentamiento en el equipo Se favorece la formación de compuestos polisulfonados	Calibración de instrumentación Mantenimiento a válvulas Colocar un variador de velocidad en la bomba 200-B-01-A	3	2	6
	MENOS flujo de agua de enfriamiento en la parte inferior del reactor	Aumento en la temperatura de reacción (exotérmica)	La válvula VB219, VB220, VB221 cerradas más de lo necesario Variación de velocidad en la bomba 200-B-01 A	Un sobrecalentamiento en el equipo Se favorece la formación de compuestos polisulfonados	Calibración de instrumentación Mantenimiento a válvulas Colocar un variador de velocidad en la bomba 200-B-01-A	3	2	6

C = Consecuencia, F = Frecuencia, R = Riesgo

PLANTA O PROYECTO: Proceso de detergente biodegradable  
 EQUIPO: Reactor de película descendente 200-RPD-01A

ÁREA: Sulfonación  
 FUNCIÓN: Reacción entre el trióxido de azufre y el ABL

DIAGRAMA O PLANO: DTI 2A  
 NODO: SEIS

FECHA: 2010  
 HOJA 06DE06

PALABRA CLAVE	PROBLEMA	EFECTO	CAUSA	CONSECUENCIA	ACCIÓN O PROTECCIÓN REQUERIDA	C	F	R
MENOS	MENOS temperatura	El sistema de enfriamiento no está funcionando	El TIC está fallando Las válvulas VB215, VB216, VB217, VB219, VB220, VB221 están abiertas más de lo necesario	A menor temperatura no reacciona y aumenta la viscosidad	Calibración en el equipo de instrumentación Mantenimiento a válvulas	1	2	2
	MENOS presión	Hay una fuga	El reactor presenta un fuga en el primer cilindro	Una niebla ácida en el segundo cilindro	Mantenimiento a equipo Colocar un dique de contención	2	2	4
ADEMÁS DE	ADEMÁS DE impurezas	El ABL no cuenta con la calidad que se requiere	El ABL está contaminado	Una mala calidad en el producto final ó formación de productos no deseados	Realizar un análisis físico químico de recepción de materia prima	1	2	2
INVERSO A	INVERSO A que no hay un flujo de enfriamiento adecuado	No hay un buen enfriamiento en el reactor	Fuga de agua de enfriamiento en la tubería de alimentación	Un sobrecalentamiento en el equipo.	Mantenimiento preventivo en la tubería	3	2	6
PARTE DE	PARTE DEL agua de enfriamiento se pasa al tanque de reacción	Una reacción no deseada, aumento en la temperatura	El tanque esta picado	Si el SO <sub>3</sub> reacciona con H <sub>2</sub> O, el H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> se forma una niebla de finas partículas que son difíciles de condensar.	Mantenimiento preventivo al reactor de película descendente Colocar un dique de contención	2	2	4

C = Consecuencia, F = Frecuencia, R = Riesgo

### 3.5.7. ANÁLISIS DE ESTUDIO HAZOP PARA EL NODO 7

Alcohol láurico

De acuerdo a la bibliografía las características más importantes son las siguientes:

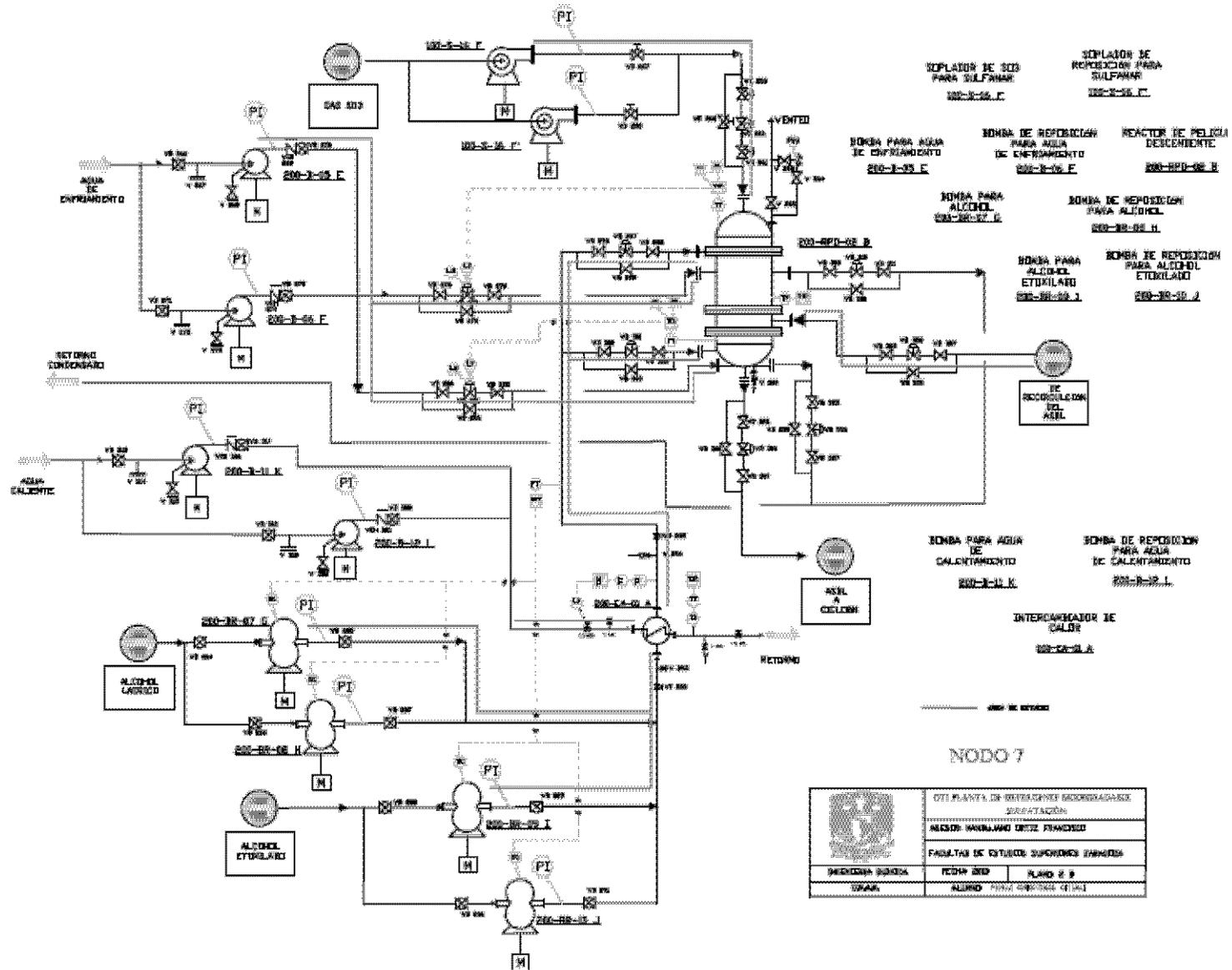
- ◆ Fuego: Punto de inflamación: 127 °C (260.6 °F).
- ◆ Temperatura de autoignición: 275 °C (527 °F).
- ◆ Leve peligro de incendio cuando se expone al calor ó las llamas.
- ◆ Explosión: Por encima del punto de ignición mezclas explosivas de aire puede ser formado.
- ◆ Incompatibilidades: Agentes oxidantes fuertes, ácidos, bases fuertes, isocianatos, aminas alifáticos.
- ◆ Condiciones a evitar: El calor, incompatibles.
- ◆ Productos de descomposición peligrosos: El dióxido de carbono y monóxido de carbono pueden formar cuando se calienta hasta la descomposición. Puede producir un humo acre y humos irritantes cuando se calienta hasta la descomposición.

Alcohol láurico etoxilado N° CAS 68131-39-5.

Trióxido de azufre <sup>26</sup>

---

<sup>26</sup>Ver 3.5.4. ANÁLISIS DE ESTUDIO HAZOP PARA EL NODO 4



PLANTA O PROYECTO: Proceso de detergente biodegradable  
 EQUIPO: Reactor de película descendente 200-RPD-02B

ÁREA: Sulfatación  
 FUNCIÓN: Reacción entre el trióxido de azufre, el Alcohol y Alcohol etoxilado

DIAGRAMA O PLANO: DTI 2 B  
 NODO: SIETE

FECHA: 2010  
 HOJA 01 DE 08

PALABRA CLAVE	PROBLEMA	EFFECTO	CAUSA	CONSECUENCIA	ACCIÓN O PROTECCIÓN REQUERIDA	C	F	R
NO	NO hay flujo de SO <sub>3</sub>	No hay reacción	Las válvulas VD 259, VC260, VD261 cerradas. El soplador 100-S-16 F no funciona	No hay Ácido lauril sulfúrico	Cubierta por VB 262 Cubierta por 100-S-16 F' Mantenimiento a válvulas y soplador Colocar señal luminosa de alarma de falta de flujo de alimentación	1	2	2
	NO hay flujo de los alcoholes en la parte superior del reactor	No es suficiente para una reacción estequiometrica	Las válvulas VB 296, VB297, VB298 cerradas La bombas 200-BR-07-G 200-BR-09 I no funcionan	No hay una conversión del 100%	Cubierta por VB 299 Cubierta por 200-BR-08 H Cubierta por 200-BR-10 J Mantenimiento a válvulas y bombas Colocar señal luminosa de alarma de falta de flujo de alimentación	1	2	2
	NO hay flujo de los alcoholes en la parte inferior del reactor	No es suficiente para una reacción estequiometrica	La válvulas VB300, VB301, VB302 cerradas La bombas 200-BR-07-G 200-BR-09 I no funcionan	No hay una conversión del 100%	Cubierta por VB 303 Cubierta por 200-BR-08-H Cubierta por 200-BR-10 J Mantenimiento a válvulas y bombas Colocar señal luminosa de alarma de falta de flujo de alimentación	1	2	2
	NO hay flujo de recirculación de Ácido lauril sulfúrico	No hay un buen enfriamiento	Las válvulas VB 327, VB 328, VB 329 cerradas	No hay un enfriamiento adicional dentro del equipo	Cubierta por VB 330 Mantenimiento a válvulas Colocar señal luminosa de alarma de falta de flujo de recirculación.	1	2	2

C = Consecuencia, F = Frecuencia, R = Riesgo

PLANTA O PROYECTO: Proceso de detergente biodegradable  
 EQUIPO: Reactor de película descendente 200-RPD-02B

ÁREA: Sulfatación  
 FUNCIÓN: Reacción entre el trióxido de azufre el Alcohol y Alcohol etoxilado

DIAGRAMA O PLANO: DTI 2B  
 NODO: SIETE

FECHA: 2010  
 HOJA 02 DE 08

PALABRA CLAVE	PROBLEMA	EFEECTO	CAUSA	CONSECUENCIA	ACCIÓN O PROTECCIÓN REQUERIDA	C	F	R
NO	NO hay flujo de agua de enfriamiento en la parte superior del reactor	Aumento de la temperatura	Las válvulas VB276, VB277, VB278 cerradas La bomba 200-B-05E No funciona	Formación de productos secundarios no deseados Un sobrecalentamiento en el equipo	Cubierta por VB279 Cubierta por 200-B-06-F Colocar una alarma de alta temperatura Colocar alarma de alta presión Colocar señal luminosa de alarma de falta de flujo de alimentación Colocar un dique de contención	3	1	3
	NO hay flujo de agua de enfriamiento en la parte inferior del reactor	Aumento de la temperatura	Las válvulas VB280, VB281, VB282 Cerradas La bomba 200-B-05 E No funciona	Formación de productos secundarios no deseados Un sobrecalentamiento en el equipo	Cubierta por VB 283 Cubierta por 200-B-06-F Colocar alarma de alta presión Colocar señal luminosa de alarma de falta de flujo de alimentación Colocar un dique de contención	3	1	3
	NO venteo	Aumento en la presión	Venteo bloqueado	Estallido	Mantenimiento a equipo Mantenimiento a válvulas de venteo	3	1	3
MÁS	MÁS flujo de SO <sub>3</sub>	No hay una reacción estequiometrica	Las válvulas VD 259, VC260, VD261 abiertas más de lo necesario	El Ácido lauril sulfúrico no sale a las condiciones que se requieren	Colar un medidor de flujo preciso Mantenimiento a válvulas	1	2	2
	MÁS flujo de los alcoholes en la parte superior del reactor	No hay una reacción estequiometrica	Las válvula VB 296, VB297, VB298 abiertas más de lo necesario El SC está fallando Variación de velocidad en la bomba 200-BR-07 G, 200-BR-09 I Falla del FIC	El Ácido lauril sulfúrico no sale a las condiciones que se requieren	Mantenimiento y calibración al equipo de instrumentación Mantenimiento a válvulas Mantenimiento a bombas	1	2	2

C = Consecuencia, F = Frecuencia, R = Riesgo

PLANTA O PROYECTO: Proceso de detergente biodegradable  
 EQUIPO: Reactor de película descendente 200-RPD-02B

ÁREA: Sulfatación  
 FUNCIÓN: Reacción entre el trióxido de azufre el Alcohol y Alcohol etoxilado

DIAGRAMA O PLANO: DTI 2B  
 NODO: SIETE

FECHA: 2010  
 HOJA 03DE 08

PALABRA CLAVE	PROBLEMA	EFECTO	CAUSA	CONSECUENCIA	ACCIÓN O PROTECCIÓN REQUERIDA	C	F	R
MÁS	MÁS flujo de los alcoholes en la parte inferior del reactor	No hay una reacción estequiométrica	La válvula VB300,VB301,V302 Abiertas más de lo necesario El SC está fallando Variación de velocidad en la bomba 200-BR-07 G, 200-BR-09 I Falla del FIC	El Ácido lauril sulfúrico no sale a las condiciones que se requieren	Mantenimiento y calibración al equipo de instrumentación Mantenimiento a válvulas Mantenimiento a bombas	1	2	2
	MÁS reflujo de Ácido lauril sulfúrico	Una aumento en el volumen del ácido lauril sulfúrico	Las válvulas VB 327, VB 328, VB 329 abiertas más de lo necesario	Saturación en el reactor Un aumento en la presión	Colocar un medidor de flujo a la entrada de la recirculación Mantenimiento a válvulas	3	1	3
	MÁS flujo de agua de enfriamiento en la parte superior del reactor	No las tiene	La válvula VB276, VB277, VB278 abiertas más de lo necesario Variación de velocidad en la bomba 200-B-05 E	No las hay si el sistema puede absorber el exceso del fluido frío (durante la reacción exotérmica)	Mantenimiento a válvulas Colocar un medidor de flujo Colocar un variador de velocidad en la bomba 200-B-05 E	1	1	1
	MÁS flujo de agua de enfriamiento en la parte inferior del reactor	No las tiene	La válvula VB280,VB281,VB282 abierta más delo necesario variación en la velocidad de la bomba 200-B-05-E	No las hay si el sistema puede absorber el exceso del fluido frío (durante la reacción exotérmica)	Mantenimiento a válvulas Colocar un medidor de flujo Colocar un variador de velocidad en la bomba 200-B-05 E	1	1	1

C = Consecuencia, F = Frecuencia, R = Riesgo

PLANTA O PROYECTO: Proceso de detergente biodegradable  
 EQUIPO: Reactor de película descendente 200-RPD-02B

ÁREA: Sulfatación  
 FUNCIÓN: Reacción entre el trióxido de azufre el Alcohol y Alcohol etoxilado

DIAGRAMA O PLANO: DTI 2B  
 NODO: SIETE

FECHA: 2010  
 HOJA 04DE 08

PALABRA CLAVE	PROBLEMA	EFECTO	CAUSA	CONSECUENCIA	ACCIÓN O PROTECCIÓN REQUERIDA	C	F	R
MÁS	MÁS temperatura	El sistema de enfriamiento no está funcionando	El TIC está fallando Las válvulas VB276, VB277, VB278, VB280, VB281, VB282 están cerradas	Formación de productos secundarios no deseados Un aumento en la presión	Calibración en el equipo de instrumentación Colocar un dique de contención Mantenimiento a válvulas	3	2	6
	MÁS presión	Aumento en la temperatura	Las válvulas VB276, VB277, VB278, VB280, VB281, VB282 están cerradas	Estallido en el equipo	Calibración en el equipo de instrumentación Colocar un dique de contención Mantenimiento a válvulas	3	2	6
MENOS	MENOS flujo de SO <sub>3</sub>	No hay una reacción estequiometrica	Las válvulas VD 259, VC260, VD261 cerradas más de lo necesario	El Ácido lauril sulfúrico no sale a las condiciones que se requieren	Colar un medidor de flujo preciso Mantenimiento a válvulas	1	2	2
	MENOS flujo del alcohol en la parte superior del reactor	No hay una reacción estequiometrica	Las válvula VB 296, VB297, VB298 cerradas más de lo necesario El SC está fallando Variación de velocidad en la bomba 200-BR-07 G, 200-BR-09 I Falla del FIC	El Ácido lauril sulfúrico no sale a las condiciones que se requieren	Mantenimiento y calibración a equipo de instrumentación Mantenimiento a válvulas Mantenimiento a bombas	1	2	2

C = Consecuencia, F = Frecuencia, R = Riesgo

PLANTA O PROYECTO: Proceso de detergente biodegradable  
 EQUIPO: Reactor de película descendente 200-RPD-02B

ÁREA: Sulfatación  
 FUNCIÓN: Reacción entre el trióxido de azufre el Alcohol y Alcohol etoxilado

DIAGRAMA O PLANO: DTI 2B  
 NODO: SIETE

FECHA: 2010  
 HOJA 05DE 08

PALABRA CLAVE	PROBLEMA	EFECTO	CAUSA	CONSECUENCIA	ACCIÓN O PROTECCIÓN REQUERIDA	C	F	R
MENOS	MENOS flujo del alcoholes en la parte inferior del reactor	No hay una reacción estequiometrica	La válvula VB300,VB301,VB302 cerradas más de lo necesario El SC está fallando variación de velocidad en la bomba 200-BR-07 G, 200-BR-09 I Falla del FIC	El Ácido lauril sulfúrico no sale a las condiciones que se requieren	Mantenimiento a válvulas Mantenimiento y calibración a equipo de instrumentación Mantenimiento a bombas	1	2	2
	MENOS reflujo del Ácido lauril sulfúrico	No hay un buen enfriamiento	Las válvulas VB 327, VB 328, VB 329 cerradas más de lo necesario	No hay un buen amortiguamiento de calor de reacción	Mantenimiento a válvulas Colocar un medidor de flujo a la entrada	2	2	4
	MENOS flujo de agua de enfriamiento en la parte superior del reactor	Aumento en la de temperatura de reacción (exotérmica)	La válvula VB276, VB277, VB278 cerradas más de lo necesario Variación de velocidad en la bomba 200-B-05 E	Se favorece la formación de compuestos secundarios Un sobrecalentamiento en el equipo	Calibración de instrumentación Mantenimiento a válvulas Colocar un variador de velocidad en la bomba 200-B-05-E	3	2	6
	MENOS flujo de agua de enfriamiento en la parte inferior del reactor	Aumento en la de temperatura de reacción (exotérmica)	La válvula VB280, VB281, VB282 cerradas más de lo necesario Variación de velocidad en la bomba 200-B-05 E	Se favorece la formación de compuestos secundarios Un sobrecalentamiento en el equipo	Calibración de instrumentación Mantenimiento a válvulas Colocar un variador de velocidad en la bomba 200-B-05-E	3	2	6

C = Consecuencia, F = Frecuencia, R = Riesgo

PLANTA O PROYECTO: Proceso de detergente biodegradable  
 EQUIPO: Reactor de película descendente 200-RPD-02B

ÁREA: Sulfatación  
 FUNCIÓN: Reacción entre el trióxido de azufre el Alcohol y Alcohol etoxilado

DIAGRAMA O PLANO: DTI 2B  
 NODO: SIETE

FECHA: 2010  
 HOJA 06 DE 08

PALABRA CLAVE	PROBLEMA	EFEECTO	CAUSA	CONSECUENCIA	ACCIÓN O PROTECCIÓN REQUERIDA	C	F	R
MENOS	MENOS temperatura	El sistema de enfriamiento no está funcionando	El TIC está fallando Las válvulas VB276, VB277, VB278, VB280, VB281, VB282 están abiertas más de lo necesario	A menor temperatura no reacciona y aumenta la viscosidad	Calibración en el equipo de instrumentación Mantenimiento a válvulas	1	2	2
	MENOS presión	Hay escape del SO <sub>3</sub>	El reactor presenta un fuga en el primer cilindro	Una niebla ácida en el segundo cilindro	Mantenimiento a equipo Colocar un dique de contención	2	2	4
ADEMÁS DE	ADEMÁS DE impurezas	Los alcoholes no cuenta con la calidad que se requiere	Los alcoholes están contaminados	Una mala calidad en el producto final ó formación de productos no deseados	Realizar un análisis físico químico de recepción de materia prima	1	2	2
INVERSO A	INVERSO A que no hay un enfriamiento adecuado	No hay un buen enfriamiento en el reactor	Fuga de agua de enfriamiento en la tubería de alimentación	Un sobrecalentamiento en el equipo.	Mantenimiento preventivo en la tubería Colocar un dique de contención	3	2	6
PARTE DE	PARTE DEL agua de enfriamiento se pasa al tanque de reacción	Una reacción no deseada, aumento en la temperatura	El tanque esta picado	Si el SO <sub>3</sub> reacciona con H <sub>2</sub> O, el H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> se forma como una niebla de finas partículas que son difíciles de condensar.	Mantenimiento preventivo al reactor de película descendente Colocar un dique de contención	2	2	4

C = Consecuencia, F = Frecuencia, R = Riesgo

PLANTA O PROYECTO: Proceso de detergente biodegradable  
 EQUIPO: Intercambiador de calor 200-EA-01 A

ÁREA: Sulfatación  
 FUNCIÓN: Calentamiento de los alcoholes

DIAGRAMA O PLANO: DTI 2 B  
 NODO: SIETE

FECHA: 2010  
 HOJA 07 DE 08

PALABRA CLAVE	PROBLEMA	EFEECTO	CAUSA	CONSECUENCIA	ACCIÓN O PROTECCIÓN REQUERIDA	C	F	R
NO	NO hay flujo de alcoholes	Desperdicio del agua enfriamiento	Las válvulas VB 292 cerradas. La bomba 200-BR-07 G y 200-BR-09 I no funciona	No hay calentamiento	Bypass para mantenimiento y de remplazo Cubierta por 200-BR-08 H, 200-BR-10 J Colocar señal luminosa de alarma de falta de flujo de alimentación	1	2	2
	NO hay flujo de agua de calentamiento	No hay de calentamiento alcoholes	Las válvula VB 323 cerrada	Los alcoholes no llegan en estado líquido se presenta una solidificación Dentro de la tubería	Bypass para mantenimiento y de remplazo Colocar señal luminosa de alarma de falta de flujo de alimentación	1	2	2
MÁS	MÁS flujo de alcoholes	No hay un calentamiento uniforme	La válvula VB 292 abierta más de lo requerido El SC está fallando variación de velocidad en la bomba 200-BR-07 G, 200-BR-09 I Falla del FIC	Los alcoholes no se calientan lo suficiente para la reacción, se presenta una solidificación	Mantenimiento a válvulas Mantenimiento y calibración de equipo de instrumentación	1	2	2
	MÁS flujo de agua de calentamiento	Fuera de especificación	La válvula VB 323 abierta más de lo requerido	No va a entrar a las condiciones que se requieren un sobrecalentamiento en el alcohol	Chequeo de mantenimiento preventivo en válvulas Colocar un medidor de flujo	1	2	2
	MÁS temperatura	Fuera de especificación	El TIC está fallando	Aumento en la presión	Mantenimiento y calibración de equipo de instrumentación	3	2	6

C = Consecuencia, F = Frecuencia, R = Riesgo

PLANTA O PROYECTO: Proceso de detergente biodegradable  
 EQUIPO: Intercambiador de calor 200-EA-01 A

ÁREA: Sulfatación  
 FUNCIÓN: Calentamiento de los alcoholes

DIAGRAMA O PLANO: DTI 2 B  
 NODO: SIETE

FECHA: 2010  
 HOJA 08 DE 08

PALABRA CLAVE	PROBLEMA	EFEECTO	CAUSA	CONSECUENCIA	ACCIÓN O PROTECCIÓN REQUERIDA	C	F	R
MÁS	MÁS presión	Acumulación de fluido	La válvula VB 295 está cerrada a la descarga	Estallido en equipo	Colocar un medidor de flujo Mantenimiento a válvulas	3	2	6
MENOS	MENOS flujo de alcohol	No las tiene	Las válvula VB 292 cerrada más de lo requerido	Si se logra calentar	Mantenimiento en válvulas Colocar un medidor de flujo	1	2	2
	MENOS flujo de calentamiento	No es suficiente para calentar al alcohol	La válvula VB 323 cerrada más de lo requerido	EL alcohol no se calienta lo suficiente para la reacción Una solidificación del alcohol	Mantenimiento a válvulas	1	2	2
	MENOS temperatura	No es suficiente para la fusión de los alcoholes	El TIC falla en la lectura	EL alcohol no se calienta lo suficiente para la reacción Una solidificación del alcohol	Mantenimiento a válvulas Mantenimiento a equipo de instrumentación	1	2	2
	MENOS presión	Una disminución en el volumen de los alcoholes	Una fuga dentro de los tubos	Caída de presión	Mantenimiento a equipo	1	2	2

C = Consecuencia, F = Frecuencia, R = Riesgo

### 3.5.8. ANÁLISIS DE ESTUDIO HAZOP PARA EL NODO 8

Hidróxido de sodio en solución

De acuerdo a la bibliografía las características más importantes son las siguientes:

- ◆ Corrosivo, causa daños en la piel, los ojos y las vías respiratorias.
- ◆ Puede reaccionar con agua ó material combustible.
- ◆ Líquido ó sólido.
- ◆ Punto de inflamación por encima de 61°C ó no inflamable.

Peligros

- ◆ El calentamiento del/de los recipiente/s provocará aumento de presión con riesgo de estallido y la consiguiente explosión (incluso un BLEVE).
- ◆ Emite emanaciones corrosivas e irritantes, incluso cuando arde.
- ◆ Puede atacar a los metales y producir gas hidrógeno que puede formar mezcla explosiva con el aire.
- ◆ El vapor puede ser invisible y es más pesado que el aire. Se difunde a ras de suelo y puede introducirse en alcantarillas y sótanos.

Acido dodecilbencensulfonico lineal

De acuerdo a la bibliografía las características más importantes son las siguientes:

- ◆ Corrosivo, causa daños en la piel, los ojos y las vías respiratorias.
- ◆ Líquido ó sólido.
- ◆ Punto de inflamación por encima de 61°C ó no inflamable.

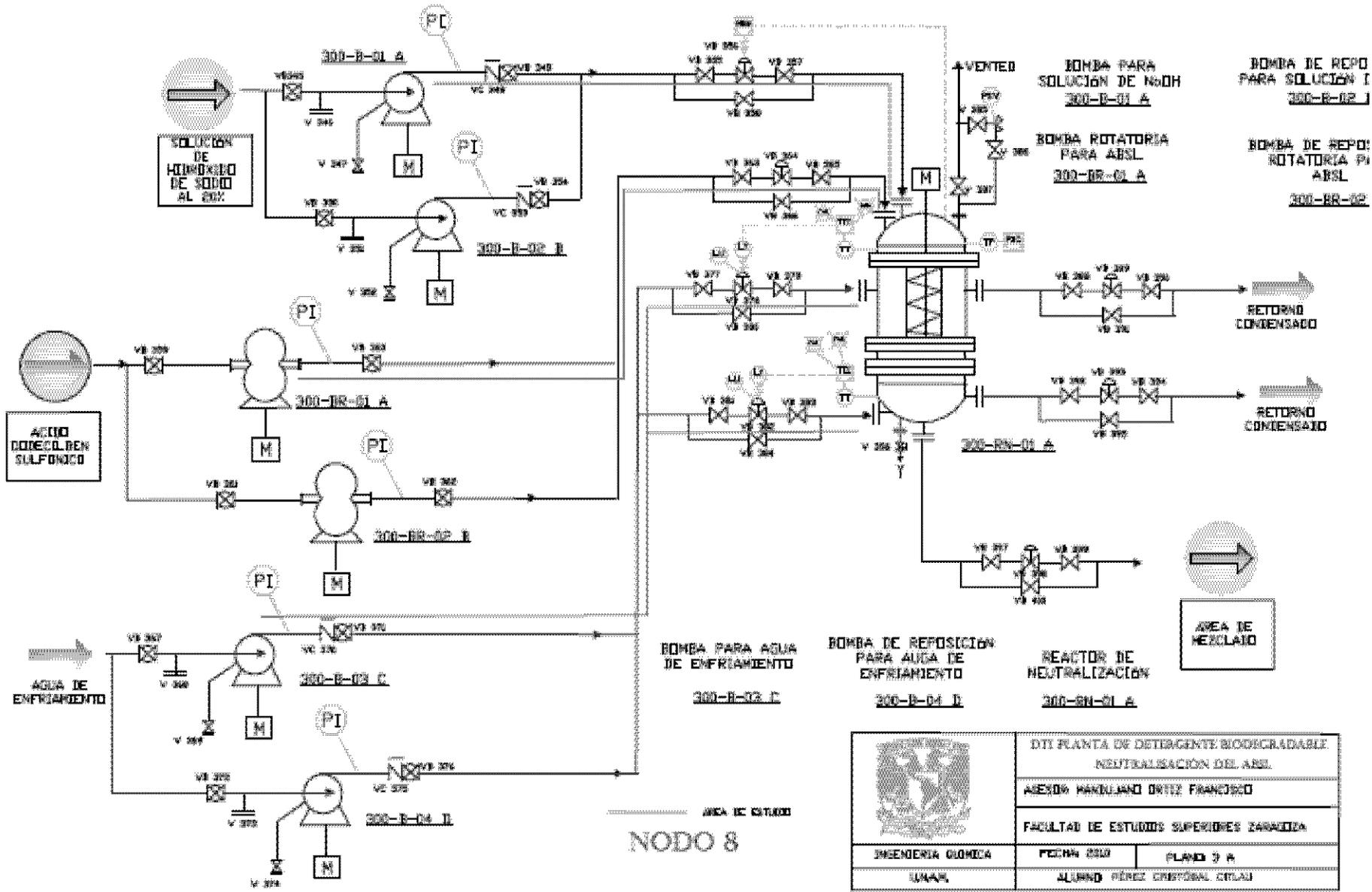
Peligros

- ◆ El calentamiento del/de los recipiente/s provocará aumento de presión con riesgo de estallido y la consiguiente explosión (incluso un BLEVE).
- ◆ Emite emanaciones corrosivas e irritantes, incluso cuando arde.
- ◆ Puede atacar a los metales y producir gas hidrógeno que puede formar mezcla explosiva con el aire.
- ◆ El vapor puede ser invisible y es más pesado que el aire. Se difunde a ras de suelo y puede introducirse en alcantarillas y sótanos.

Dodecilbencensulfonato de sodio (puro)

De acuerdo a la bibliografía las características más importantes son las siguientes:

- ◆ Almacenamiento.- Separado de ácidos mantenerse en lugar seco.
- ◆ Peligros químicos.- La sustancia se descompone al calentarla intensamente y al arder, produciendo humos irritantes y tóxicos de óxido de azufre, reacciona con ácidos ó humos ácidos, produciendo humos tóxicos e irritantes de sulfuro de azufre.
- ◆ Incendio.- Combustible. En caso de incendio se desprenden humos (ó gases) tóxicos e irritantes. Evitar las llamas.



	DTI PLANTA DE DETERGENTE BIODEGRADABLE NEUTRALIZACIÓN DEL ABSL	
	ASESOR: HANDELANO ORTIZ FRANCISCO	
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA		
INGENIERIA QUÍMICA UMAR	FECHA: 2010	PLANO: 3 A
ALUMNO: PÉREZ GREGORIAL CITLALU		

PLANTA O PROYECTO: Proceso de detergente biodegradable  
 EQUIPO: Reactor de neutralización 200-RN-01A

ÁREA: Neutralización del ABSL  
 FUNCIÓN: Reacción entre el ABSL y la solución de NaOH al 20%

DIAGRAMA O PLANO: DTI 3A  
 NODO: OCHO

FECHA: 2010  
 HOJA 01 DE 04

PALABRA CLAVE	PROBLEMA	EFEECTO	CAUSA	CONSECUENCIA	ACCIÓN O PROTECCIÓN REQUERIDA	C	F	R
NO	NO hay flujo de solución de NaOH al 20%	No hay reacción	Las válvulas VB 355, VB356, VB357 cerradas. La bomba 300-B-01 A no funciona	No formación del alquil sulfonato sódico	Cubierta por VB 358 Cubierta por 300-B-02 B Mantenimiento a válvulas y bombas Colocar un avisador de alarma de falta de flujo de alimentación	1	2	2
	NO hay flujo del ABSL	No hay reacción	Las válvula VB 363, VB364, VB365 cerradas La bomba 300-BR-01-A no funciona	No hay formación del alquil sulfonato sódico	Cubierta por VB 366 Cubierta por 300-BR-02-B Mantenimiento a válvulas y bombas Colocar un avisador de alarma de falta de flujo de alimentación	1	2	2
	NO hay flujo de agua de enfriamiento en la parte superior del reactor	Aumento de la temperatura	La válvula VB377, VB378, VB379 cerradas La bomba 300-B-03C No funciona	Un sobrecalentamiento en el equipo	Cubierta por VB380 Cubierta por 300-B-04-D Colocar una alarma de alta temperatura Colocar alarma de alta presión	3	1	3
	NO hay flujo de agua de enfriamiento en la parte inferior del reactor	Aumento de la temperatura	La válvula VB381, VB382, VB383 Cerradas La bomba 300-B-03 C No funciona	Un sobrecalentamiento en el equipo	Cubierta por VB 384 Cubierta por 300-B-04-D Colocar alarma de alta presión	3	1	3
	NO funciona el agitador	No hay una buena homogeneidad	Se descompuso el motor del agitador	La reacción no es uniforme	Chequeo y mantenimiento preventivo	1	2	2
	NO venteo	Aumento en la presión	Venteo bloqueado	Estallido	Mantenimiento a equipo Mantenimiento a válvulas de venteo	3	1	3

C = Consecuencia, F = Frecuencia, R = Riesgo

PLANTA O PROYECTO: Proceso de detergente biodegradable  
 EQUIPO: Reactor de neutralización 200-RN-01A

ÁREA: Neutralización del ABSL  
 FUNCIÓN: Reacción entre el ABSL y la solución de NaOH al 20%

DIAGRAMA O PLANO: DTI 3A  
 NODO: OCHO

FECHA: 2010  
 HOJA 02 DE 04

PALABRA CLAVE	PROBLEMA	EFEECTO	CAUSA	CONSECUENCIA	ACCIÓN O PROTECCIÓN REQUERIDA	C	F	R
MÁS	MÁS flujo de solución de NaOH al 20%	No hay reacción estequiometrica	Las válvulas VB 355, VB356, VB357 abiertas más de lo necesario Variación de velocidad en la bomba 300-B-01 A	El producto no sale a las condiciones que se requieren	Colocar un medidor de flujo preciso Mantenimiento a válvulas y bombas Colocar un variador de velocidad en la bomba 300-B-01-A	1	2	2
	MÁS flujo del ABSL	No hay una reacción estequiometrica	Las válvula VB 363, VB364, VB365 abiertas más de lo necesario Variación de velocidad en la bomba 300-BR-01-A	El producto no sale a las condiciones que se requieren	Colocar un medidor de flujo preciso Mantenimiento a válvulas y bombas Colocar un variador de velocidad en la bomba 300-BR-01-A	1	2	2
	MÁS flujo de agua de enfriamiento en la parte superior del reactor	No las tiene	La válvula VB377, VB378, VB379 abiertas más de lo necesario Variación en la velocidad de la bomba 300-B-03C	No las hay si el sistema puede absorber el exceso del fluido frío	Mantenimiento a válvulas Colocar un medidor de flujo Colocar un variador de velocidad en la bomba 300-B-03C	1	1	1
	MÁS flujo de agua de enfriamiento en la parte inferior del reactor	No las tiene	La válvula VB381, VB382, VB383 abiertas más de lo necesario Variación en la velocidad de la bomba 300-B-03C	No las hay si el sistema puede absorber el exceso del fluido frío	Colocar una alarma de baja temperatura Mantenimiento a válvulas Colocar un medidor de flujo Colocar un variador de velocidad en la bomba 300-B-03C	1	1	1

C = Consecuencia, F = Frecuencia, R = Riesgo

PLANTA O PROYECTO: Proceso de detergente biodegradable  
 EQUIPO: Reactor de neutralización 200-RN-01A

ÁREA: Neutralización del ABSL  
 FUNCIÓN: Reacción entre el ABSL y la solución de NaOH al 20%

DIAGRAMA O PLANO: DTI 3A  
 NODO: OCHO

FECHA: 2010  
 HOJA 03DE 04

PALABRA CLAVE	PROBLEMA	EFECTO	CAUSA	CONSECUENCIA	ACCIÓN O PROTECCIÓN REQUERIDA	C	F	R
MÁS	MAS agitación	No las tiene	Más rpm	No hay se favorece la reacción	Mantenimiento a motor de agitación	1	2	2
	MÁS temperatura	El sistema de enfriamiento no está funcionando	El TIC está fallando Las válvulas VB377,VB378,VB379, VB381,VB382,VB383 Están cerradas	Aumento de presión Estallido en el tanque	Calibración en el equipo de instrumentación Colocar un dique de contención Mantenimiento en válvulas	3	2	6
	MÁS presión	Aumento en la temperatura	Las válvulas VB 377, VB 378, VB 379 VB 381, VB 382, VB 383 Están cerradas	Estallido en equipo	Calibración en el equipo de instrumentación Colocar un dique de contención Mantenimiento a válvulas	3	2	6
MENOS	MENOS flujo de solución de NaOH al 20%	No hay reacción estequiometrica	Las válvulas VB 355,VB356,VB357 cerradas más de lo necesario Variación de velocidad en la bomba 300-B-01 A	El producto no sale a las condiciones que se requieren	Colocar un medidor de flujo preciso Mantenimiento a válvulas y bombas Colocar un variador de velocidad en la bomba 300-B-01-A	1	2	2
	MENOS flujo del ABSL	No hay una reacción estequiometrica	Las válvula VB 363,VB364,VB365 cerradas más de lo necesario Variación de velocidad en la bomba 300-BR-01-A	El producto no sale a las condiciones que se requieren	Colocar un medidor de flujo preciso Mantenimiento a válvulas y bombas Colocar un variador de velocidad ene la bomba 300-BR-01-A	1	2	2
	MENOS flujo de agua de enfriamiento en la parte superior del reactor	Aumento en la temperatura	La válvula VB377, VB378, VB379 cerradas más de lo necesario Variación en la velocidad de la bomba 300-B-03C	Un sobrecalentamiento en el equipo	Mantenimiento a válvulas Colocar un medidor de flujo Colocar un variador de velocidad en la bomba 300-B-03C	3	2	6

C = Consecuencia, F = Frecuencia, R = Riesgo

PLANTA O PROYECTO: Proceso de detergente biodegradable  
 EQUIPO: Reactor de neutralización 200-RN-01A

ÁREA: Neutralización del ABSL  
 FUNCIÓN: Reacción entre el ABSL y la solución de NaOH al 20%

DIAGRAMA O PLANO: DTI 3A  
 NODO: OCHO

FECHA: 2010  
 HOJA 04DE 04

PALABRA CLAVE	PROBLEMA	EFECTO	CAUSA	CONSECUENCIA	ACCIÓN O PROTECCIÓN REQUERIDA	C	F	R
MENOS	MENOS flujo de agua de enfriamiento en la parte inferior del reactor	Aumento en la temperatura	La válvula VB381, VB382, VB383 cerradas más de lo necesario Variación en la velocidad de la bomba 300-B-03C	Un sobrecalentamiento en el equipo	Mantenimiento a válvulas Colocar un medidor de flujo Colocar un variador de velocidad en la bomba 300-B-03C	3	2	6
	MENOS agitación	La reacción no es homogénea	Falla en el motor Menos rpm	Una reacción lenta / una mala reacción	Mantenimiento a motor del agitador	1	2	2
	MENOS temperatura	El sistema de enfriamiento no está funcionando	El TIC está fallando Las válvulas VB377, VB378, VB379, VB381, VB382, VB383 están abiertas más de lo necesario	A menor temperatura no reacciona y aumenta la viscosidad	Calibración en el equipo de instrumentación Mantenimiento a válvulas	1	2	2
ADEMÁS DE	ADEMÁS DE impurezas	El NaOH diluido al 20% no cuenta con la calidad que se requiere	El NaOH está contaminado	Una mala calidad en el producto final ó formación de productos no deseados	Realizar un análisis fisico químico de recepción de materia prima	1	2	2
INVERSO A	INVERSO A que no hay un enfriamiento adecuado	No hay un buen enfriamiento en el reactor	Fuga de agua de enfriamiento en la tubería de alimentación	Un sobre calentamiento en el equipo	Mantenimiento preventivo a la tubería	3	2	6

C = Consecuencia, F = Frecuencia, R = Riesgo

### 3.5.9. ANÁLISIS DE ESTUDIO HAZOP PARA EL NODO 9

Hidróxido de sodio en solución<sup>27</sup>

Lauril sulfato de sodio

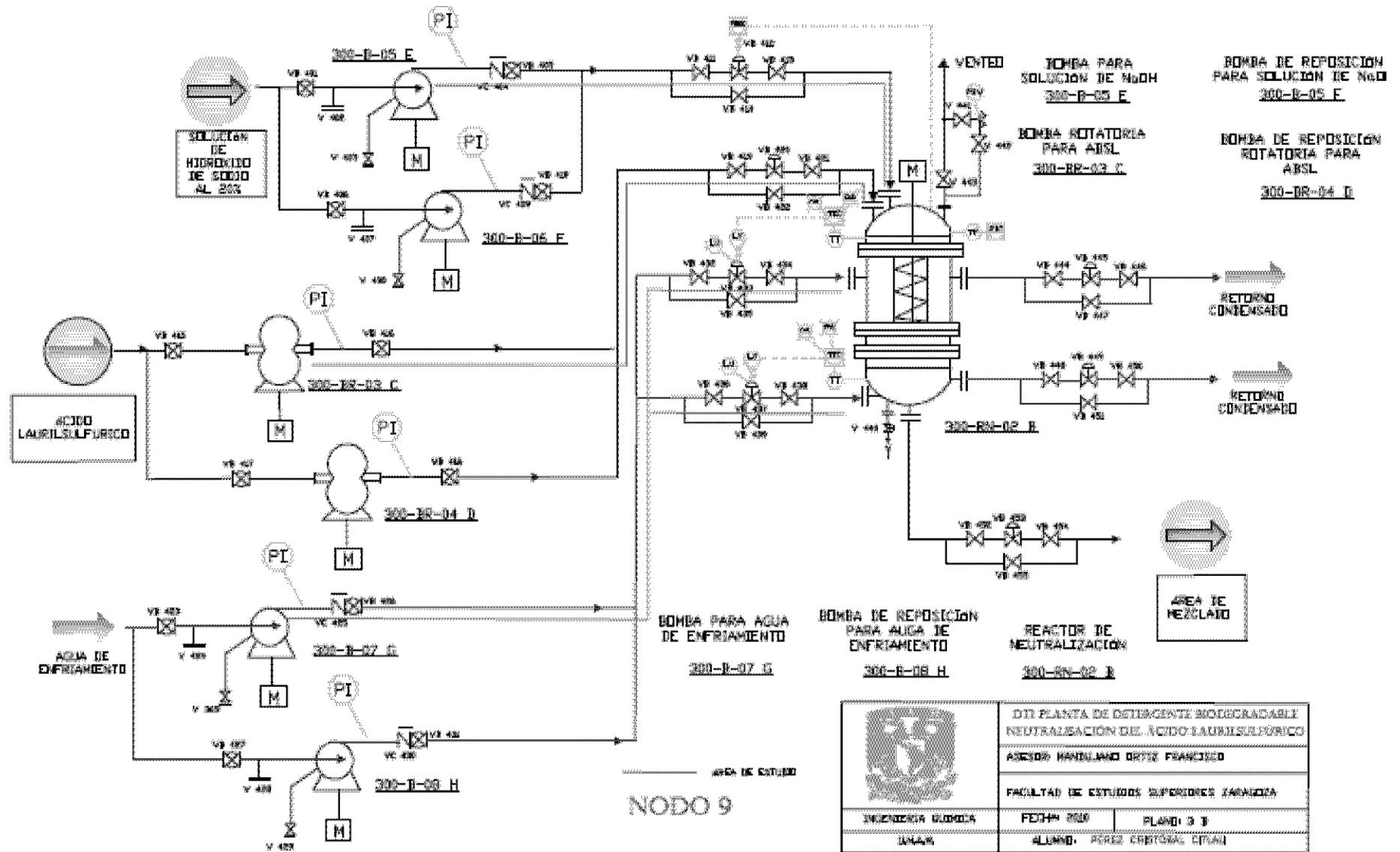
De acuerdo a la bibliografía las características más importantes son las siguientes:

- ◆ Riesgo químico: En combustión forma gases tóxicos.
- ◆ Condición de Inflamabilidad: Ligeramente combustible.
- ◆ Productos de Combustión : Monóxido de Carbono, Dióxido de Carbono, Óxidos de Azufre, Acido
- ◆ Sulfhídrico y Oxido de Sodio.
- ◆ Estabilidad Química: Normalmente estable.
- ◆ Incompatibilidades: Agentes Oxidantes fuertes, como los Percloratos (reacción violenta con incremento de riesgo de incendio). Ácidos fuertes.
- ◆ Peligro de Polimerización : No ocurre
- ◆ Productos Peligrosos en Descomposición: Monóxido de Carbono, Dióxido de Carbono, Óxidos de Azufre, Acido Sulfhídrico y Oxido de Sodio.
- ◆ Condiciones a Evitar: Altas temperaturas (se descompone).
- ◆ Llamas y otras fuentes de ignición.

Las características de esta sustancia : (NFPA<sub>s</sub> = 1), (NFPA<sub>I</sub> = 0), (NFPA<sub>I/R</sub> = 0),

---

<sup>27</sup>Ver 3.5.8. ANÁLISIS DE ESTUDIO HAZOP PARA EL NODO 8



	DII PLANTA DE DETERGENTE BIODEGRADABLE NEUTRALIZACIÓN DEL ÁCIDO LAURILSULFÓRICO	
	ASesor MANUEL ORTEGA FRANCO	
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ICAHOCA		
INGENIERIA QUÍMICA UNAN	FECHA: 2010	PLANO: 3 J
ALUMNO: PÉREZ CRISTÓBAL RIVERA		

PLANTA O PROYECTO: Proceso de detergente biodegradable  
 EQUIPO: Reactor de neutralización 200-RN-02 B

ÁREA: Neutralización del ácido laurilsulfurico  
 FUNCIÓN: Reacción entre el ácido laurilsulfurico y la solución de NaOH al 20%

DIAGRAMA O PLANO: DTI 3B  
 NODO: NUEVE

FECHA: 2010  
 HOJA 01 DE 04

PALABRA CLAVE	PROBLEMA	EFECTO	CAUSA	CONSECUENCIA	ACCIÓN O PROTECCIÓN REQUERIDA	C	F	R
NO	NO hay flujo de solución de NaOH al 20%	No hay reacción	Las válvulas VB 411, VB412, VB413 cerradas. La bomba 300-B-05 E no funciona	No formación del alquil sulfonato sódico	Cubierta por VB 358 Cubierta por 300-B-06 F Mantenimiento a válvulas y bombas Colocar un avisador de alarma de falta de flujo de alimentación	1	2	2
	NO hay flujo del ABSL	No hay reacción	Las válvula VB 419, VB420, VB421 cerradas La bomba 300-BR-03-C no funciona	No hay formación del alquil sulfonato sódico	Cubierta por VB 422 Cubierta por 300-BR-04-D Mantenimiento a válvulas y bombas Colocar un avisador de alarma de falta de flujo de alimentación	1	2	2
	NO hay flujo de agua de enfriamiento en la parte superior del reactor	Aumento de la temperatura	La válvula VB432, VB433, VB434 cerradas La bomba 300-B-07 G No funciona	Un sobrecalentamiento en el equipo	Cubierta por VB439 Cubierta por 300-B-08-H Colocar alarma de alta presión	3	1	3
	NO hay flujo de agua de enfriamiento en la parte inferior del reactor	Aumento de la temperatura	La válvula VB436, VB437, VB438 Cerradas La bomba 300-B-07 G No funciona	Un sobrecalentamiento en el equipo	Cubierta por VB 439 Cubierta por 300-B-08-H Colocar alarma de alta presión	3	1	3
	NO funciona el agitador	No hay una buena homogeneidad	Se descompuso el motor del agitador	La reacción no es uniforme	Chequeo y mantenimiento preventivo	1	2	2
	NO venteo	Aumento en la presión	Venteo bloqueado	Estallido	Mantenimiento a equipo Mantenimiento a válvulas de venteo	3	1	3

C = Consecuencia, F = Frecuencia, R = Riesgo

PLANTA O PROYECTO: Proceso de detergente biodegradable  
 EQUIPO: Reactor de neutralización 200-RN-02 B

ÁREA: Neutralización del ácido laurilsulfurico  
 FUNCIÓN: Reacción entre el ácido laurilsulfurico y la solución de NaOH al 20%

DIAGRAMA O PLANO: DTI 3B  
 NODO: NUEVE

FECHA: 2010  
 HOJA 02 DE 04

PALABRA CLAVE	PROBLEMA	EFECTO	CAUSA	CONSECUENCIA	ACCIÓN O PROTECCIÓN REQUERIDA	C	F	R
MÁS	MÁS flujo de solución de NaOH al 20%	No hay reacción estequiometrica	Las válvulas VB 411,VB412,VB413 abiertas más de lo necesario Variación de velocidad en la bomba 300-B-05 E	El producto no sale a las condiciones que se requieren	Colocar un medidor de flujo preciso Mantenimiento a válvulas y bombas Colocar un variador de velocidad en la bomba 300-B-05-E	1	2	2
	MÁS flujo del ABSL	No hay una reacción estequiometrica	Las válvula VB 419,VB420,VB421 abiertas más de lo necesario Variación de velocidad en la bomba 300-BR-03-C	El producto no sale a las condiciones que se requieren	Colocar un medidor de flujo preciso Mantenimiento a válvulas y bombas Colocar un variador de velocidad en la bomba 300-BR-03-C	1	2	2
	MÁS flujo de agua de enfriamiento en la parte superior del reactor	No las tiene	La válvula VB432, VB433, VB434 abiertas más de lo necesario Variación en la velocidad de la bomba 300-B-07G	No las hay si el sistema puede absorber el exceso del fluido frío	Mantenimiento a válvulas Colocar un medidor de flujo Colocar un variador de velocidad en la bomba 300-B-07 G	1	1	1
	MÁS flujo de agua de enfriamiento en la parte inferior del reactor	No las tiene	La válvula VB436,VB437,VB438 abiertas más de lo necesario Variación en la velocidad de la bomba 300-B-07G	No las hay si el sistema puede absorber el exceso del fluido frío	Mantenimiento a válvulas Colocar un medidor de flujo Colocar un variador de velocidad en la bomba 300-B-07G	1	1	1

C = Consecuencia, F = Frecuencia, R = Riesgo

PLANTA O PROYECTO: Proceso de detergente biodegradable  
 EQUIPO: Reactor de neutralización 200-RN-02 B

ÁREA: Neutralización del ácido laurilsulfurico  
 FUNCIÓN: Reacción entre el ácido laurilsulfurico y la solución de NaOH al 20%

DIAGRAMA O PLANO: DTI 3B  
 NODO: NUEVE

FECHA: 2010  
 HOJA 03DE 04

PALABRA CLAVE	PROBLEMA	EFECTO	CAUSA	CONSECUENCIA	ACCIÓN O PROTECCIÓN REQUERIDA	C	F	R
MÁS	MÁS agitación	No las tiene	Más rpm	No hay se favorece la reacción	Mantenimiento a motor de agitación	1	2	2
	MÁS temperatura	El sistema de enfriamiento no está funcionando	El TIC está fallando Las válvulas VB432,VB433,VB434, VB436,VB437,VB438 Están cerradas	Aumento de presión Estallido en el tanque	Calibración en el equipo de instrumentación Colocar un dique de contención Mantenimiento en válvulas	3	2	6
	MÁS presión	Aumento en la temperatura	El TIC está fallando Las válvulas VB432,VB433,VB434, VB436,VB437,VB438 Están cerradas	Estallido en equipo	Calibración en el equipo de instrumentación Colocar un dique de contención Mantenimiento a válvulas	3	2	6
MENOS	MENOS flujo de solución de NaOH al 20%	No hay reacción estequiometrica	Las válvulas VB 411,VB412,VB413 cerradas más de lo necesario Variación de velocidad en la bomba 300-B-05 AE	El producto no sale a las condiciones que se requieren	Colocar un medidor de flujo preciso Mantenimiento a válvulas y bombas Colocar un variador de velocidad en la bomba 300-B-05-E	1	2	2
	MENOS flujo del ABSL	No hay una reacción estequiometrica	Las válvula VB 419,VB420,VB3421 cerradas más de lo necesario Variación de velocidad en la bomba 300-BR-03-C	El producto no sale a las condiciones que se requieren	Colocar un medidor de flujo preciso Mantenimiento a válvulas y bombas Colocar un variador de velocidad en la bomba 300-B-03-C	1	2	2
	MENOS flujo de agua de enfriamiento en la parte superior del reactor	Aumento en la temperatura	La válvula VB432, VB433, VB434 cerradas más de lo necesario Variación en la velocidad de la bomba 300-B-07 G	Un sobrecalentamiento en el equipo	Mantenimiento a válvulas Colocar un medidor de flujo Colocar un variador de velocidad en la bomba 300-B-07 G	3	2	6

C = Consecuencia, F = Frecuencia, R = Riesgo

PLANTA O PROYECTO: Proceso de detergente biodegradable  
 EQUIPO: Reactor de neutralización 200-RN-02 B

ÁREA: Neutralización del ácido laurilsulfurico  
 FUNCIÓN: Reacción entre el ácido laurilsulfurico y la solución de NaOH al 20%

DIAGRAMA O PLANO: DTI 3B  
 NODO: NUEVE

FECHA: 2010  
 HOJA 04 DE 04

PALABRA CLAVE	PROBLEMA	EFEECTO	CAUSA	CONSECUENCIA	ACCIÓN O PROTECCIÓN REQUERIDA	C	F	R
MENOS	MENOS flujo de agua de enfriamiento en la parte inferior del reactor	Aumento en la temperatura	La válvula VB436, VB437, VB438 cerradas más de lo necesario. Variación en la velocidad de la bomba 300-B-07 G	Un sobrecalentamiento en el equipo	Mantenimiento a válvulas Colocar un medidor de flujo Colocar un variador de velocidad en la bomba 300-B-07 G	3	2	6
	MENOS agitación	La reacción no es homogénea	Falla en el motor Menos rpm	Una reacción lenta	Mantenimiento a motor del agitador	1	2	2
	MENOS temperatura	El sistema de enfriamiento no está funcionando	El TIC está fallando Las válvulas VB432, VB433, VB434, VB436, VB437, VB438 están abiertas más de lo necesario	A menor temperatura no reacciona y aumenta la viscosidad	Calibración en el equipo de instrumentación Mantenimiento a válvulas	1	2	2
ADEMÁS DE	ADEMÁS DE impurezas	El NaOH diluido al 20% no cuenta con la calidad que se requiere	El NaOH está contaminado	Una mala calidad en el producto final ó formación de productos no deseados	Realizar un análisis físico químico de recepción de materia prima	1	2	2
INVERSO A	INVERSO A que no hay un flujo de enfriamiento adecuado	No hay un buen enfriamiento en el reactor	Fuga de agua de enfriamiento en la tubería de alimentación	Un sobrecalentamiento en el equipo	Mantenimiento preventivo a la tubería	3	2	6

C = Consecuencia, F = Frecuencia, R = Riesgo

### **3.6. APLICACIÓN DEL ANÁLISIS POR ÁRBOLES DE FALLOS Y ANÁLISIS POR ÁRBOLES DE EVENTOS**

Como se ha mencionando, dentro del proceso están involucrados dos gases tóxicos ( $\text{SO}_2$  y  $\text{SO}_3$ ), los cuales se transportan por medio de tuberías hacia alguno de los equipos, según se requiera; por lo que hay que tomar en cuenta la posibilidad si se presente una fuga de cualquiera de estos gases.

Las fugas ocurren en equipos de la planta que tienen un punto de la interfaz del fluido de proceso con la atmósfera. Estos puntos de la interfaz, como: sellos, empaquetaduras y juntas tienen una tendencia a fallar mecánicamente y con ello una pérdida de fluido de proceso. Las principales fuentes de fugas de los equipos incluyendo bombas, válvulas, bridas y otros conectores, compresores, sistemas de muestreo de conexión, las líneas de composición abierta, siendo estos los puntos más vulnerables las uniones entre diferentes tramos y las conexiones hacia los equipos.

Las fugas de sustancias tóxicas volátiles se difundirán en el medio ambiente pudiendo afectar a personas no necesariamente próximas a la instalación.

Los efectos de fuga de estos gases en las líneas de tubería se determinarán con ayuda de los árboles de fallos y árboles de eventos, los cuales indicarán cómo se ve afectada la progresión del accidente por los subsiguientes fallos ó actuaciones correctas de esos elementos de seguridad, por los errores ó los aciertos humanos en la respuesta al hecho accidental y por otros factores circunstanciales.

A continuación se presentan algunas características principales de estos gases:

#### **DIÓXIDO DE AZUFRE**

Las características de esta sustancia : ( $\text{NFPA}_s = 3$ ), ( $\text{NFPA}_I = 0$ ), ( $\text{NFPA}_{I/R} = 0$ ), esto hace que una fuga del mismo gas provoque la presencia de una nube tóxica. Con base en su desplazamiento, dado por las condiciones meteorológicas, esta nube puede afectar no solo a los trabajadores de la planta sino también a los alrededores fuera de la misma empresa. Así mismo, por su naturaleza corrosiva, el daño a personas y equipos puede ser significativo. No representa problemas por incendio.

#### **TRIÓXIDO DE AZUFRE**

Las características de esta sustancia : ( $\text{NFPA}_s = 3$ ), ( $\text{NFPA}_I = 0$ ), ( $\text{NFPA}_{I/R} = 2$ ), esto hace que una fuga del mismo gas provoque la presencia de una nube tóxica y reactiva. Con base en su desplazamiento, dado por las condiciones meteorológicas, esta nube puede afectar no solo a los trabajadores de la planta sino también a los alrededores fuera de la misma empresa. Así mismo, por su naturaleza corrosiva, el daño a personas y equipos puede ser significativo. No representa problemas por incendio.

El presente análisis se realizara por tramos teniendo la localización de los tramos de la siguiente manera.

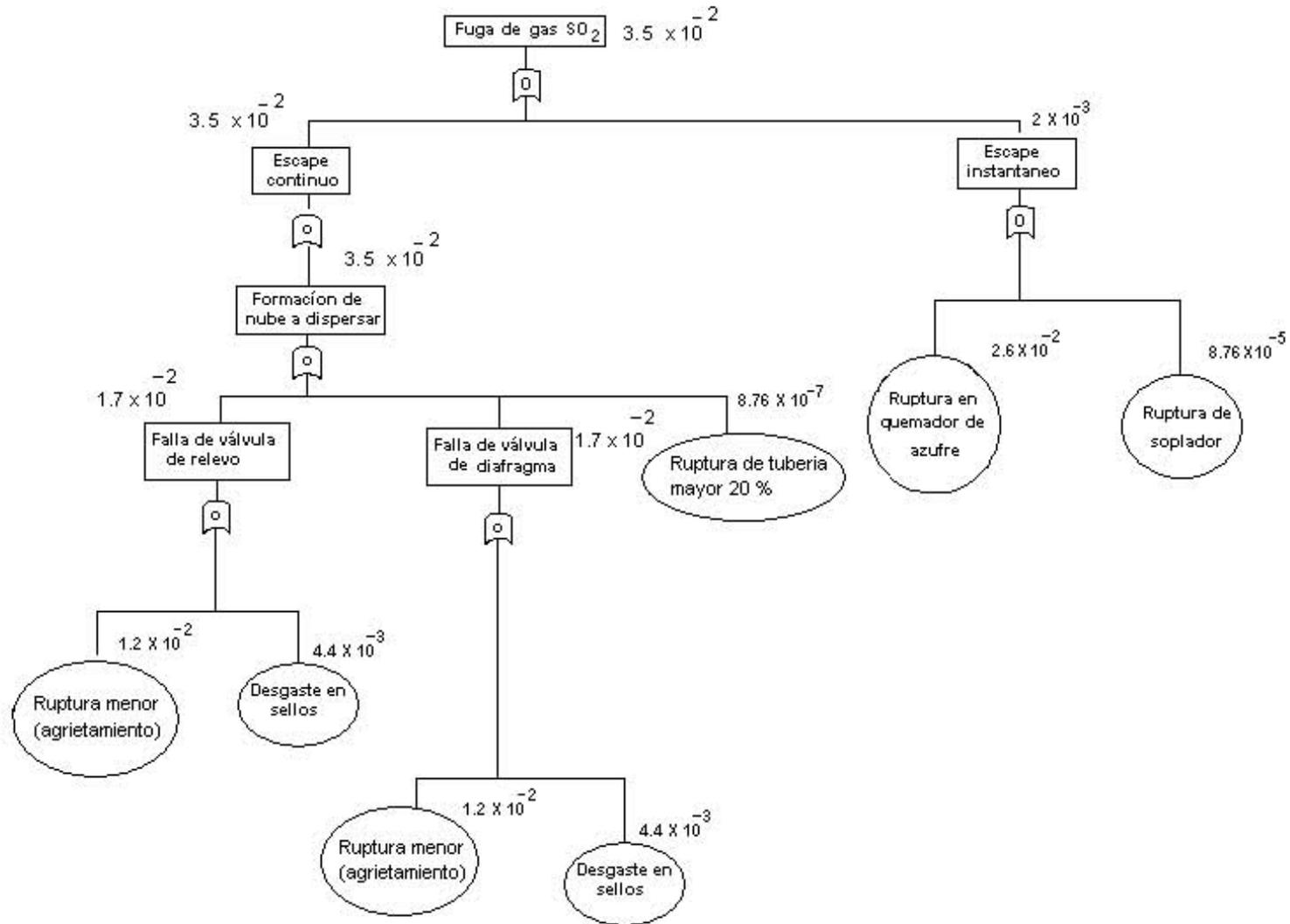
PARA EL DIÓXIDO DE AZUFRE:

- ◆ El tramo 1 está ubicado en el nodo 3 y va de la salida del SO<sub>2</sub> del quemador de azufre tipo atomizador 100-Q-01 hasta la entrada del filtro 100-F-01 A.
- ◆ El tramo 2 está ubicado en el nodo 3 y va de la salida del filtro 100-F-02 B, hasta la entrada del intercambiador para enfriamiento del SO<sub>2</sub> 100-EA-02B.
- ◆ El tramo 3 está ubicado en el nodo 3 y nodo 4 y va de la salida del intercambiador para enfriamiento del SO<sub>2</sub> 100-EA-02B, hasta la entrada a la torre catalítica 100-TC-01.

PARA EL TRIÓXIDO DE AZUFRE:

- ◆ El tramo 1 está ubicado en el nodo 4 y va de la salida del SO<sub>3</sub> de la torre catalítica 100-TC-01 hasta la entrada del primer intercambiador de doble tubo 100-EA-03C.
- ◆ El tramo 2 está ubicado en el nodo 4 y va de la salida del primer intercambiador de doble tubo 100-EA-03C, hasta la entrada del intercambiador de cascada 100-EA-04D.
- ◆ El tramo 3 está ubicado en el nodo 4 y nodo 5 y va de la salida del intercambiador de cascada 100-EA-04D, hasta la entrada del eliminador de niebla 100-EN-01.
- ◆ El tramo 4 está ubicado en el nodo 5 y nodo 6 y va de la salida del eliminador de niebla 100-EN-01, hasta la entrada del reactor de película descendente 200-RPD-01 A (sulfonador).
- ◆ El tramo 5 está ubicado en el nodo 5 y nodo 7 y va de la salida del eliminador de niebla 100-EN-01, hasta la entrada del reactor de película descendente 200-RPD-02 B (sulfatador).

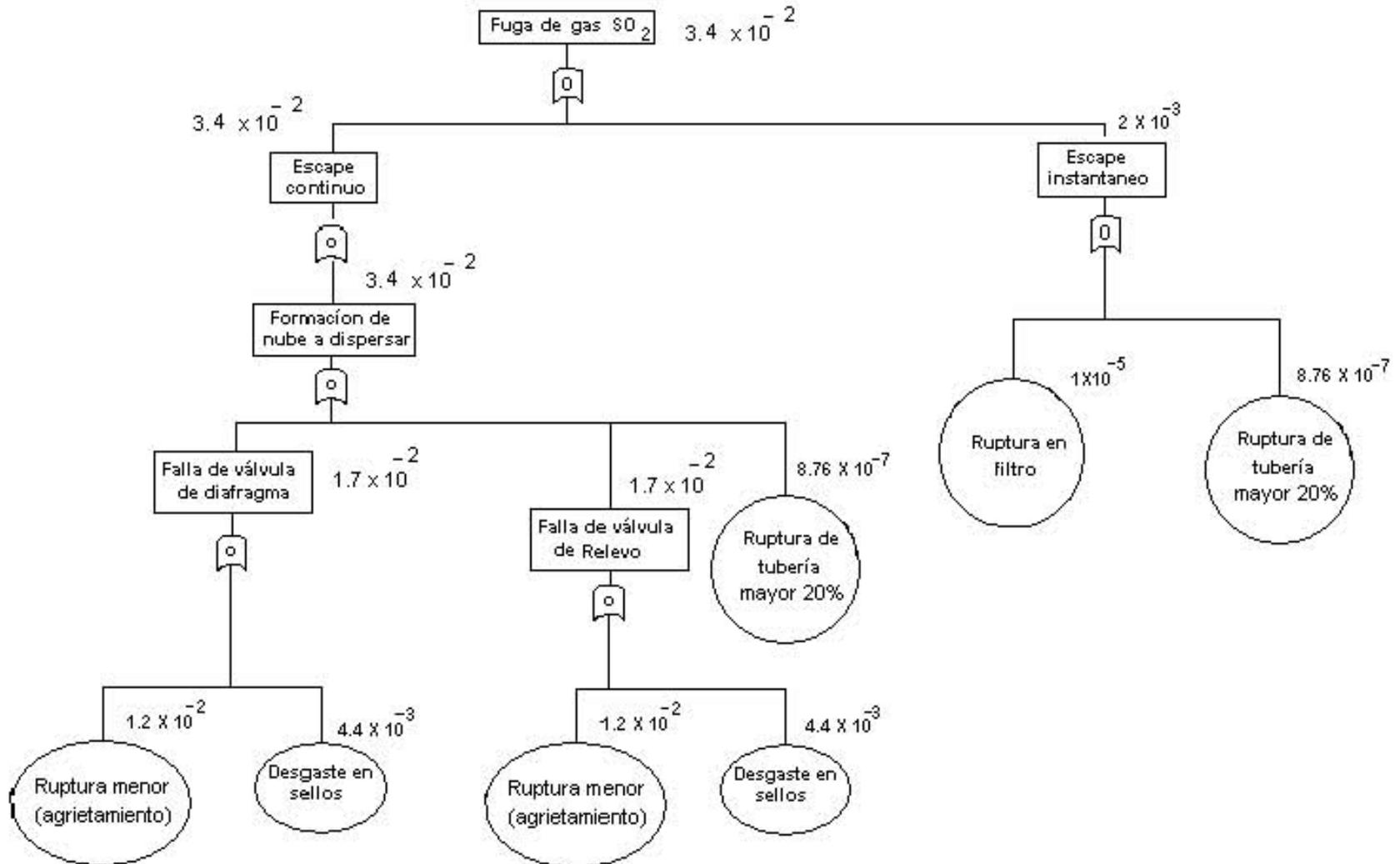
3.6.1. ÁRBOL DE FALLOS DEL TRAMO 1 NODO 3 DONDE FLUYE EL SO<sub>2</sub>



3.6.2. ÁRBOL DE EVENTOS DEL TRAMO 1 NODO 3 DONDE FLUYE EL SO<sub>2</sub>

ÁRBOL DE EVENTOS PARA INICIAR EL EVENTO "FUGA DE SO <sub>2</sub> EN LA TUBERÍA".						
Fuga de gas SO <sub>3</sub> (A)	Instantánea / Continua (B)	Control aislamiento y rápido (C)	Dispersión (D)	Secuencia de siglas	Probabilidad	
0.035	Si ↑	0.30	0.85	$\bar{A} B D$	$8.9 \times 10^{-3}$	
			0.15	$\bar{A} B \bar{D}$	$1.57 \times 10^{-3}$	
	No ↓	0.70	0.90	0.85	$\bar{A} \bar{B} C D$	$1.8 \times 10^{-2}$
			0.10	0.15	$\bar{A} \bar{B} C \bar{D}$	$3.30 \times 10^{-3}$
				0.85	$\bar{A} \bar{B} \bar{C} D$	$2.08 \times 10^{-3}$
				0.15	$\bar{A} \bar{B} \bar{C} \bar{D}$	$3.67 \times 10^{-4}$

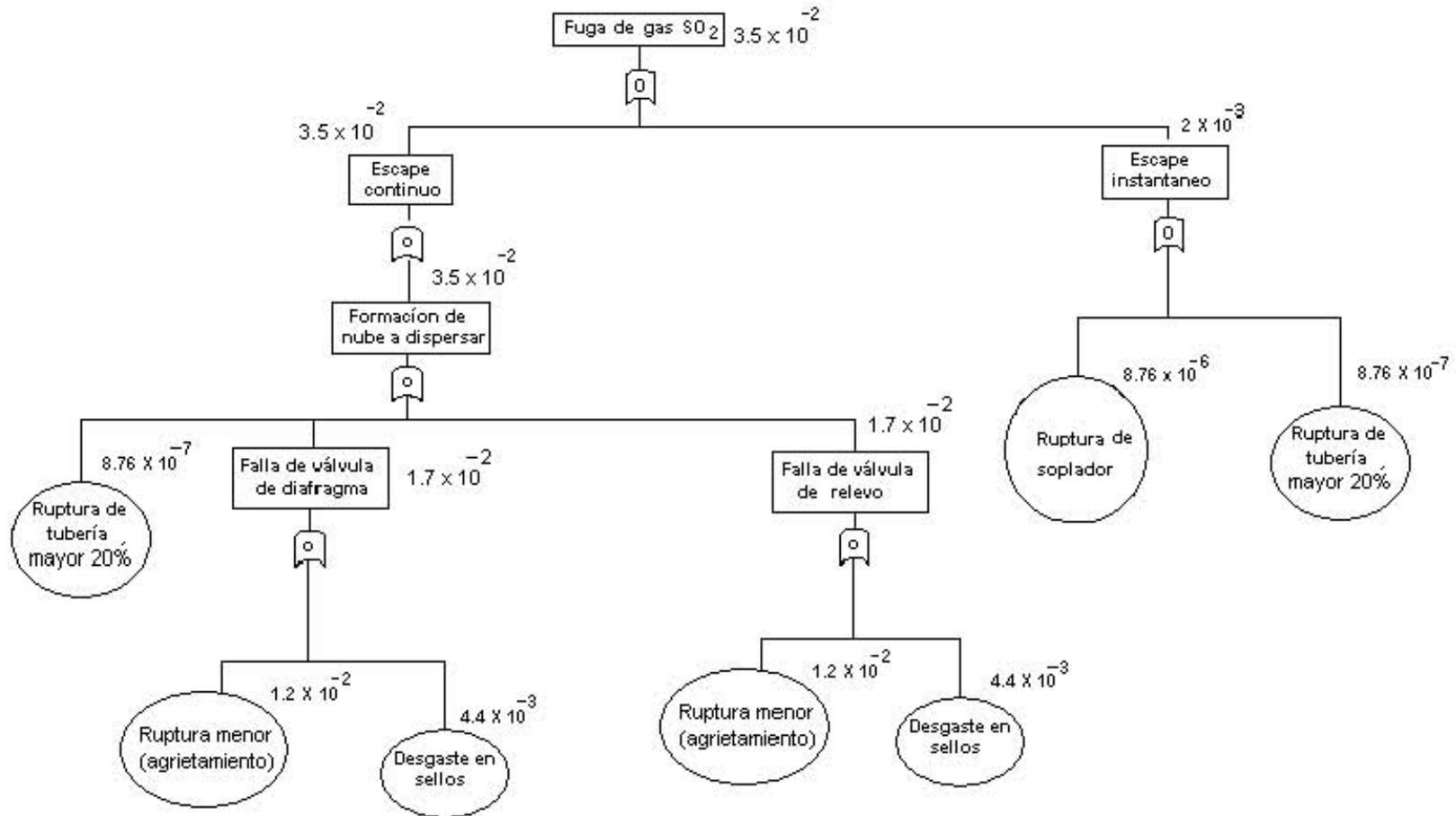
3.6.3. ÁRBOL DE FALLOS DEL TRAMO 2 NODO 3 DONDE FLUYE EL SO<sub>2</sub>



3.6.4. ÁRBOL DE EVENTOS DEL TRAMO 2 NODO 3 DONDE FLUYE EL SO<sub>2</sub>

ÁRBOL DE EVENTOS PARA INICIAR EL EVENTO "FUGA DE SO <sub>2</sub> EN LA TUBERÍA".						
Fuga de gas SO <sub>3</sub> (A)	Instantánea / Continua (B)	Control y aislamiento rápido (C)	Dispersión (D)	Secuencia de siglas	Probabilidad	
0.034	Si ↑ 0.30	0.90	0.85	$\bar{A} B D$	$8.67 \times 10^{-3}$	
			0.15	$\bar{A} B \bar{D}$	$1.53 \times 10^{-3}$	
	No ↓ 0.70	0.10	0.85	$\bar{A} \bar{B} C D$	$1.82 \times 10^{-2}$	
			0.15	$\bar{A} \bar{B} C \bar{D}$	$3.21 \times 10^{-3}$	
				0.85	$\bar{A} \bar{B} \bar{C} D$	$2.02 \times 10^{-3}$
				0.15	$\bar{A} \bar{B} \bar{C} \bar{D}$	$3.57 \times 10^{-4}$

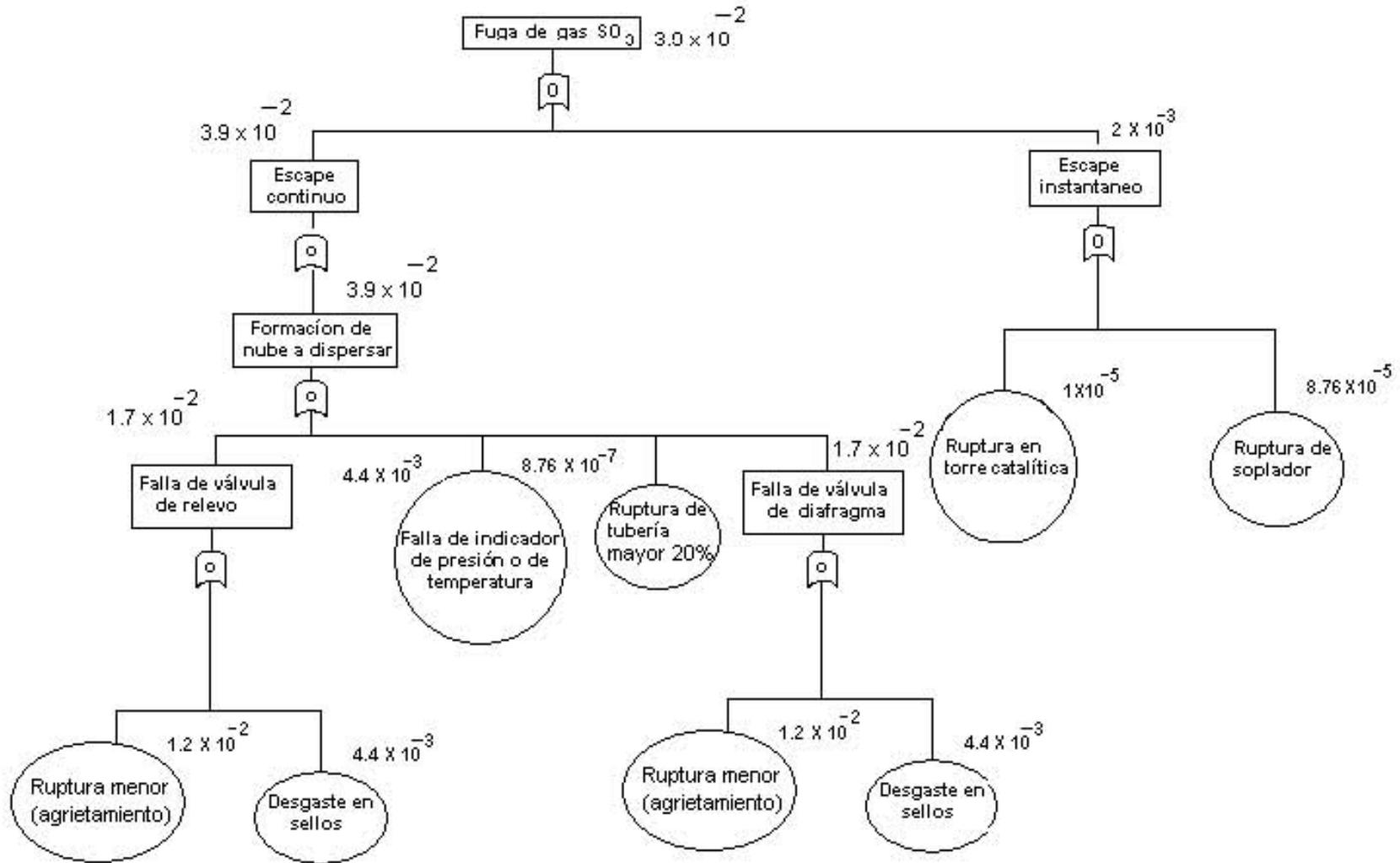
3.6.5. ÁRBOL DE FALLOS DEL TRAMO 3 NODO 3 y 4 DONDE FLUYE EL SO<sub>2</sub>



3.6.6. ÁRBOL DE EVENTOS DEL TRAMO 3 NODO 3 y 4 DONDE FLUYE EL SO<sub>2</sub>

ÁRBOL DE EVENTOS PARA INICIAR EL EVENTO "FUGA DE SO <sub>2</sub> EN LA TUBERÍA".					
Fuga de gas SO <sub>3</sub> (A)	Instantánea / Continua (B)	Control aislamiento y rápido (C)	Dispersión (D)	Secuencia de siglas	Probabilidad
0.035	Si ↑ ↓ No	0.30 0.70 0.90 0.10	0.85	$\bar{A} B D$	$8.92 \times 10^{-3}$
			0.15	$\bar{A} B \bar{D}$	$1.57 \times 10^{-3}$
			0.85	$\bar{A} \bar{B} C D$	$1.87 \times 10^{-2}$
			0.15	$\bar{A} \bar{B} C \bar{D}$	$3.30 \times 10^{-3}$
			0.85	$\bar{A} \bar{B} \bar{C} D$	$2.08 \times 10^{-3}$
			0.15	$\bar{A} \bar{B} \bar{C} \bar{D}$	$3.67 \times 10^{-4}$

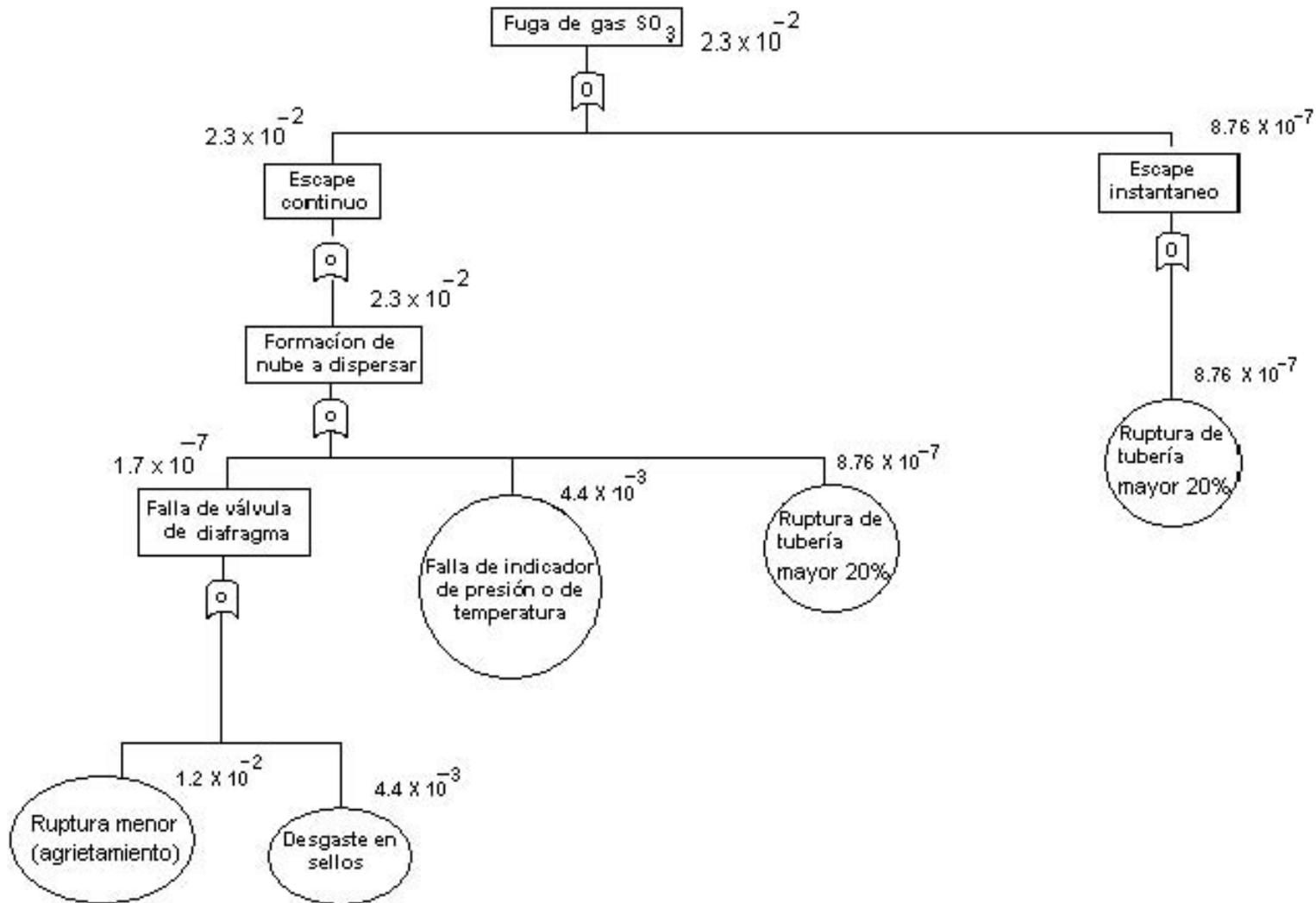
3.6.7. ÁRBOL DE FALLOS DEL TRAMO 1 NODO 4 DONDE FLUYE EL SO<sub>3</sub>



3.6.8. ÁRBOL DE EVENTOS DEL TRAMO 1 NODO 4 DONDE FLUYE EL SO<sub>3</sub>

ÁRBOL DE EVENTOS PARA INICIAR EL EVENTO "FUGA DE SO <sub>3</sub> EN LA TUBERÍA".					
Fuga de gas SO <sub>3</sub> (A)	Instantánea / Continua (B)	Control y aislamiento rápido (C)	Dispersión (D)	Secuencia de siglas	Probabilidad
0.039	Si ↑ ↓ No	0.30 0.70 0.90 0.10	0.85	$\bar{A} B D$	$9.94 \times 10^{-3}$
			0.15	$\bar{A} B \bar{D}$	$1.75 \times 10^{-3}$
			0.85	$\bar{A} \bar{B} C D$	$2.08 \times 10^{-2}$
			0.15	$\bar{A} \bar{B} C \bar{D}$	$3.68 \times 10^{-3}$
			0.85	$\bar{A} \bar{B} \bar{C} D$	$2.32 \times 10^{-3}$
			0.15	$\bar{A} \bar{B} \bar{C} \bar{D}$	$4.09 \times 10^{-4}$

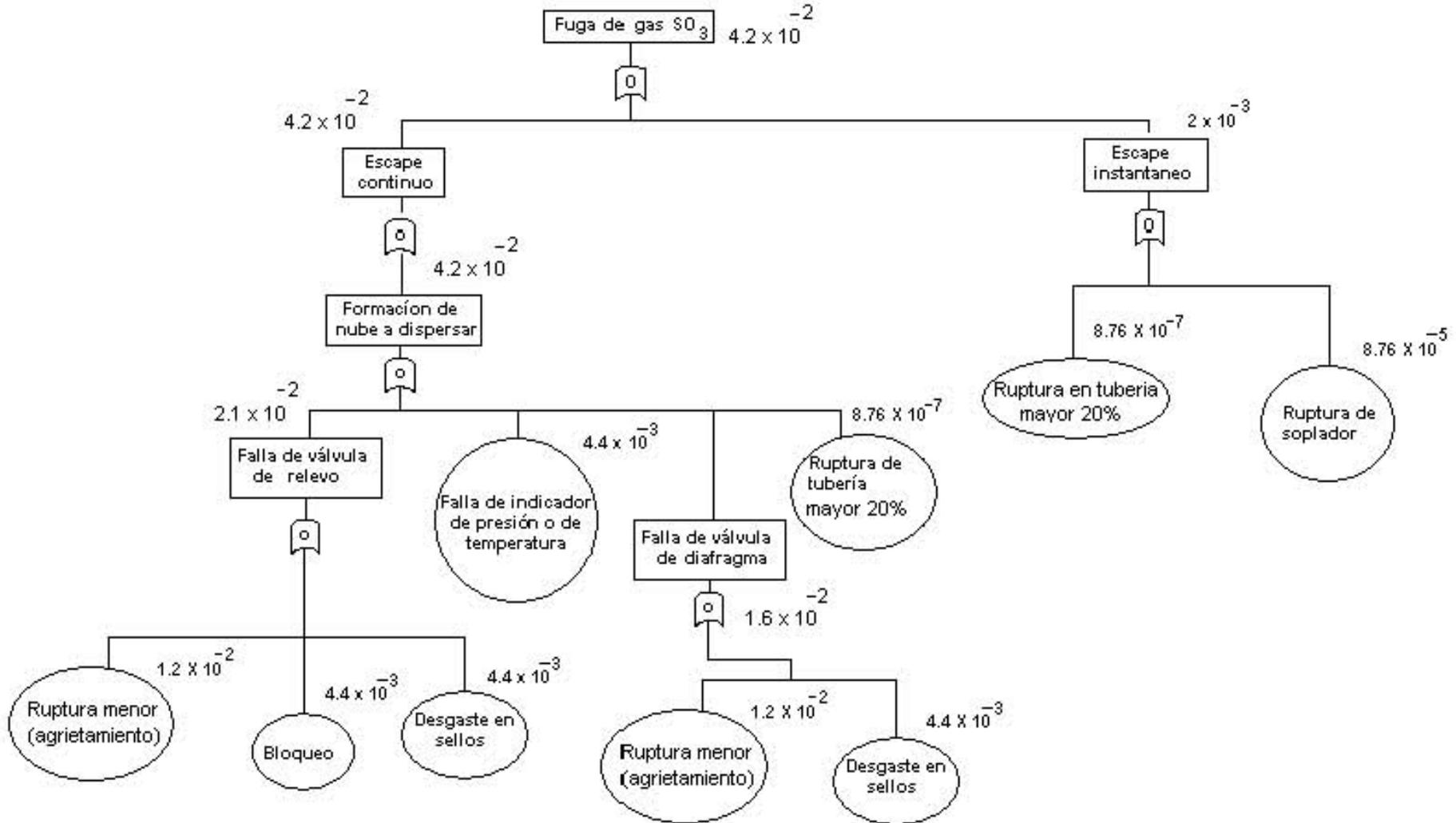
3.6.9. ÁRBOL DE FALLOS DEL TRAMO 2 NODO 4 DONDE FLUYE EL SO<sub>3</sub>



3.6.10. ÁRBOL DE EVENTOS DEL TRAMO 2 NODO 4 DONDE FLUYE EL SO<sub>3</sub>.

ÁRBOL DE EVENTOS PARA INICIAR EL EVENTO "FUGA DE SO <sub>3</sub> EN LA TUBERÍA".					
Fuga de gas SO <sub>3</sub> (A)	Instantánea / Continua (B)	Control y aislamiento rápido (C)	Dispersión (D)	Secuencia de siglas	Probabilidad
0.023	Si ↑ ↓ No	0.30 0.70 0.90 0.10	0.85	$\bar{A} B D$	$5.86 \times 10^{-3}$
			0.15	$\bar{A} B \bar{D}$	$1.03 \times 10^{-3}$
			0.85	$\bar{A} \bar{B} C D$	$1.23 \times 10^{-2}$
			0.15	$\bar{A} \bar{B} C \bar{D}$	$2.17 \times 10^{-3}$
			0.85	$\bar{A} \bar{B} \bar{C} D$	$1.36 \times 10^{-3}$
			0.15	$\bar{A} \bar{B} \bar{C} \bar{D}$	$2.41 \times 10^{-4}$

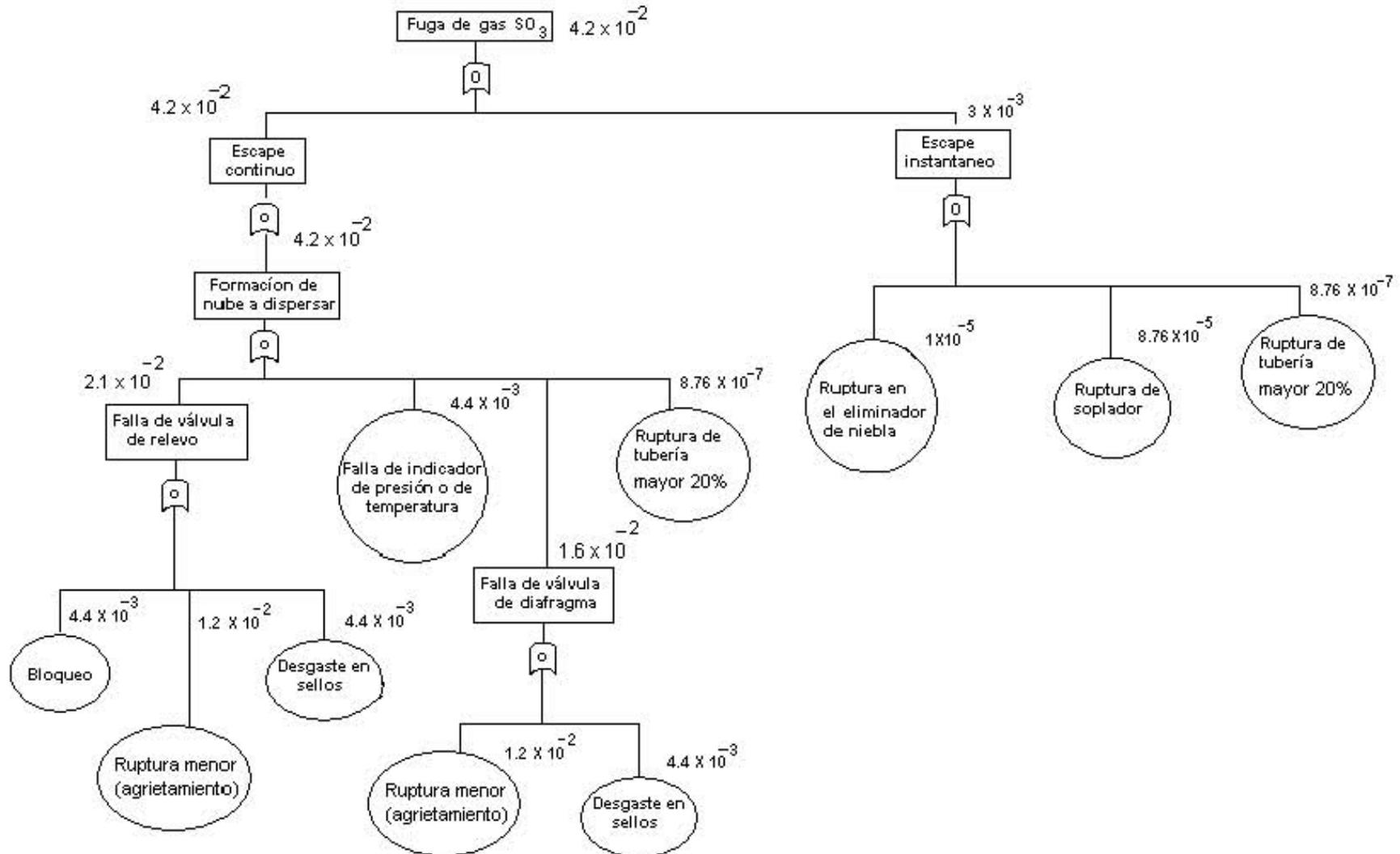
3.6.11. ÁRBOL DE FALLOS DEL TRAMO 3 NODO 4 y 5 DONDE FLUYE EL SO<sub>3</sub>



3.6.12. ÁRBOL DE EVENTOS DEL TRAMO 3 NODO 4 y 5 DONDE FLUYE EL SO<sub>3</sub>.

ÁRBOL DE EVENTOS PARA INICIAR EL EVENTO "FUGA DE SO <sub>3</sub> EN LA TUBERÍA".					
Fuga de gas SO <sub>3</sub> (A)	Instantánea / Continua (B)	Control aislamiento y rápido (C)	Dispersión (D)	Secuencia de siglas	Probabilidad
0.042	Si ↑ ↓ No	0.30 0.70 0.90 0.10	0.85	$\bar{A} B D$	$1.07 \times 10^{-2}$
			0.15	$\bar{A} B \bar{D}$	$1.89 \times 10^{-3}$
			0.85	$\bar{A} \bar{B} C D$	$2.24 \times 10^{-2}$
			0.15	$\bar{A} \bar{B} C \bar{D}$	$3.96 \times 10^{-3}$
			0.85	$\bar{A} \bar{B} \bar{C} D$	$2.49 \times 10^{-3}$
			0.15	$\bar{A} \bar{B} \bar{C} \bar{D}$	$4.41 \times 10^{-4}$

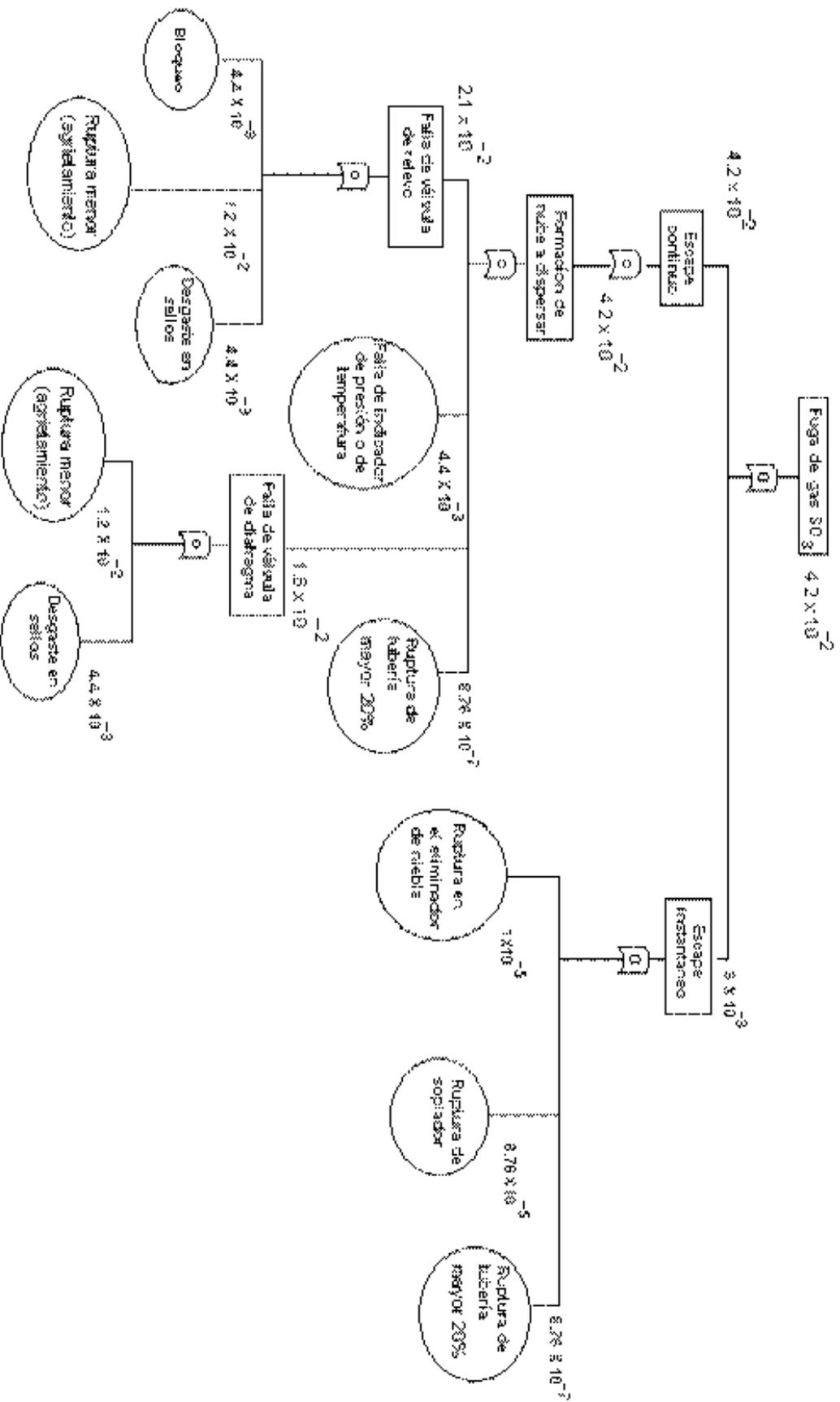
3.6.13. ÁRBOL DE FALLOS DEL TRAMO 4 NODO 5 y 6 DONDE FLUYE EL SO<sub>3</sub>



3.6.14. ÁRBOL DE EVENTOS DEL TRAMO 4 NODO 5 y 6 DONDE FLUYE EL SO<sub>3</sub>.

ÁRBOL DE EVENTOS PARA INICIAR EL EVENTO "FUGA DE SO <sub>3</sub> EN LA TUBERÍA".					
Fuga de gas SO <sub>3</sub> (A)	Instantánea / Continua (B)	Control y aislamiento rápido (C)	Dispersión (D)	Secuencia de siglas	Probabilidad
0.042	Si ↑ ↓ No	0.30 0.70 0.90 0.10	0.85	$\bar{A} B D$	$1.07 \times 10^{-2}$
			0.15	$\bar{A} B \bar{D}$	$1.89 \times 10^{-3}$
			0.85	$\bar{A} \bar{B} C D$	$2.24 \times 10^{-2}$
			0.15	$\bar{A} \bar{B} C \bar{D}$	$3.96 \times 10^{-3}$
			0.85	$\bar{A} \bar{B} \bar{C} D$	$2.49 \times 10^{-3}$
			0.15	$\bar{A} \bar{B} \bar{C} \bar{D}$	$4.41 \times 10^{-4}$

3.6.15. ÁRBOL DE FALLOS DEL TRAMO 5 NODO 5 Y 7 DONDE FLUYE EL SO<sub>3</sub>



3.6.16. ÁRBOL DE EVENTOS DEL TRAMO 5 NODO 5 y 7 DONDE FLUYE EL SO<sub>3</sub>.

ÁRBOL DE EVENTOS PARA INICIAR EL EVENTO "FUGA DE SO <sub>3</sub> EN LA TUBERÍA".					
Fuga de gas SO <sub>3</sub> (A)	Instantánea / Continua (B)	Control aislamiento y rápido (C)	Dispersión (D)	Secuencia de siglas	Probabilidad
0.042	Si ↑ ↓ No	0.30 0.70 0.90 0.10	0.85	$\bar{A} B D$	$1.07 \times 10^{-2}$
			0.15	$\bar{A} B \bar{D}$	$1.89 \times 10^{-3}$
			0.85	$\bar{A} \bar{B} C D$	$2.24 \times 10^{-2}$
			0.15	$\bar{A} \bar{B} C \bar{D}$	$3.96 \times 10^{-3}$
			0.85	$\bar{A} \bar{B} \bar{C} D$	$2.49 \times 10^{-3}$
			0.15	$\bar{A} \bar{B} \bar{C} \bar{D}$	$4.41 \times 10^{-4}$

---

C  
A  
P  
Í  
T  
U  
L  
O

4

**SIMULACIÓN DEL EVENTO  
DE FUGA**

---

## 4.- SIMULACIÓN DEL EVENTO DE FUGA

### 4.1. MODELOS DE SIMULACIÓN

Un modelo de simulación, es una forma de representar el comportamiento de un fenómeno real ó de un conjunto de elementos reales. Por lo general, los modelos de simulación se utilizan para pronosticar el comportamiento de sistemas, a través del análisis de su funcionamiento y la definición de variables, que representen sus elementos.

Prácticamente, todos los fenómenos reales son más complejos, que los que puede expresarse en ecuaciones matemáticas, que son la base de los modelos de simulación, por lo cual, se requiere hacer simplificaciones y suposiciones, que posteriormente deben validarse.

La simulación es una técnica numérica para conducir experimentos en computadora, que requiere ciertos tipos de modelos lógicos y matemáticos, que describen el comportamiento de un fenómeno real, por periodos de tiempo real. Los modelos de simulación, están estrictamente relacionados con el método científico descrito por Sir Francisco Bacon (1620), que consiste de cuatro pasos:

- ◆ Observación de un sistema físico.
- ◆ Formulación de una hipótesis (modelo matemático), para intentar explicar las observaciones hechas.
- ◆ Predicción del comportamiento del sistema, de acuerdo a la hipótesis usando la deducción lógica ó matemática, para obtener soluciones del modelo matemático.
- ◆ Realización de experimentos, para probar la validez de la hipótesis ó modelo matemático.

De acuerdo al planteamiento matemático, los modelos de simulación pueden clasificarse en la siguiente forma:

- ◆ Determinísticos.
- ◆ Estocásticos.
- ◆ Estáticos.
- ◆ De distribución (dinámicos).

Para que exista un riesgo, en el caso de sustancias peligrosas, se requiere que estas sean liberadas al ambiente, lo cual, en el caso de líquidos y gases siempre implica su dispersión en el aire. Algunos de los factores y escenarios, que hacen compleja la elaboración de modelos de simulación son los siguientes:

- ◆ Multitud de escenarios de emisión y dispersión.
- ◆ Emisión continua ó instantánea.
- ◆ Tubería ó recipiente.
- ◆ Gases ó líquidos.
- ◆ Presurizados ó sin presión.
- ◆ Densidad mayor ó menor que el aire.
- ◆ Involucramiento de cambios de fase.
- ◆ Interacciones termodinámicas con el ambiente.
- ◆ Diferentes irregularidades y consistencia del terreno.
- ◆ Configuración de las estructuras de la planta.
- ◆ Diferentes condiciones atmosféricas.
- ◆ Temperatura de los fluidos emitidos.
- ◆ Otros.

Los modelos de simulación, también pueden clasificarse en los siguientes dos tipos:

- ◆ Cualitativos.- Solo utilizan expresiones que describen ó narran el comportamiento del sistema, no especificándose cantidades.
- ◆ Cuantitativos.- Utilizan ecuaciones matemáticas para especificar y cuantificar en detalle los cambios en el sistema.

En el análisis de riesgos, los modelos de simulación tienen diversas aplicaciones, entre las que se encuentran principalmente las siguientes:

- ◆ Estimación de la probabilidad, magnitud y efectos por fugas y derrames de sustancias peligrosas.
- ◆ Localización de una planta, arreglos de conjunto, generales y de equipo.
- ◆ Diseño de estructuras, sistemas, equipos y componentes.
- ◆ Determinación de la confiabilidad de instalaciones.
- ◆ Definición de modificaciones a procesos, incluyendo aspectos de seguridad.
- ◆ Preparación de planes de emergencia.
- ◆ Entrenamiento del personal.

De acuerdo con la etapa en que se encuentre la sustancia, los modelos de simulación pueden clasificarse en la siguiente forma de:

- ◆ Proceso.- Predicen la transformación y comportamiento de las sustancias, durante las diferentes etapas del proceso productivo.
- ◆ Dispersión.- Predicen el comportamiento y dirección, que seguirán las sustancias cuando sean liberadas; hay modelos separados por dispersión en el aire, en el agua y en el subsuelo, pero no hay un modelo de dispersión en los tres medios simultáneamente.
- ◆ Descarga.- Predicen lo que sucederá con el material, al momento de ser liberado al ambiente, y calculan:
  - a) Si el material se libera como líquido, gas ó ambos y sus proporciones.
  - b) La rapidez de emisión.
  - c) Forma de cambio de su temperatura.
  - d) Si se forma un charco, sus dimensiones y velocidad de evaporación.
  - e) La rapidez de mezcla con el medio en que se liberó.
- ◆ Explosión.- Calculan el alcance de las ondas de sobrepresión, generadas por la explosión de una nube de vapor.
- ◆ Incendio.- Calculan el alcance de niveles de radiación térmica, producida por las flamas de una sustancia.

#### 4.2. CARACTERÍSTICAS DE UN MODELO DE SIMULACIÓN

Las principales características que debe tener un modelo de simulación, a efecto que pueda tener una aplicación útil en el análisis de riesgos, son las siguientes:

- ◆ Ser aplicable a sustancias peligrosas, y considerar no únicamente sus propiedades físico-químicas, sino también sus propiedades de toxicidad e inflamabilidad.
- ◆ Poderse aplicar a eventos en que la sustancia se libera al ambiente, es decir, debe tomar en cuenta las condiciones ambientales, en donde ocurre el accidente.
- ◆ Ser capaz de predecir el comportamiento de la sustancia al ser liberada, es decir, poder predecir la formación de nubes, charcos ó neblinas, y definir los cambios que ocurren durante la dispersión, como turbulencia, densidad de la nube e influencia del viento.
- ◆ Que la dispersión que modele, identifique el alcance de concentraciones de interés que pueda definir el usuario, ó bien que sean concentraciones que señalen algún grado de afectación.
- ◆ Definir las distancias para diferentes niveles de afectación por toxicidad, explosividad ó inflamabilidad.

Otras características importantes que deben tener los modelos de simulación, son las siguientes:

- ◆ Rapidez para realizar los cálculos, que puede significar un ahorro de tiempo.
- ◆ Exactitud de los resultados, que puede significar ahorro de recursos, al señalar zonas que no requieren protección, ó bien dedicar recursos a zonas que si requieran protección.
- ◆ Precisión ó reproducibilidad, lo cual asegura confianza en los resultados.
- ◆ Costo, que es directamente proporcional al beneficio que pueda generar. De cualquier forma, el costo de un buen modelo puede ser muchas veces menor a los costos de reparar daños, causados por un evento indeseable no evaluado adecuadamente.

#### **4.3. MODELOS DE SIMULACIÓN DE CONSECUENCIAS DE ACCIDENTES CON SUSTANCIAS PELIGROSAS**

El manejo, transporte ó almacenamiento de sustancias peligrosas es importante debido a los efectos que provocan en caso de un accidente, como es en el caso de la liberación de un gas ó vapor tóxico proveniente de una fuga y/o derrame de un líquido que se evapora, y la posible exposición de gente a concentraciones de un gas ó vapor que puedan afectar severamente la salud y/o incluso provocar la muerte.

Este tipo de escenarios han recibido especial atención debido a un número significativo de accidentes que se han registrado a nivel mundial. Es muy común que en las industrias se manejen sustancias que en determinado momento puedan provocar una explosión ó un incendio. En este sentido resultan de especial interés los gases ó líquidos que puedan dar lugar a la formación de un incendio ó una nube explosiva. En este caso es importante el poder estimar los radios de afectación y la magnitud de los daños potenciales por la ocurrencia de un evento explosivo ó un incendio, considerando el personal expuesto y las características de instalaciones y procesos existentes.

Un solo modelo no permite evaluar, todos los escenarios (fugas, derrames, incendios, explosiones, etc) por lo que manejo de estos simuladores requiere de personal capacitado ó especializado para interpretar los resultados que proporciona el software, así como el manejo de criterios y variables a utilizar. Estos modelos de simulación están enfocados a personas capacitadas que se involucren en la atención de emergencias, emergencias ambientales y estudios de riesgo.

#### **4.4. DESCRIPCIÓN DEL SIMULADOR UTILIZADO**

Para los eventos simulados se utilizó el programa Chemical Hazardous Air Release Model (CHARM). Se trata de un programa de modelación aprobado por la Agencia de Protección Ambiental de los E.U.A., (EPA) que calcula y predice la dispersión y concentración de plumas emitidas al aire liberadas de productos químicos. También predice los efectos de radiación térmica y sobrepresiones, resultando muy útil en la evaluación del impacto de liberaciones accidentales, en el diseño de planes de respuesta a emergencias e implementando programas de entrenamiento.

El programa CHARM provee una base de datos químicos que contienen información acerca de las propiedades físicas, químicas y tóxicas de más de 100 compuestos. CHARM necesita nada más que se seleccione el compuesto químico, se describa la liberación y se especifiquen las condiciones meteorológicas del lugar de donde se presenta la fuga. La liberación puede ser instantánea ó continua, contenida ó no contenida, líquida ó gaseosa. La liberación puede ser una alberca incendiada una explosión de vapor expandido proveniente de un líquido en ebullición ó un chorro continuo de fuego. También pueden predecirse las sobre presiones para una nube de vapor inflamable ó una falla mecánica de un recipiente a presión.

El módulo fuente calcula lo siguiente:

- ◆ Posición X,Y,Z, del viento.
- ◆ Masa química (fases líquida y vapor).
- ◆ Temperatura del viento.
- ◆ Masa de aire contenida en el viento.
- ◆ Dirección y velocidad de movimiento del viento.
- ◆ Dimensiones del viento.
- ◆ Masa de vapor de agua y,
- ◆ Energía latente.

Los cálculos empleados por el módulo “Fuente” se determinan por el tipo de liberación.

- ◆ Emisión continua contenida de líquidos.
- ◆ Emisión continua no contenida de gases ó líquidos.
- ◆ Emisión instantánea de gas ó de líquidos.
- ◆ Liberación específica.
- ◆ Incendio en un área abierta y,
- ◆ Explosiones.

#### 4.4.1. ESTABILIDAD ATMOSFÉRICA

Para la simulación de los escenarios de riesgo debe considerarse la estabilidad atmosférica en el sitio del escenario. La cual se mide usando la escala Pasquill-Gifford.

A continuación se presenta una tabla (tabla 4.1). con las estabilidades A, B y C representan las horas diurnas con condiciones inestables. La estabilidad D, los días ó noches con cielo cubierto con condiciones neutrales. Las estabilidades E y F, las condiciones nocturnas estables, y se basan en la cantidad de cobertura de nubes. Por consiguiente, la clasificación A representa condiciones de gran inestabilidad y la clasificación F, de gran estabilidad.

Viento Superficial	Insolación			Período Nocturno	
Velocidad del viento (m/s)	Alta	Moderada	Ligera	Nublados ≥ 4/8	Nublados ≥ 3/8
< 2	A	A-B	B	-	-
2-3	A-B	B	C	E	F
3-5	B	B-C	C	D	E
5-6	C	C-D	D	D	D
> 6	C	D	D	D	D

Para el presente trabajo en la determinación de las Zonas de Alto Riesgo y Amortiguamiento se utilizó la estabilidad atmosférica F en todos los casos debido a que representa las condiciones en las cuales, teóricamente, se daría el menor nivel de dispersión de elementos en la atmósfera por la baja velocidad de viento y la ausencia de radiación solar que promueve la turbulencia de las masas de aire atmosféricas.

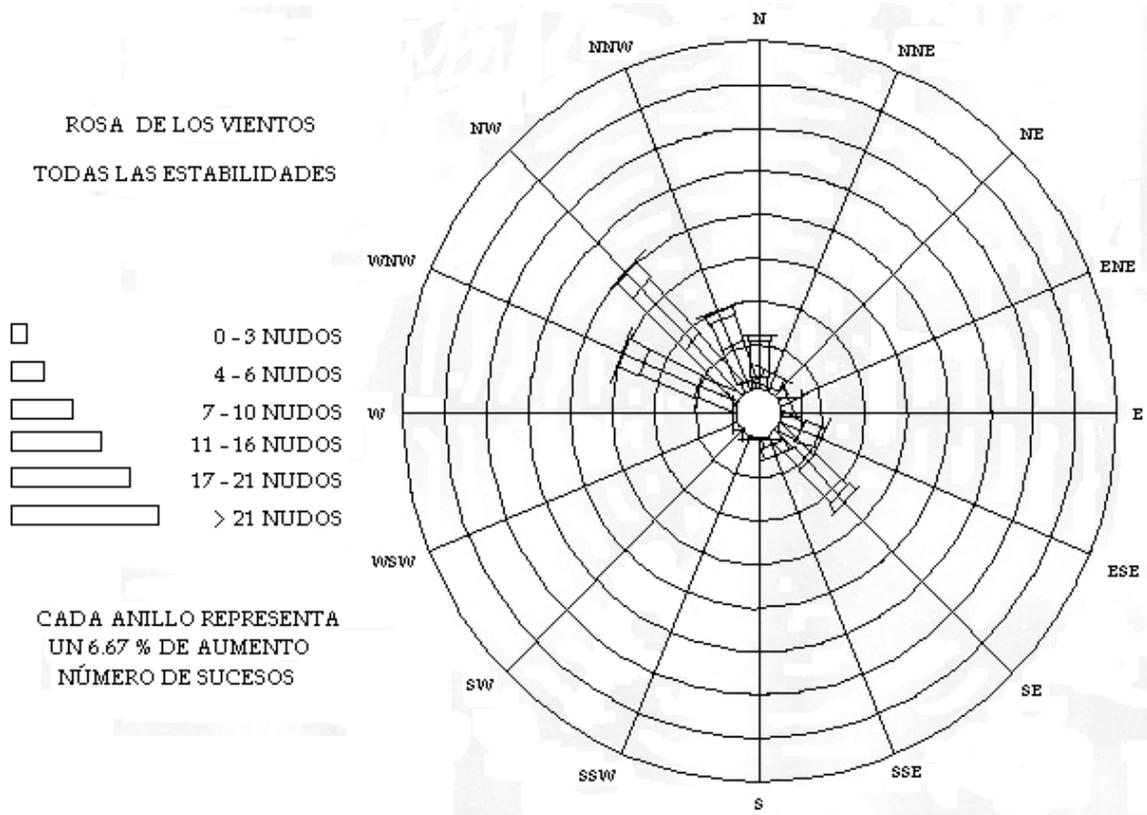


Figura 4.1. Rosa de los Vientos.

Con base en la guía para la elaboración de estudios de riesgo publicada por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, los valores de los dos parámetros que definen los Radios Potenciales de Afectación son los siguientes:

TABLA 4.2. PARÁMETROS PARA RADIOS POTENCIALES DE AFECTACIÓN		
Parámetro	Zona de	
	Alto Riesgo	Amortiguamiento
Inflamabilidad (Radiación Térmica)	5 KW/m <sup>2</sup>	1.4 KW/m <sup>2</sup>
Explosividad (Sobre presión)	0.070 kg/ cm <sup>2</sup> , 1 pisp	0.035 kg/ cm <sup>2</sup> , 0.5 pisp

**4.5. DATOS QUE SE INGRESARON AL SIMULADOR**

**DIÓXIDO DE AZUFRE**

Version 7.3  
 Title: EVENTO DE FUGA EN UN ESTADO CONTINUO PARA  
 EL SO<sub>2</sub>  
 Species: Sulfur Dioxide  
 Release type: Continuous Loss of Gas  
 X location: 0 m  
 Y location: 0 m  
 Isoleth Concentrations (ppm): 2 , 20 , 200  
 Building Height: 0 m  
 Width: 0 m  
 Source to Building Distance: 0 m  
 Direction: 0°  
 Release Height Above Ground: 0 m  
 Storage Pressure (gauge): 13.8 psig  
 Storage Temperature assumed to be ambient  
 Liquid is in the container  
 Horizontal Tank or Pipeline  
 Tank Length: 91.98 m  
 Tank Diameter: 6 in  
 Liquid Depth in Container: 0 in  
 Hole Diameter: 2.5 cm  
 Hole is facing: 0°  
 Vertical Angle of Hole: 0°  
 Height of Hole from Container Bottom: 0 m

**DIÓXIDO DE AZUFRE**

Met Data  
 Relative Humidity: 50 %  
 Ambient Temperature: 25 °C  
 Ambient Pressure: 1 atms  
 Stability Class: F (User supplied)  
 No inversion present  
 No surface roughness specified  
 Winds Time Direction Speed  
 00:00 180° 1.5 m/s

Emission time (min): 0.352  
 Gas release time (sec): 21.115  
 Liquid release time (min): 0.000  
 Boil off time (hr): 0.000

**Sulfur Dioxide**

Emitted (G): 4.125E+003  
 Puff number: 1  
 Mass (G): 4.13e+003  
 Diam (M): 2.50e-002  
 DPTH (M): 4.25e+003  
 FA: 0.00e+000  
 FW: 0.00e+000  
 FG: 1.00e+000  
 Droplet fraction: 0.0053  
 E-/W+ SPD (M/S): 2.5e-006  
 N-/S+ SPD (M/S): 2.1e+002  
 Vert SPD (M/S): 0.0e+000  
 Temp (K): 263.13  
 Emis. RTE(G/SEC): 2.0e+002  
 Time (MIN): 0.00

**TRIÓXIDO DE AZUFRE**

Version 7.3  
 Title: EVENTO DE FUGA EN UN ESTADO CONTINUO PARA  
 EL SO<sub>3</sub>  
 Species: Sulfur Trioxide  
 Release type: Continuous Loss of Gas  
 X location: 0 m  
 Y location: 0 m  
 Isoleth Concentrations (ppm): 0.25 , 2.5 , 25  
 Building Height: 0 m  
 Width: 0 m  
 Source to Building Distance: 0 m  
 Direction: 0°  
 Release Height Above Ground: 0 m  
 Storage Pressure (gauge): 12.3 psig  
 Storage Temperature assumed to be ambient  
 Liquid is in the container  
 Horizontal Tank or Pipeline  
 Tank Length: 82.65 m  
 Tank Diameter: 6 in  
 Liquid Depth in Container: 0 in  
 Hole Diameter: 2.5 cm  
 Hole is facing: 0°  
 Vertical Angle of Hole: 0°  
 Height of Hole from Container Bottom: 0 m

**TRIÓXIDO DE AZUFRE**

Met Data  
 Relative Humidity: 50 %  
 Ambient Temperature: 25 °C  
 Ambient Pressure: 1 atms  
 Stability Class: F (User supplied)

No inversion present  
 No surface roughness specified  

Winds	Time	Direction	Speed
	00:00	180°	1.5 m/s

Emission time (min): 0.235  
 Gas release time (sec): 14.127  
 Liquid release time (min): 0.000  
 Boil off time (hr): 0.000

Sulfur Trioxide  
 Emitted (G): 2.700E+003  
 Puff number: 1  
 Mass (G): 2.70e+003  
 Diam (M): 2.50e-002  
 DPTH (M): 1.25e+004  
 FA: 7.85e-001  
 FW: 0.00e+000  
 FG: 2.15e-001  
 Droplet fraction: 0.0570  
 E-/W+ SPD (M/S): 1.9e-006  
 N-/S+ SPD (M/S): 1.6e+002  
 Vert SPD (M/S): 0.0e+000  
 Temp (K): 317.90  
 Emis. RTE(G/SEC): 1.9e+002  
 Time (MIN): 0.00

---

C  
A  
P  
Í  
T  
U  
L  
O



**ANÁLISIS DE  
RESULTADOS**

---

## 5.- ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 5.1. RESULTADOS PARA EL HAZOP

#### 5.1.1. RESULTADOS DEL ESTUDIO HAZOP PARA EL NODO 1

Los resultados obtenidos dentro del Nodo 1 considerados por el HAZOP, son los siguientes:

Se localizaron dieciséis con una consecuencia moderada y un riesgo de 2, dos con una consecuencia catastrófica y un riesgo de 4 y cinco con una consecuencia severa y un riesgo alto de 6. La mayoría correspondientes al Tanque de almacenamiento 100-TA-01.

Índice de Frecuencia de Riesgo			Consecuencia			
			Ligero	Moderado	Severo	Catastrófico
			1	2	3	4
<b>Frecuencia</b>	Frecuente	5				
	Probable	4				
	Posible	3				
	Eventual	2			5	
	Raro	1		16		2

De acuerdo a la tabla 2.9. Índice de Riesgo se encuentra que: el Riesgo en el Nodo 1 sería *acceptable* y *acceptable con controles*.

#### 5.1.2. RESULTADOS DEL ESTUDIO HAZOP PARA EL NODO 2

Los resultados obtenidos dentro del Nodo 2 considerados por el HAZOP, son los siguientes:

Se localizaron uno con una consecuencia ligera y riesgo de 1, quince con una consecuencia moderada y un riesgo de 2 y uno con una consecuencia severa y un riesgo de 6. Siendo este último el de mayor riesgo que corresponde al Enfriador con serpentín 100-ECS-01A y al Secador de sílica 100-SS-01A.

Índice de Frecuencia de Riesgo			Consecuencia			
			Ligero	Moderado	Severo	Catastrófico
			1	2	3	4
<b>Frecuencia</b>	Frecuente	5				
	Probable	4				
	Posible	3				
	Eventual	2			1	
	Raro	1	1	15		

De acuerdo a la tabla 2.9. Índice de Riesgo se encuentra que: el Riesgo en el Nodo 2 entraría en *acceptable* y *acceptable con controles*.

#### 5.1.3. RESULTADOS DEL ESTUDIO HAZOP PARA EL NODO 3

Los resultados obtenidos dentro del Nodo 3 considerados por el HAZOP, son los siguientes:

Se localizaron tres con una consecuencia ligera y un riesgo de 1, veinticuatro con una consecuencia moderada y un riesgo de 2, y siete con una consecuencia severa y un riesgo de 6. Donde la mayoría corresponden al Quemador de azufre tipo atomizador 100-Q-01.

**TABLA 3. MATRIZ DE JERARQUIZACIÓN DE RIESGOS REALIZADA AL NODO 3.**

Índice de Frecuencia de Riesgo			Consecuencia			
			Ligero	Moderado	Severo	Catastrófico
			1	2	3	4
<b>Frecuencia</b>	Frecuente	5				
	Probable	4				
	Posible	3				
	Eventual	2			7	
	Raro	1	3	24		

De acuerdo a la tabla 2.9. Índice de Riesgo se encuentra que: el Riesgo en el Nodo 3 entraría en *acceptable* y *acceptable con controles*.

#### 5.1.4. RESULTADOS DEL ESTUDIO HAZOP PARA EL NODO 4

Los resultados obtenidos dentro del Nodo 4 considerados por el HAZOP, son los siguientes:

Dos con una consecuencia ligera y un riesgo de 1, cuarenta y dos con una consecuencia moderada y un riesgo de 2 y siete con una consecuencia severa y un riesgo de 6. Siendo este el más alto y que corresponde a la Torre catalítica 100-TC-01.

**TABLA 4. MATRIZ DE JERARQUIZACIÓN DE RIESGOS REALIZADA AL NODO 4.**

Índice de Frecuencia de Riesgo			Consecuencia			
			Ligero	Moderado	Severo	Catastrófico
			1	2	3	4
<b>Frecuencia</b>	Frecuente	5				
	Probable	4				
	Posible	3				
	Eventual	2			7	
	Raro	1	2	42		

De acuerdo a la tabla 2.9. Índice de Riesgo se encuentra que: el Riesgo en el Nodo 4 entraría en *acceptable* y *acceptable con controles*.

#### 5.1.5. RESULTADOS DEL ESTUDIO HAZOP PARA EL NODO 5

Los resultados obtenidos dentro del Nodo 5 considerados por el HAZOP, son los siguientes:

Cinco con una consecuencia ligera y un riesgo de 1, diecisiete con una consecuencia moderada y un riesgo de 2, y diez con una consecuencia catastrófica y un riesgo de 4 y tres con una consecuencia severa y un riesgo de 6. Teniendo a la Columna de absorción 100-CAB-01, el mayor riesgo con 6 y los demás repartiéndose entre el Eliminador de niebla 100-EN-01, el Tanque de absorción 100-TAB-01 y el Intercambiador de calor 100-EA-04D.

**TABLA 5. MATRIZ DE JERARQUIZACIÓN DE RIESGOS REALIZADA AL NODO 5.**

Índice de Frecuencia de Riesgo			Consecuencia			
			Ligero	Moderado	Severo	Catastrófico
			1	2	3	4
<b>Frecuencia</b>	Frecuente	5				
	Probable	4				
	Posible	3				
	Eventual	2			3	
	Raro	1	5	17		10

De acuerdo a la tabla 2.9. Índice de Riesgo se encuentra que: el Riesgo en el Nodo 5 entraría en *acceptable* y *acceptable con controles*.

**5.1.6. RESULTADOS DEL ESTUDIO HAZOP PARA EL NODO 6**

Los resultados obtenidos dentro del Nodo 6 considerados por el HAZOP, son los siguientes:

Dos con una consecuencia ligera y un riesgo de 1, doce con una consecuencia moderada y un riesgo de 2, cuatro con una consecuencia ligera y un riesgo de 3, tres con una consecuencia catastrófica y un riesgo de 4 y cinco con una consecuencia severa y un riesgo de 6. Dándose estos riesgos en el Reactor de película descendente 200-RPD-01A.

Índice de Frecuencia de Riesgo			Consecuencia			
			Ligero 1	Moderado 2	Severo 3	Catastrófico 4
<b>Frecuencia</b>	Frecuente	5				
	Probable	4				
	Posible	3				
	Eventual	2			5	
	Raro	1	2	12	4	3

De acuerdo a la tabla 2.9. Índice de Riesgo se encuentra que: el Riesgo en el Nodo 6 entraría en *acceptable* y *acceptable con controles*.

**5.1.7. RESULTADOS DEL ESTUDIO HAZOP PARA EL NODO 7**

Los resultados obtenidos dentro del Nodo 7 considerados por el HAZOP, son los siguientes:

Dos con una consecuencia ligera y un riesgo de 1, veinte con una consecuencia moderada y un riesgo de 2, cuatro con una consecuencia severa y un riesgo de 3, tres con una consecuencia catastrófica y un riesgo de 4, y ocho con una consecuencia severa y un riesgo de 6. Presentándose el mayor riesgo en el Reactor de película descendente 200-RPD-02B.

Índice de Frecuencia de Riesgo			Consecuencia			
			Ligero 1	Moderado 2	Severo 3	Catastrófico 4
<b>Frecuencia</b>	Frecuente	5				
	Probable	4				
	Posible	3				
	Eventual	2			8	
	Raro	1	2	20	4	3

De acuerdo a la tabla 2.9. Índice de Riesgo se encuentra que: el Riesgo en el Nodo 7 entraría en *acceptable* y *acceptable con controles*.

**5.1.8. RESULTADOS DEL ESTUDIO HAZOP PARA EL NODO 8**

Los resultados obtenidos dentro del Nodo 8 considerados por el HAZOP, son los siguientes:

Dos con una consecuencia ligera y un riesgo de 1, once con una consecuencia moderada y un riesgo de 2, tres con una consecuencia severa y un riesgo de 3, y cinco una con consecuencia severa y un riesgo de 6, Teniéndose el riesgo mayor de 6 en el Reactor de neutralización 200-RN-01A.

**TABLA 8. MATRIZ DE JERARQUIZACIÓN DE RIESGOS REALIZADA AL NODO 8.**

Índice de Frecuencia de Riesgo			Consecuencia			
			Ligero	Moderado	Severo	Catastrófico
			1	2	3	4
<b>Frecuencia</b>	Frecuente	5				
	Probable	4				
	Posible	3				
	Eventual	2			5	
	Raro	1	2	11	3	

De acuerdo a la tabla 2.9. Índice de Riesgo se encuentra que: el Riesgo en el Nodo 8 entraría en *aceptable* y *aceptable con controles*.

### 5.1.9. RESULTADOS DEL ESTUDIO HAZOP PARA EL NODO 9

Los resultados obtenidos dentro del Nodo 9 considerados por el HAZOP, son los siguientes:

Dos con una consecuencia ligera y un riesgo de 1, once con una consecuencia moderada y un riesgo de 2, tres con una consecuencia severa y un riesgo de 3 y cinco con una consecuencia severa y un riesgo de 6. Teniéndose el riesgo mayor de 6 en el Reactor de neutralización 200-RN-02 B.

**TABLA 9. MATRIZ DE JERARQUIZACIÓN DE RIESGOS REALIZADA AL NODO 9.**

Índice de Frecuencia de Riesgo			Consecuencia			
			Ligero	Moderado	Severo	Catastrófico
			1	2	3	4
<b>Frecuencia</b>	Frecuente	5				
	Probable	4				
	Posible	3				
	Eventual	2			5	
	Raro	1	2	11	3	

De acuerdo a la tabla 2.9. Índice de Riesgo se encuentra que: el Riesgo en el Nodo 9 entraría en *aceptable* y *aceptable con controles*.

## 5.2. RESULTADOS PARA EL ÁRBOL DE EVENTOS

### 5.2.1. RESULTADOS DEL ÁRBOL DE EVENTOS DEL TRAMO 1 NODO 3 DONDE FLUYE EL SO<sub>2</sub>

$$\text{Probabilidad de acontecimiento indeseado } \bar{A} \bar{B} CD = 1.8 \times 10^{-2}$$

$$\text{Probabilidad de acontecimiento indeseado } \bar{A} B D = 8.9 \times 10^{-3}$$

$$\text{Probabilidad descontrolada} = 1.60 \times 10^{-4}$$

Este evento de fuga tiene un valor de descontrol de  $1.60 \times 10^{-4}$ , por lo que le corresponde la categoría de 1 con respecto a la tabla 2.7. (Esto es, No esperado que ocurra).

### 5.2.2. RESULTADOS DEL ÁRBOL DE EVENTOS DEL TRAMO 2 NODO 3 DONDE FLUYE EL SO<sub>2</sub>

$$\text{Probabilidad de acontecimiento indeseado } \bar{A} \bar{B} CD = 1.82 \times 10^{-2}$$

$$\text{Probabilidad de acontecimiento indeseado } \bar{A} B D = 8.67 \times 10^{-3}$$

$$\text{Probabilidad descontrolada} = 1.57 \times 10^{-4}$$

Este evento de fuga tiene un valor de descontrol de  $1.57 \times 10^{-4}$ , por lo que le corresponde la categoría de 1 con respecto a la tabla 2.7. (Esto es, No esperado que ocurra).

**5.2.3. RESULTADOS DEL ÁRBOL DE EVENTOS DEL TRAMO 3 NODO 3 Y 4  
DONDE FLUYE EL SO<sub>2</sub>**

Probabilidad de acontecimiento indeseado  $\bar{A} \bar{B} CD = 1.87 \times 10^{-2}$

Probabilidad de acontecimiento indeseado  $\bar{A} B D = 8.92 \times 10^{-3}$

Probabilidad descontrolada =  $1.66 \times 10^{-4}$

Este evento de fuga tiene un valor de descontrol de  $1.66 \times 10^{-4}$ , por lo que le corresponde la categoría de 1 con respecto a la tabla 2.7. (Esto es, No esperado que ocurra).

**5.2.4. RESULTADOS DEL ÁRBOL DE EVENTOS DEL TRAMO 1 NODO 4 DONDE  
FLUYE EL SO<sub>3</sub>**

Probabilidad de acontecimiento indeseado  $\bar{A} \bar{B} CD = 2.08 \times 10^{-2}$

Probabilidad de acontecimiento indeseado  $\bar{A} B D = 9.94 \times 10^{-3}$

Probabilidad descontrolada =  $2.06 \times 10^{-4}$

Este evento de fuga tiene un valor de descontrol de  $2.06 \times 10^{-4}$ , por lo que le corresponde la categoría de 1 con respecto a la tabla 2.7. (Esto es, No esperado que ocurra).

**5.2.5. RESULTADOS DEL ÁRBOL DE EVENTOS DEL TRAMO 2 NODO 4 DONDE  
FLUYE EL SO<sub>3</sub>**

Probabilidad de acontecimiento indeseado  $\bar{A} \bar{B} CD = 1.23 \times 10^{-2}$

Probabilidad de acontecimiento indeseado  $\bar{A} B D = 5.86 \times 10^{-3}$

Probabilidad descontrolada =  $7.20 \times 10^{-5}$

Este evento de fuga tiene un valor de descontrol de  $7.20 \times 10^{-5}$ , por lo que le corresponde la categoría de 1 con respecto a la tabla 2.7. (Esto es, No esperado que ocurra).

**5.2.6. RESULTADOS DEL ÁRBOL DE EVENTOS DEL TRAMO 3 NODO 4 Y 5  
DONDE FLUYE EL SO<sub>3</sub>**

Probabilidad de acontecimiento indeseado  $\bar{A} \bar{B} CD = 2.24 \times 10^{-2}$

Probabilidad de acontecimiento indeseado  $\bar{A} B D = 1.07 \times 10^{-2}$

Probabilidad descontrolada =  $2.39 \times 10^{-4}$

Este evento de fuga tiene un valor de descontrol de  $2.39 \times 10^{-4}$ , por lo que le corresponde la categoría de 1 con respecto a la tabla 2.7. (Esto es, No esperado que ocurra).

**5.2.7. RESULTADOS DEL ÁRBOL DE EVENTOS DEL TRAMO 4 NODO 5 Y 6  
DONDE FLUYE EL SO<sub>3</sub>**

Probabilidad de acontecimiento indeseado  $\bar{A} \bar{B} CD = 2.24 \times 10^{-2}$

Probabilidad de acontecimiento indeseado  $\bar{A} B D = 1.07 \times 10^{-2}$

Probabilidad descontrolada =  $2.39 \times 10^{-4}$

Este evento de fuga tiene un valor de descontrol de  $2.39 \times 10^{-4}$ , por lo que le corresponde la categoría de 1 con respecto a la tabla 2.7. (Esto es, No esperado que ocurra).

**5.2.8. RESULTADOS DEL ÁRBOL DE EVENTOS DEL TRAMO 5 NODO 5 Y 7  
DONDE FLUYE EL SO<sub>3</sub>**

Probabilidad de acontecimiento indeseado  $\bar{A} \bar{B} CD = 2.24 \times 10^{-2}$

Probabilidad de acontecimiento indeseado  $\bar{A} B D = 1.07 \times 10^{-2}$

Probabilidad descontrolada =  $2.39 \times 10^{-4}$

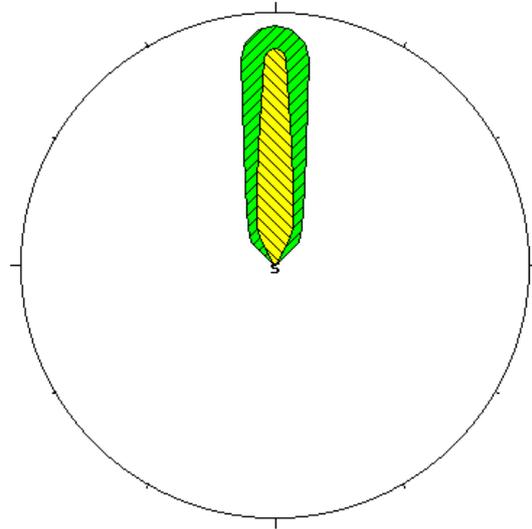
Este evento de fuga tiene un valor de descontrol de  $2.39 \times 10^{-4}$ , por lo que le corresponde la categoría de 1 con respecto a la tabla 2.7. (Esto es, No esperado que ocurra).

### 5.3. RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN DEL RIESGO

#### 5.3.1. RESULTADOS EN LAS TUBERÍAS DEL EVENTO DE FUGA EN UN ESTADO CONTINUO

#### DIÓXIDO DE AZUFRE

Tesis  
Species: Sulfur Dioxide



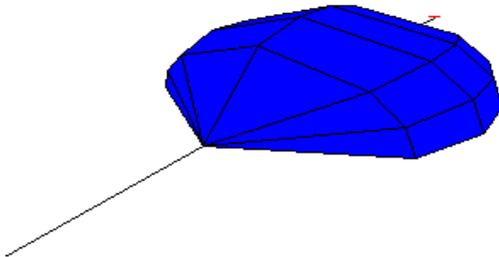
Integration  
Time: 00:05  
Height: 0 m  
Radius: 500 m  
Plot Scale 1:9361

Hatch Conc(ppm)	Max Dist
2	473 m
20	427 m
200	0 m

Hatch Conc( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Max Width
$5.24\text{e}+003$	132 m
$5.24\text{e}+004$	71 m
$5.24\text{e}+005$	0 m

Gráfico 1. Concentraciones y radios de afectación para el SO<sub>2</sub>

Tesis  
Species: Sulfur Dioxide



3D Plume  
Time: 00:05  
Con (ppm): 2  
Con ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ):  $5.24\text{e}+003$   
Observer Location  
X(E-W): 66 m  
Y(N-S): 293 m  
Z(Alt): 31 m  
Az : 12.68  
Dist : 300 m  
Observed Location  
X(E-W): 0 m  
Y(N-S): 407 m  
Z(Alt): 10 m  
Az : 360  
Dist : 407 m  
X(E-W) Min: -66 m  
X(E-W) Max: 66 m  
Y(N-S) Min: 341 m  
Y(N-S) Max: 473 m  
Z(Alt) Min: 0 m  
Z(Alt) Max: 21 m

Gráfico 2. Radio de afectación para el SO<sub>2</sub> en 3D

**Vertical Cross-section**  
**Tesis**  
**Species: Sulfur Dioxide**

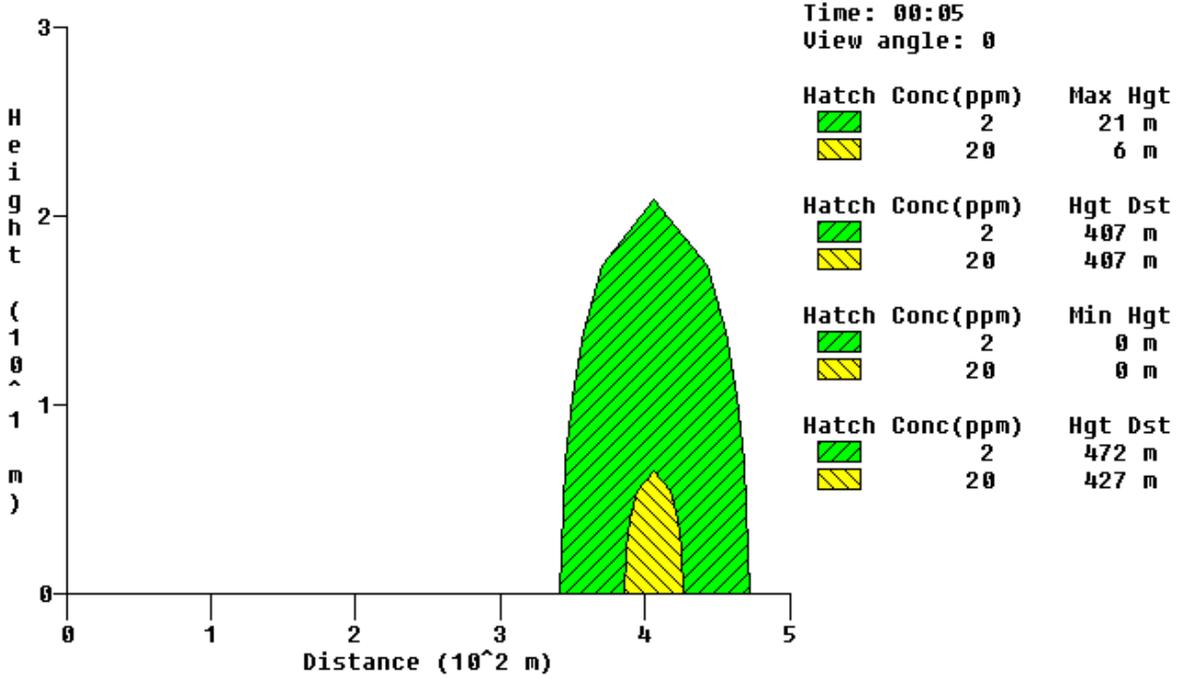


Gráfico 3. Corte transversal vertical para el SO<sub>2</sub>

**Tesis**  
**Species: Sulfur Dioxide**

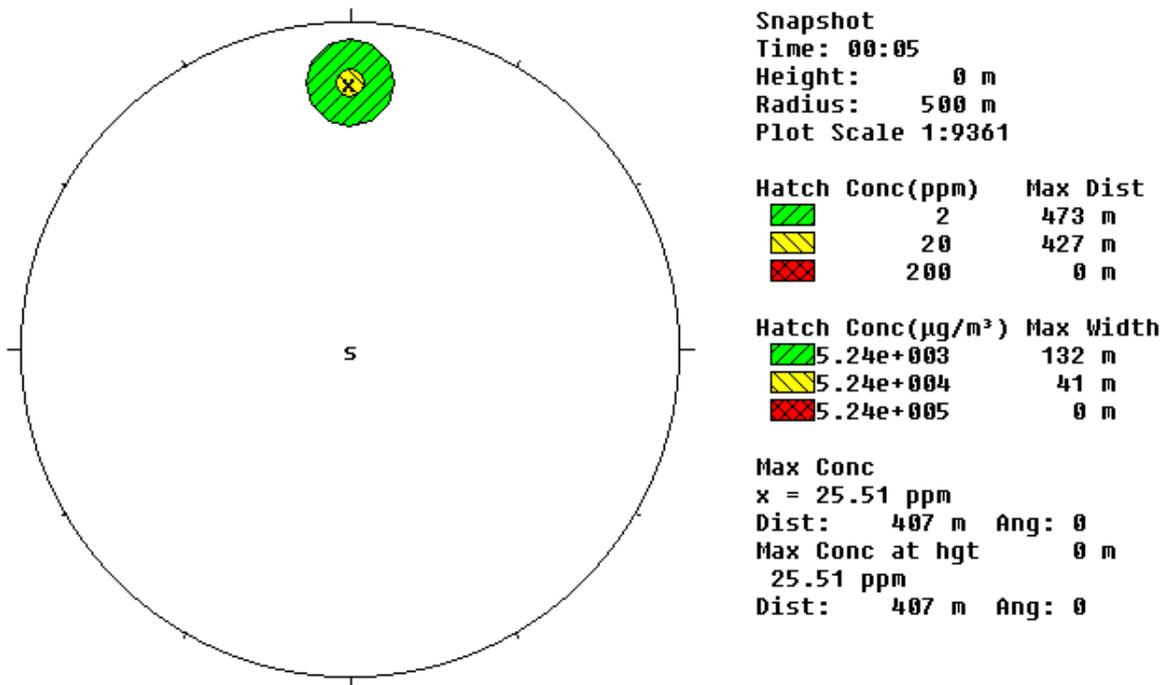
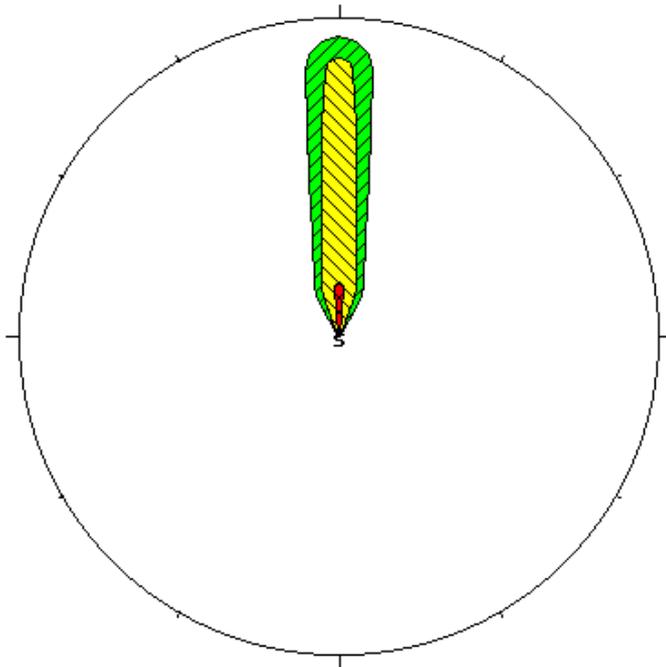


Gráfico 4. Vista de planta para el SO<sub>2</sub>

Tesis  
Species: Sulfur Dioxide



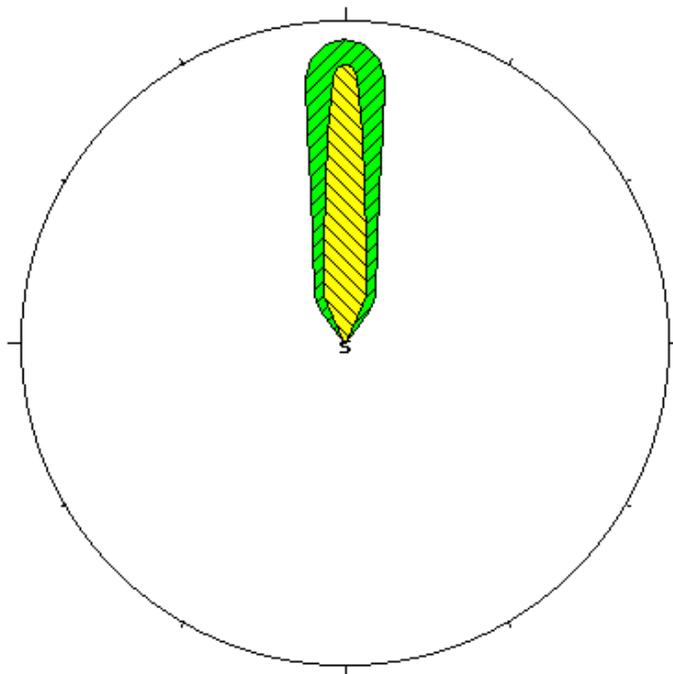
Integration  
Time: 00:05  
Height: 0 m  
Radius: 500 m  
Plot Scale 1:9361

Hatch	Conc(ppm)	Max Dist
Green	2	470 m
Yellow	20	437 m
Red	200	85 m

Hatch	Conc( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Max Width
Green	$5.24\text{e}+003$	107 m
Yellow	$5.24\text{e}+004$	56 m
Red	$5.24\text{e}+005$	16 m

Gráfico 5. Diferentes concentraciones para el SO<sub>2</sub>

Tesis  
Species: Sulfur Dioxide



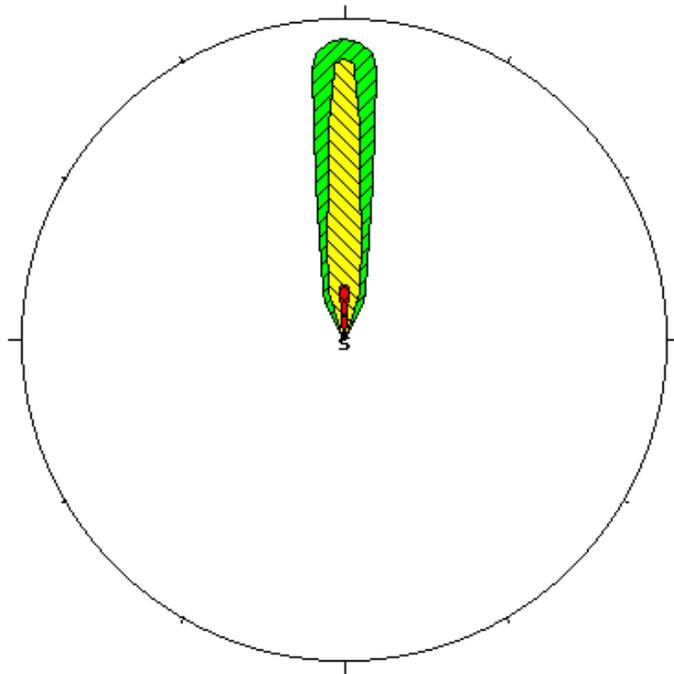
Integration  
Time: 00:05  
Height: 0 m  
Radius: 500 m  
Plot Scale 1:9361

Hatch	Conc(ppm)	Max Dist
Green	2	470 m
Yellow	20	430 m
Red	200	0 m

Hatch	Conc( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Max Width
Green	$5.24\text{e}+003$	119 m
Yellow	$5.24\text{e}+004$	63 m
Red	$5.24\text{e}+005$	0 m

Gráfico 6. Diferentes concentraciones para el SO<sub>2</sub>

Tesis  
Species: Sulfur Dioxide



Integration  
Time: 00:05  
Height: 0 m  
Radius: 500 m  
Plot Scale 1:9361

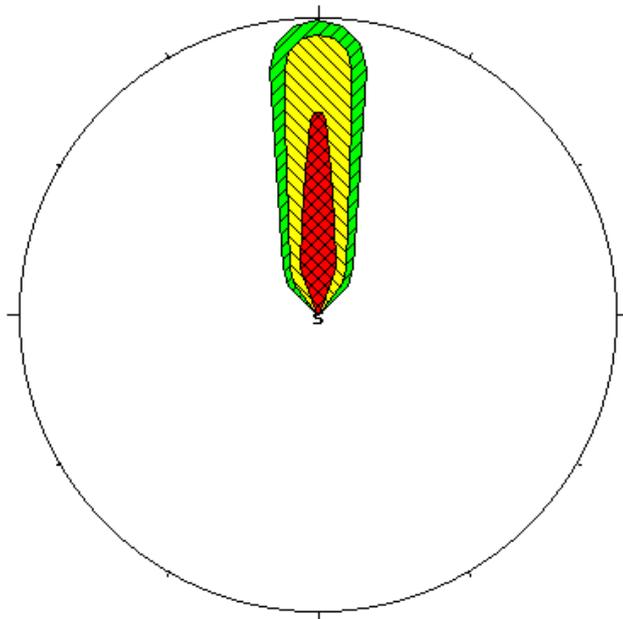
Hatch	Conc(ppm)	Max Dist
	2	468 m
	20	435 m
	200	85 m

Hatch	Conc( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Max Width
	$5.24\text{e}+003$	100 m
	$5.24\text{e}+004$	51 m
	$5.24\text{e}+005$	17 m

Gráfico 7. Diferentes concentraciones para el SO<sub>2</sub>

### TRIÓXIDO DE AZUFRE

Tesis  
Species: Sulfur Trioxide



Integration  
Time: 00:05  
Height: 0 m  
Radius: 500 m  
Plot Scale 1:9361

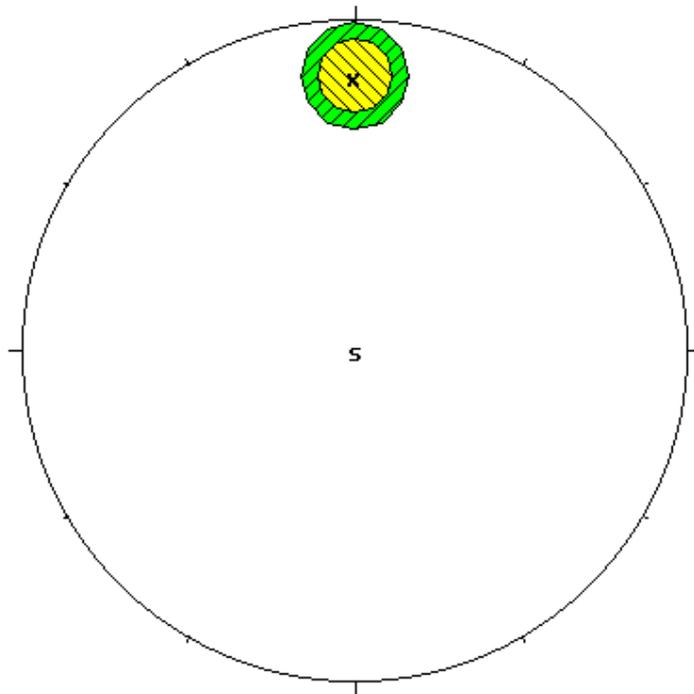
Hatch	Conc(ppm)	Max Dist
	0.25	497 m
	2.5	471 m
	25	341 m

Hatch	Conc( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Max Width
	818	164 m
	$8.18\text{e}+003$	113 m
	$8.18\text{e}+004$	58 m

Gráfico 8. Concentraciones y radios de afectación para el SO<sub>3</sub>

Tesis

Species: Sulfur Trioxide



Snapshot

Time: 00:05

Height: 0 m

Radius: 500 m

Plot Scale 1:9361

Hatch	Conc(ppm)	Max Dist
	0.25	497 m
	2.5	471 m
	25	0 m

Hatch	Conc( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Max Width
	818	164 m
	$8.18\text{e}+003$	113 m
	$8.18\text{e}+004$	0 m

Max Conc

x = 20.04 ppm

Dist: 415 m Ang: 0

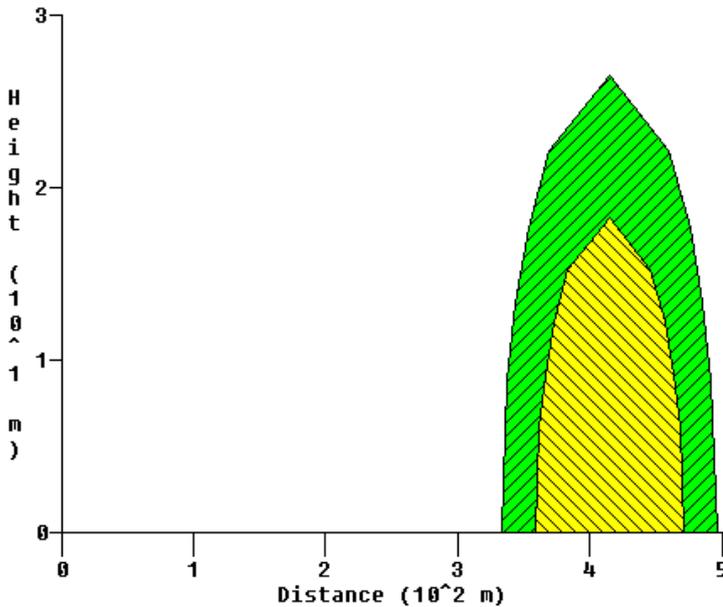
Max Conc at hgt 0 m

20.04 ppm

Dist: 415 m Ang: 0

Gráfico 9. Vista de planta para el SO<sub>3</sub>

Vertical Cross-section  
Tesis  
Species: Sulfur Trioxide



Time: 00:05

View angle: 0

Hatch	Conc(ppm)	Max Hgt
	0.25	26 m
	2.5	18 m

Hatch	Conc(ppm)	Hgt Dst
	0.25	415 m
	2.5	415 m

Hatch	Conc(ppm)	Min Hgt
	0.25	0 m
	2.5	0 m

Hatch	Conc(ppm)	Hgt Dst
	0.25	497 m
	2.5	471 m

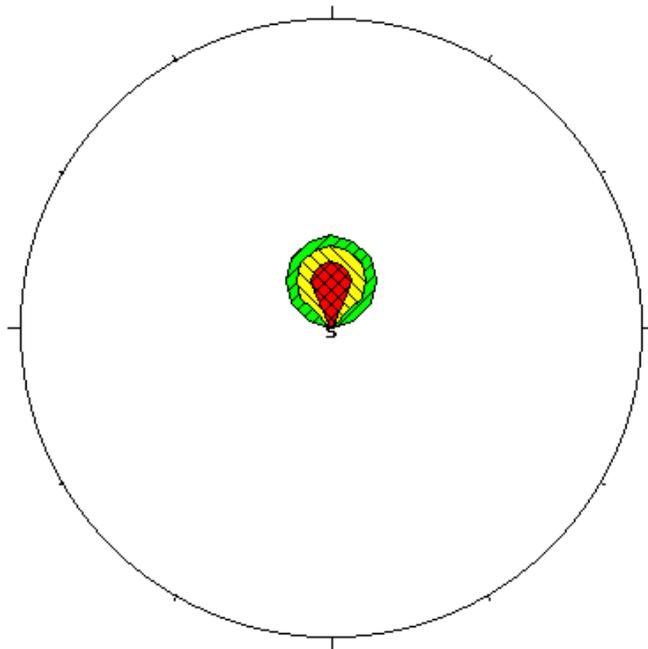
Gráfico 10. Corte transversal vertical para el SO<sub>3</sub>

**5.3.2. RESULTADOS EN LAS TUBERÍAS DEL EVENTO DE FUGA EN UN ESTADO INSTANTÁNEO**

**TRIÓXIDO DE AZUFRE**

TESIS

Species: Sulfur Trioxide



Integration  
Time: 00:01  
Height: 0 m  
Radius: 500 m  
Plot Scale 1:9361

Hatch	Conc(ppm)	Max Dist
Green diagonal	0.25	150 m
Yellow diagonal	2.5	133 m
Red cross-hatch	25	107 m

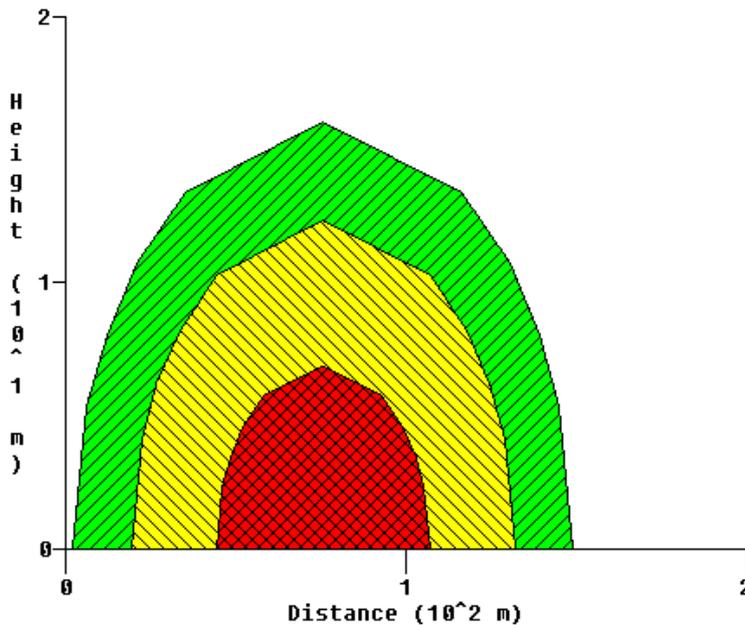
Hatch	Conc( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Max Width
Green diagonal	818	147 m
Yellow diagonal	8.18e+003	113 m
Red cross-hatch	8.18e+004	63 m

Gráfico 11. Vista de planta para el SO<sub>3</sub>, en 1 min de dispersión.

Vertical Cross-section

TESIS

Species: Sulfur Trioxide



Time: 00:01  
View angle: 0

Hatch	Conc(ppm)	Max Hgt
Green diagonal	0.25	16 m
Yellow diagonal	2.5	12 m
Red cross-hatch	25	7 m

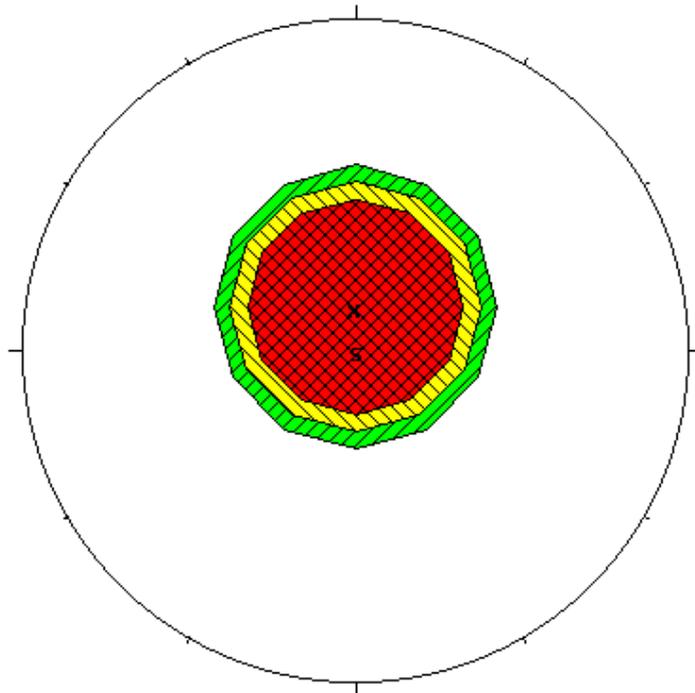
Hatch	Conc(ppm)	Hgt Dst
Green diagonal	0.25	76 m
Yellow diagonal	2.5	76 m
Red cross-hatch	25	76 m

Hatch	Conc(ppm)	Min Hgt
Green diagonal	0.25	0 m
Yellow diagonal	2.5	0 m
Red cross-hatch	25	0 m

Hatch	Conc(ppm)	Hgt Dst
Green diagonal	0.25	149 m
Yellow diagonal	2.5	132 m
Red cross-hatch	25	107 m

Gráfico 12. Vista de la sección transversal vertical para el SO<sub>3</sub>, en 1 min de dispersión.

TESIS  
Species: Sulfur Trioxide



Snapshot  
Time: 00:01  
Height: 0 m  
Radius: 500 m  
Plot Scale 1:9361

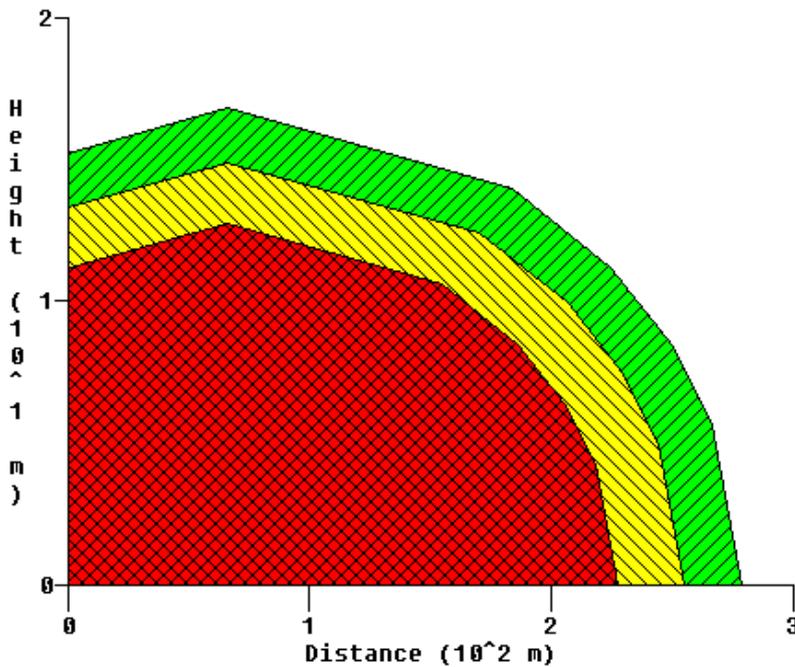
Hatch	Conc(ppm)	Max Dist
	0.25	279 m
	2.5	255 m
	25	227 m

Hatch	Conc( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Max Width
	818	426 m
	$8.18\text{e}+003$	378 m
	$8.18\text{e}+004$	322 m

Max Conc  
x =  $1.199\text{e}+004$  ppm  
Dist: 66 m Ang: 0  
Max Conc at hgt 0 m  
 $1.199\text{e}+004$  ppm  
Dist: 66 m Ang: 0

Gráfico 13. Vista de planta para el SO<sub>3</sub>, en 1 min de dispersión.

Vertical Cross-section  
TESIS  
Species: Sulfur Trioxide



Time: 00:01  
View angle: 0

Hatch	Conc(ppm)	Max Hgt
	0.25	17 m
	2.5	15 m
	25	13 m

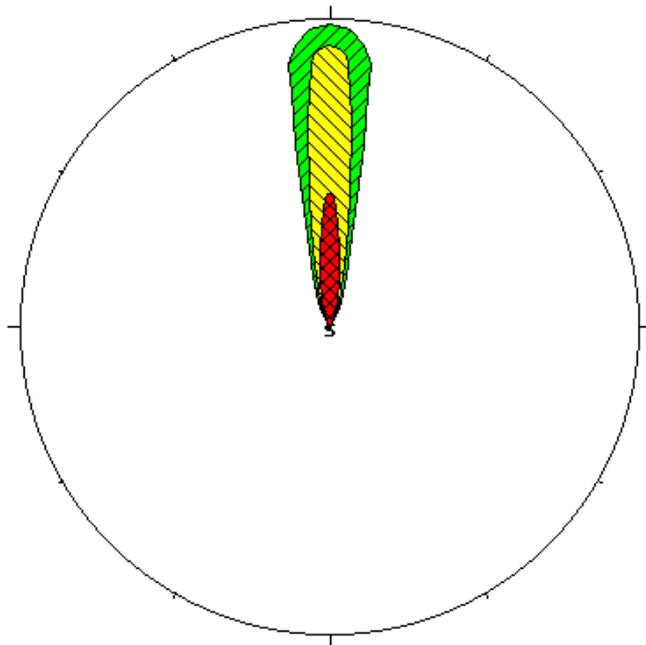
Hatch	Conc(ppm)	Hgt Dst
	0.25	66 m
	2.5	66 m
	25	66 m

Hatch	Conc(ppm)	Min Hgt
	0.25	0 m
	2.5	0 m
	25	0 m

Hatch	Conc(ppm)	Hgt Dst
	0.25	279 m
	2.5	255 m
	25	227 m

Gráfico 14. Vista de la sección transversal vertical para el SO<sub>3</sub>, en 1 min de dispersión.

Species: Sulfur Trioxide



Integration

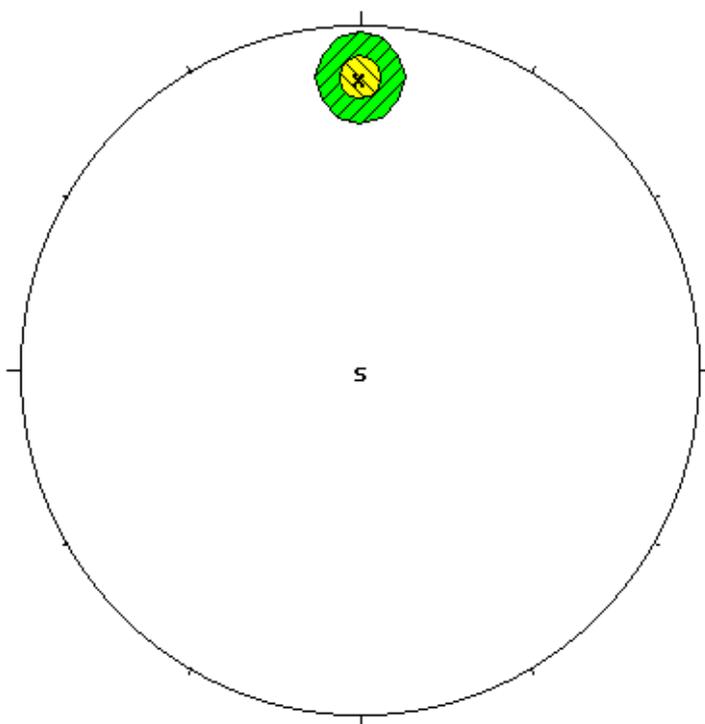
Time: 00:10  
 Height: 0 m  
 Radius: 3.50 km  
 Plot Scale 1:65525

Hatch	Conc(ppm)	Max Dist
Green	0.25	3.42 km
Yellow	2.5	3.18 km
Red	25	1.51 km

Hatch	Conc( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Max Width
Green	818	918 m
Yellow	$8.18 \times 10^3$	485 m
Red	$8.18 \times 10^4$	225 m

Gráfico 15. Concentraciones y radios de afectación para el SO<sub>3</sub>, a los 10 min de dispersión.

Species: Sulfur Trioxide



Snapshot

Time: 00:10  
 Height: 0 m  
 Radius: 3.50 km  
 Plot Scale 1:65525

Hatch	Conc(ppm)	Max Dist
Green	0.25	3.42 km
Yellow	2.5	3.18 km
Red	25	0 m

Hatch	Conc( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Max Width
Green	818	918 m
Yellow	$8.18 \times 10^3$	436 m
Red	$8.18 \times 10^4$	0 m

Max Conc

x = 4.893 ppm  
 Dist: 2.97 km Ang: 0  
 Max Conc at hgt 0 m  
 4.893 ppm  
 Dist: 2.97 km Ang: 0

Gráfico 16. Vista de planta para el SO<sub>3</sub>, a los 10 min de dispersión.

**Vertical Cross-section**

Species: Sulfur Trioxide

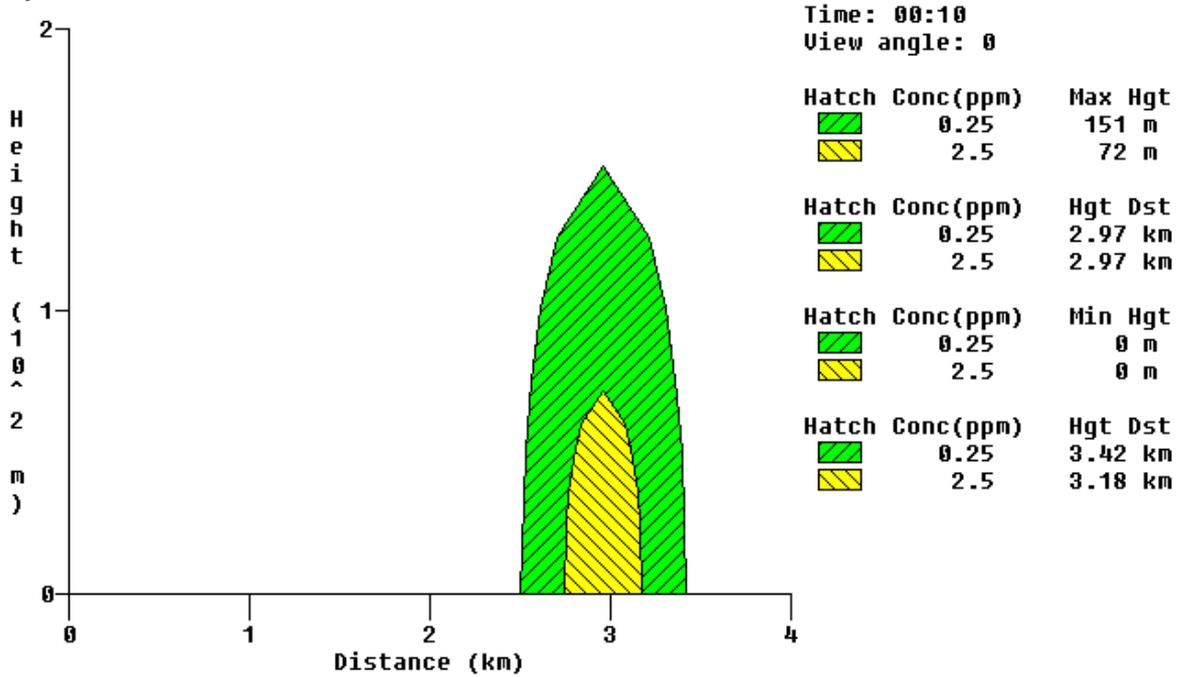


Gráfico 17. Corte transversal vertical para el SO<sub>3</sub>, a los 10 min de dispersión.

TESIS

Species: Sulfur Trioxide

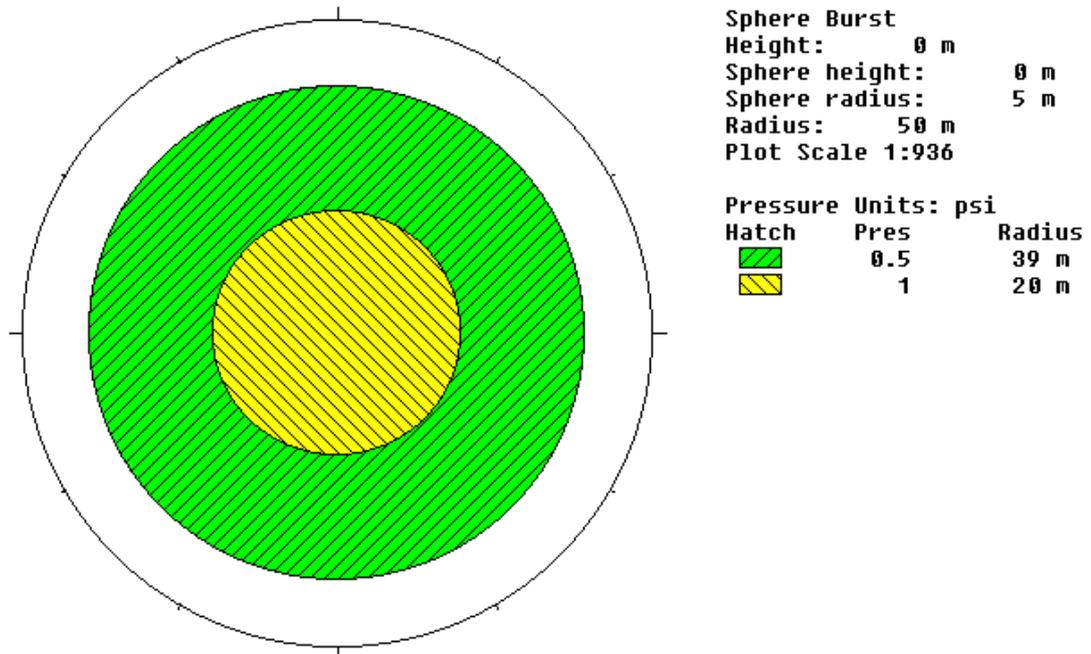


Gráfico 18. Vista de planta para el SO<sub>3</sub>, a los 10 min de dispersión.

**Vertical Sphere Burst Overpressure**  
**TESIS**  
**Species: Sulfur Trioxide**

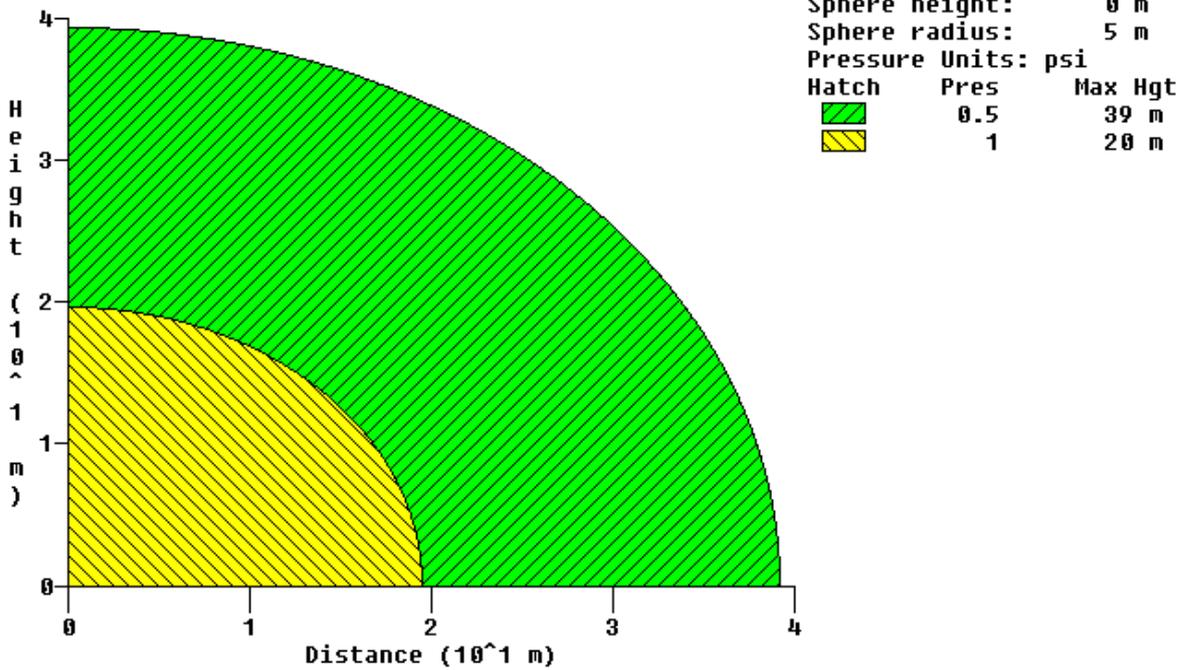


Gráfico 19. Esfera de estallido vertical por sobrepresión para el SO<sub>3</sub>, a los 10 min de dispersión.

**5.3.3. TABLAS DE RESULTADOS EN LAS TUBERÍAS DEL EVENTO DE FUGA PARA UN ESTADO CONTINUO**

Título	Gráfico 1 Concentraciones y radios de afectación para el SO <sub>2</sub>		
Sustancia	Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> ) gaseoso		
EVENTO 1	Fuga continua		
Tiempo	00.05		
Radio	500 m		
Concentraciones ppm	2	20	200
Distancias máximas (m)	473	427	0

Título	Gráfico 5 Diferentes concentraciones para el SO <sub>2</sub> .		
Sustancia	Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> ) gaseoso		
EVENTO 1	Fuga continua		
Tiempo	00.05		
Radio	500 m		
Concentraciones ppm	2	20	200
Distancias máximas (m)	470	437	85

Título	Gráfico 6 Diferentes concentraciones para el SO <sub>2</sub> .		
Sustancia	Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> ) gaseoso		
EVENTO 1	Fuga continua		
Tiempo	00.05		
Radio	500 m		
Concentraciones ppm	2	20	200
Distancias máximas (m)	470	430	0

Título	Grafico 11 Vista de planta para el SO <sub>3</sub> , en 1 min de dispersión		
Sustancia	Trióxido de azufre (SO <sub>3</sub> ) gaseoso		
EVENTO 2	Fuga instantánea		
Tiempo	00.01		
Radio	500 m		
Concentraciones ppm	0.25	2.5	25
Distancias máximas (m)	150	133	107

Título	Grafico 15 Concentraciones y radios de afectación para el SO <sub>3</sub> , a los 10 min de dispersión		
Sustancia	Trióxido de azufre (SO <sub>3</sub> ) gaseoso		
EVENTO 2	Fuga instantánea		
Tiempo	00.10		
Radio	3.50 km		
Concentraciones ppm	0.25	2.5	25
Distancias máximas (km)	3.42	3.18	1.51

#### 5.3.4. TABLAS DE RESULTADOS EN LAS TUBERÍAS DEL EVENTO DE FUGA PARA UN ESTADO INSTANTÁNEO

Título	Grafico 7 Diferentes concentraciones para el SO <sub>2</sub> .		
Sustancia	Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> ) gaseoso		
EVENTO 1	Fuga continua		
Tiempo	00.05		
Radio	500 m		
Concentraciones ppm	2	20	200
Distancias máximas (m)	468	435	85

Título	Grafico 8 Concentraciones y radios de afectación para el SO <sub>3</sub>		
Sustancia	Trióxido de azufre (SO <sub>3</sub> ) gaseoso		
EVENTO 1	Fuga continua		
Tiempo	00.05		
Radio	500 m		
Concentraciones ppm	0.25	2.5	25
Distancias máximas (m)	497	471	341

TRIÓXIDO DE AZUFRE (SO <sub>3</sub> ) GASEOSO					
Time	00.10	Height	0 m	Minimum distance	0 m
Time (min)	X	Y	Distance	Conc. (ppm)	Conc. (µg/m <sup>3</sup> )
1	0 m	275 m	275 m	3.63e+003	1.19e+007
2	0 m	574 m	574 m	328	1.07e+006
3	0 m	873 m	873 m	104	3.42e+005
4	0 m	1.17 km	1.17 km	47.6	1.56e+005
5	0 m	1.47 km	1.47 km	27.2	8.9e+004
6	0 m	1.77 km	1.77 km	17.3	5.65e+004
7	0 m	2.07 km	2.07 km	11.8	3.86e+004
8	0 m	2.37 km	2.37 km	8.48	2.77e+004
9	0 m	2.67 km	2.67 km	6.34	2.08e+004
10	0 m	2.97 km	2.97 km	4.89	1.6e+004

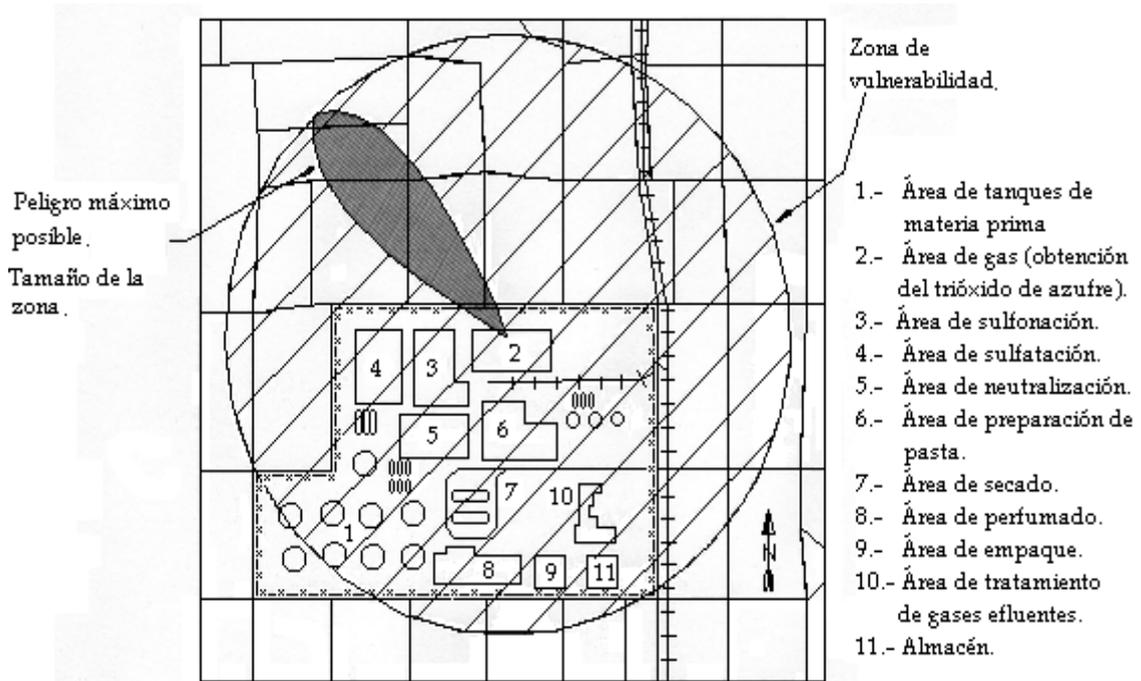


Gráfico 20. Ejemplo de la marca del riesgo y la zona vulnerabilidad.

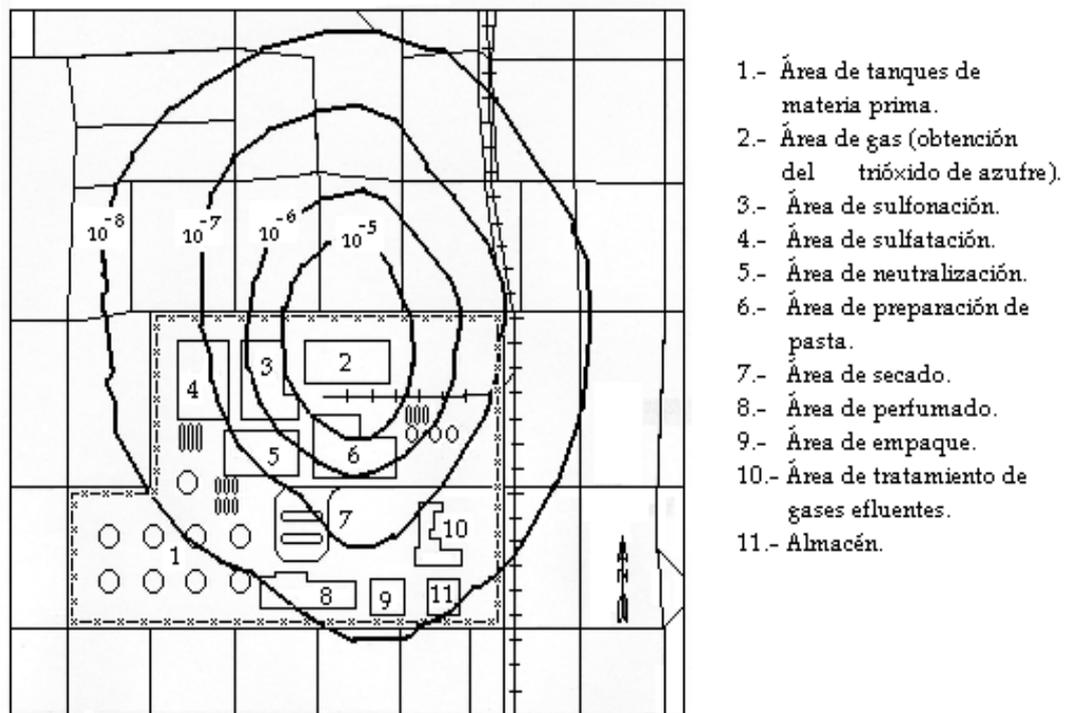


Gráfico 21. Ejemplo de los perímetros de riesgo.

# CONCLUSIONES

Al término del presente proyecto se llegó a las siguientes conclusiones:

1. Mediante el estudio Hazop se detectó que la planta tiene un 75% de aceptabilidad y un 25% de aceptabilidad con controles. Los puntos vulnerables localizados son los siguientes:
  - a. Tanque de almacenamiento 100-TA-01.
  - b. Enfriador con serpentín 100-ECS-01A.
  - c. Quemador de azufre tipo atomizador 100-Q-01.
  - d. Torre catalítica 100-TC-01.
  - e. Columna de Absorción 100-CAB-01.
  - f. Reactor de película descendente 200-RPD-01A.
  - g. Reactor de película descendente 200-RPD-02B.
  - h. Reactor de neutralización 200-RN-01-A.
  - i. Reactor de neutralización 200-RN-02-B.

Este proceso tiene riesgo aceptable con controles, sin embargo se debe revisar que funcionen correctamente además de darles mantenimiento preventivo y programado a los equipos y en su caso modificar los procedimientos de control del proceso.

2. Mediante el análisis de árboles de fallos se detectó que la planta tiene una probabilidad de 88% de que se presente una posible fuga.
3. Mediante el análisis de árboles de fallos se encontró que efectivamente existe riesgo de que ocurra una fuga, sin embargo, si se sigue el control y el aislamiento de forma inmediata, que plantea el árbol de eventos, el riesgo se disminuye hasta en un 99 %.
4. Mediante la simulación de un evento de fuga de gas se muestra que el  $\text{SO}_3$  es explosivo en un estado de fuga instantánea en condiciones de operación determinadas (ver capítulo IV).

En general es un proceso que sí puede llegar a tener problemas de riesgo en un lapso de tiempo de 10 a 32 años y teniendo pérdidas económicas de producción entre \$ 10,000 a \$ 100,000 USD, sin contar con los datos proporcionados por el simulador en la explosión del  $\text{SO}_3$  donde afectaría seriamente a otras zonas aledañas a la empresa por lo que los costos ascenderían a más de \$1,000,000 USD.

# RECOMENDACIONES

## RECOMENDACIONES

Para mejorar la seguridad en la planta objeto de estudio se recomienda lo siguiente:

Desarrollar un plan de prevención de la liberación de  $\text{SO}_2$  y  $\text{SO}_3$ , que el control debe mantenerse dentro del diseño de la planta (física), sistemas de protección, de funcionamiento, prácticas de mantenimiento preventivo y programado.

Asegurarse de que todas las piezas de remplazo ó los nuevos equipos están hechos de materiales que sean compatibles con los productos químicos involucrados en el proceso.

Los empleados deben ser entrenados en los procedimientos apropiados para el manejo de  $\text{SO}_2$  y  $\text{SO}_3$ , en los peligros potenciales, la limpieza y los procedimientos de emergencia.

Solucionar el problema de raíz mediante el diseño.

Reducir el riesgo, substituyéndolo por un proceso y/o actividad menos peligrosa.

Aislar mediante controles efectivos, tales como la contención del peligro, el traslado del trabajador lejos del peligro ó la reducción del tiempo de exposición del trabajador al peligro. Plantear el distanciamiento entre equipos ó instalaciones.

Instalar dispositivos protectores, tales como dispositivos de seguridad, paradas de emergencia e interruptores de desactivación, etc.

Imponer permisos para trabajar, reglas y procedimientos especiales para controlar el peligro estrictamente.

Implementar una supervisión adecuada, apoyada por la formación, instrucción e información relevantes.

Suministrar equipos de protección personal, como primer recurso, en apoyo de las medidas de control arriba indicadas.

Todas las acciones orientadas a reducir los riesgos deberán estar claramente especificadas y asignadas a una persona responsable para su implementación. Otro aspecto que ayudaría a evitar los accidentes sería la implementación de un Programa para la Prevención de Accidentes (PPA).

La ubicación y el diseño de la instalación del área donde se produce el  $\text{SO}_2$  y  $\text{SO}_3$  dentro del proceso del detergente biodegradable, debe tener en cuenta otros procesos en el área, la proximidad de los centros de población, los vientos predominantes, el terreno local, y los posibles efectos naturales externos, tales como las inundaciones etc. Las instalaciones y equipo de uso individual deben estar situados con el fin de reducir la exposición del personal y de la comunidad en el caso de una liberación. Hay que tener definidas las rutas de evacuación y el acceso a los equipos de emergencia y ubicación ya que son importantes consideraciones de diseño.

# BIBLIOGRAFÍA

- ◆ “ACCIDENTES QUIMICOS: ASPECTOS RELATIVOS A LA SALUD GUÍA PARA LA PREPARACIÓN Y RESPUESTA”, Oficina Regional de la Organización Mundial de la Salud. Editado por Organización Panamericana de la Salud, 1998.
- ◆ “ADMINISTRACIÓN DE LOS RECURSOS HUMANOS 2001” Eduardo Alfredo Ferraro, Editado por Valletta Ediciones SRL, 2001, 1ra ed, Argentina.
- ◆ “ANÁLISIS DEL RIESGO EN INSTALACIONES INDUSTRIALES” Joaquim Casal-Helena Montiel-Eulàlia Planas. Editado por Universidad Politècnica de Catalunya, 1999, 1ra ed. España.
- ◆ “DIAGNÓSTICO DE PELIGROS E IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS DE DESASTRES EN MÉXICO” Atlas Nacional de Riesgos de la República Mexicana, CENAPRED, Secretaria De Gobernación. 2001. 1ra ed. México.
- ◆ “ENCICLOPEDIA DE TECNOLOGÍA QUÍMICA”, Kirk-Othmer, Editado por Limusa Noriega editores, 1998. 1ra ed. E.U.A.
- ◆ “EVALUACIÓN AMBIENTAL ESTRATÉGICA”, Juan J Oñate, David Pereira, Francisco Suárez. Editado por Mundi-Prensa Libros S.A.; 2002. España.
- ◆ “FIABILIDAD Y SEGURIDAD SU APLICACIÓN EN PROCESOS INDUSTRIALES” Antonio Creus Solé. Editado por Marcombo ediciones técnicas 2005. 2da ed. España.
- ◆ “GUÍA BÁSICA PARA LA ELABORACIÓN DE ATLAS ESTATALES Y MUNICIPALES DE PELIGROS Y RIESGOS” Fenómenos químicos, CENAPRED, Sistema Nacional De Protección Civil. 2006. 1ra ed. México.
- ◆ “GUÍA DE RESPUESTA EN CASO DE EMERGENCIA 2008”. Secretaría de Comunicaciones y transportes.
- ◆ “GUÍA PARA EL DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LOS PLANES DE EMERGENCIA EMPRESARIALES, ANÁLISIS Y GESTIÓN DEL RIESGO”, Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. Fondo de Prevención Atención de Emergencias.
- ◆ “GUÍA PRÁCTICA SOBRE RIESGOS QUÍMICOS” Sistema Nacional De Protección Civil, Centro Nacional De Prevención De Desastres, 2006. México.
- ◆ “GUIDELINES FOR HAZARD EVALUATION PROCEDURES”, Center for Chemical Process Safety, edition American Institute of Chemical Engineer. 1992.
- ◆ “HANDBOOK OF COMPRESSED GASES” Compressed gas association, Ing, fourth edition edits Boston (E.U.A.) Kluwer Academic Publishers, 2003.
- ◆ “HANDBOOK OF LEAK, SPILL AND ACCIDENTAL RELEASE PREVENTION TECHNIQUES” Robert Noyes Publications 1992, E.U.A.
- ◆ “HANDBOOK OF SULFHURIC ACID MANUFACTURING” Douglas K. Louie, P. Eng. Edited by DKL Engineering, Inc., 2005. 2da Ed.
- ◆ “HAZOP AND HAZAN IDENTIFYING AND ASSESSING PROCESS INDUSTRY HAZARDS”. Trevor A Kletz; Published by Institution Of Chemical Engineers. 1992. 3ra ed. E.U.A.
- ◆ “INSTALACIONES NEUMÁTICAS” Salvador de las Heras Jiménez. Editada por. UOC, 2003. Barcelona España.
- ◆ “INTRODUCCIÓN A LA NEUMÁTICA, VOL 11.” Antonio Guillén Salvador Editado por Marcombo, S.A. 1ra ed. 1988. Barcelona, España.

- ◆ “INTRODUCCIÓN A LA QUÍMICA AMBIENTAL” Stanley E. Manahan Editado por Reverté. 2007. 1ra ed.
- ◆ “LOSS PREVENTION IN THE PROCESS INDUSTRIES HAZARD IDENTIFICATION, ASSESSMENT AND CONTROL”, Frank P. Lees. Edited by Sam Mannam, 2005, third edition. E.U.A.
- ◆ “MANUAL DE PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN INDUSTRIAL”, Harry M. Freeman, Editado por Mc Graw Hill, 1998.
- ◆ “MANUAL DE PROCESOS QUÍMICOS EN LA INDUSTRIA”, George T. Austin, Editado por McGraw-Hill. 1995. 5ta ed. E.U.A.
- ◆ “MANUAL DEL INGENIERO QUÍMICO”. Robert H. Perry, Don Green. Editado por McGraw-Hill, 1984. 6ta ed.
- ◆ “MANUAL OF INDUSTRIAL HAZARD ASSESSMENT TECHNIQUES”. The World Bank Office of Environmental and Scientific Affairs. Version 1.0 Octubre de 1985.
- ◆ NOM-EM-001-SECRE-2002.
- ◆ “PIPING HANDBOOK”, Reno C. King, B.ME; MME, P.E. Editado por Mc Graw Hill Book Company, 1973. E.U.A.
- ◆ “PREVENCIÓN Y RESPUESTA, BLEVE”, Centro de Información Química para Emergencias. Buenos Aires, Argentina.
- ◆ “PROMOCIÓN DE LA PREVENCIÓN DE ACCIDENTES QUÍMICOS” INE, 1999. 1ra ed. México.
- ◆ “QUÍMICA ORGÁNICA” Robert Thornton Morrison, Robert Neilson Boyd. Edited by. Pearson Educación de México. 5ta edición.
- ◆ “QUÍMICA ORGÁNICA” Norman L. Allinger, Michael P. Cava, Don C. De Jongh, Editado por Reverté, S.A. 1993. 2da ed.
- ◆ “QUÍMICA Y REACTIVIDAD QUÍMICA” Jhon C. Kotz, Paul M. Treichel, Weaver. Edited by Cengage Learning Editores 2005. 6ta ed. México.
- ◆ “RIESGO AMBIENTAL (POR ACCIDENTES TECNOLÓGICOS GRAVES)” Ing. Martiniano Aguilar Rodriguez. Editado por. Hulton Deutsh Collection.
- ◆ “SULPHONATION TECHNOLOGY IN THE DETERGENT INDUSTRY”, W. Herman de Groot. Edited by Kluwer Academic Publishers, 1991. The Netherlands.
- ◆ “SULPHUR TRIOXIDE, OLEUM AND SULPHURIC ACID MIST” Richard Griffiths. Edited by Icheme, 1996.
- ◆ “TÉCNICAS DE PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO”. José María Cortés Díaz, Editado por Tébar, S.L. 2007. 9na ed. España.
- ◆ “TRATAMIENTO DE LA FALLAS DEPENDIENTES Y LAS ACCIONES HUMANAS EN LOS ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD Y RIESGO DE LA INDUSTRIA CONVENCIONAL”, Genaro Mosquera (Coordinador), Manuel Perdomo, Rubén Ferro. Universidad Central de Venezuela, Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico, Instituto Superior de Ciencias y Tecnologías Nucleares, La Habana, Cuba. Venezuela Caracas, 2001.

# GLOSARIO

**ABL.** Alquil benceno lineal.

**ABSL.** Alquilbenceno sulfónico lineal.

**Actividades altamente riesgosas.** Aquella acción, proceso u operación de fabricación industrial, distribución y ventas, en que se encuentren presentes una ó más sustancias peligrosas, en cantidades iguales ó mayores a su cantidad de reporte.

**AL.** Alcohol laúrico.

**Anfifílica.** Son moléculas que poseen un extremo hidrofílico ó sea que es soluble en agua y otro hidrófobo ó sea que rechaza el agua.

**Antropogénico.** Se refiere a los efectos, procesos ó materiales que son el resultado de actividades humanas.

**AR.** Análisis de riesgos.

**BLEVE.** Explosión de líquido hirviendo en expansión vaporosa.

**BOIL OVER.** Rebosamiento por ebullición.

**CAS.** Chemical Abstracts Society.

**Catalizador.** Es una sustancia que acelera ó retarda la velocidad de una reacción química. Sin que ella misma sea consumida ó sufra un cambio químico.

**CENAPRED.** Centro Nacional de Prevención de Desastres.

**CHARM.** Chemical Hazardous Air Release Model.

**CMC.** Carboximetilcelulosa.

**COATEA.** Centro de Orientación para la Atención de Emergencias Ambientales.

**DESCINCIFICACIÓN.** La descincificación es un proceso que tiene lugar en las aleaciones de bronce, por el cual se pierde selectivamente el zinc de la aleación dejando tras de sí poros, en zonas ricas en cobre, que presentan poca resistencia mecánica. De manera que una pieza en servicio en una línea de agua, que esté sufriendo la descincificación presentará muestras de un polvo blanquecino ó incluso depósitos minerales en su superficie exterior. En el caso concreto de válvulas el elemento suele presentar fugas de agua y fallos de estanqueidad.

**Detersivo.** Se dice de lo que tiene virtud de limpiar.

**EPA.** Agencia de Protección Ambiental de los E.U.A.

**Exposición aguda.** Contacto con una sustancia que ocurre una sola vez ó durante un período de tiempo corto (hasta 14 días en el caso de los seres humanos).

**FROTH OVER.** Rebosamiento espumoso.

**FT.** Fault tree. (Árbol de fallos).

**FUGA.** Se presenta cuando hay un cambio de presión debido a rupturas en el recipiente que contenga el material ó en la tubería que lo conduzca, se emplea este término para el escape de gases.

---

**FUGA CONTINUA O SEMICONTINUA.** Pérdida de contenido de magnitud y duración limitadas.

**FUGA INSTANTÁNEA.** Colapso del recipiente por vertido muy rápido de su contenido.

**GLP.** Gas licuado a presión.

**HAZOP.** Análisis de riesgo y operabilidad.

**ICI.** Imperial Chemical Industries.

**IDLH.** Inmediatamente Peligroso para la vida y la salud.

**INE.** Instituto Nacional de Ecología.

**Intrínseca.** Que es propio ó característico de una cosa por sí misma y no por causas exteriores.

**LAS ó ASL.** Sulfonato de alquilbenceno líneal.

**MAPFRE.** Es una empresa de seguros de nacionalidad española, controlada por una fundación homónima (Fundación MAPFRE). Es la primera empresa de seguros en España y una de las más importantes en Iberoamérica.

**Modelo.** Un modelo es una representación de una teoría que puede ser usada par predicción, control etc.

**Modelo determinístico.** Se conoce de manera puntual la forma del resultado ya que no hay incertidumbres. Además los datos utilizados para alimentar el modelo son completamente conocidos y determinados.

**Modelos dinámicos.** Es una representación de cómo evoluciona el sistema a través del tiempo.

**Modelos estáticos.** Es una representación de un sistema en determinado punto en el tiempo.

**Modelo estocástico.** Probabilístico que no se conoce el resultado esperado si no su probabilidad y existe por lo tanto incertidumbre.

**NFPAs.** National Fire Protection Association (Salud).

**NFPA<sub>I</sub>.** National Fire Protection Association (Insendio).

**NFPA<sub>IR</sub>.** National Fire Protection Association (Radioactividad).

**NOM.** Norma Oficial Mexicana.

**Proceso.** El conjunto de actividades físicas ó químicas relativas a la producción, obtención, acondicionamiento, envasado, manejo, y embalado de productos intermedios ó finales.

**Proceso industrial.** Se refiere a la serie de pasos que recorre un producto, es decir, donde se inicia desde la adquisición de la materia prima hasta lograr el producto final.

**Residuo peligroso.** Todos aquellos residuos, en cualquier estado físico, que por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables ó biológico infecconas representan un peligro para el equilibrio ecológico ó el ambiente.

**SAB ó ABS.** Sulfonato de alquilbenceno.

**SCFM.** ft<sup>3</sup> por minuto estándar.

**SLOP OVER.** Rebosamiento superficial.

**SSA.** Secretaría de Salud.

**STPS.** Secretaría del Trabajo y Prevención Social.

**TDI.** Disocianato de tolueno.

**Temperatura de ignición.** Temperatura mínima para que una sustancia arda y se mantenga así sin necesidad de añadir calor exterior.

# ANEXOS

ANÁLISIS DEL TRAMO 1 LOCALIZACIÓN NODO 3 DEL SO<sub>2</sub>

## CONDICIONES DE OPERACIÓN

COMPONENTE	Flujo M.lb/hr	%
N <sub>2</sub>	18.0	70.39
O <sub>2</sub>	3.34	13.06
SO <sub>2</sub>	4.23	16.54

$\Delta P$  psig = 13.8

$\mu$  cp = 0.03

$\phi$  lb/ft<sup>3</sup> = 0.09

$\varnothing$  = 6 in

T ° K = 1007.03

Longitud = 91.98 m ó 301.8 ft

SCFM(ft<sup>3</sup>/min) = 5239

Material de la tubería: 18-8 Cr-Ni-Mo ó Acero al carbón<sup>28</sup>

Válvulas de diafragma de teflón o 18-8 Cr-Ni-Mo

LISTADO DE VÁLVULAS Y SOPLADORES PARA EL TRAMO 1 POR DONDE FLUYE EL SO<sub>2</sub>(g)

VD 72	Válvula de diafragma a la salida del quemador de azufre 100-Q-01 para SO <sub>2</sub> (g)
VD 73	Válvula de diafragma de relevo a la salida del quemador de azufre 100-Q-01 para SO <sub>2</sub> (g)
VD 74	Válvula de diafragma de salida del soplador de relevo 100-S-08B para SO <sub>2</sub> (g)
VD 75	Válvula de diafragma de SO <sub>2</sub> (g)
VC 76	Válvula de control para SO <sub>2</sub> (g)
VD 77	Válvula de diafragma de SO <sub>2</sub> (g)
VD 78	Válvula de diafragma de relevo de SO <sub>2</sub> (g)
100-S-07A	SOPLADOR DE SO <sub>2</sub>
100-S-08B	SOPLADOR DE RELEVO PARA SO <sub>2</sub>

Compresora centrífuga de un solo paso hierro fundido, acero fundido o acero fabricado, accionada por motor eléctrico o por turbinas de vapor.

<sup>28</sup>De tuberías de la norma ASTM para las piezas forjadas de acero al carbono para aplicaciones de tuberías. "A 105 / A 105M-01" Fuente: PIPING HANDBOOK. ", Reno C. King, B.ME; MME, P.E. Editado por Mc Graw Hill Book Company, 1973. E.U.A.

ANÁLISIS DEL TRAMO 2 LOCALIZACIÓN NODO 3 DEL SO<sub>2</sub>

## CONDICIONES DE OPERACIÓN

COMPONENTE	Flujo M.lb/hr	%
N <sub>2</sub>	18.0	70.39
O <sub>2</sub>	3.34	13.06
SO <sub>2</sub>	4.23	16.54

$\Delta P$  psig = 13.8

$\mu$  cp = 0.03

$\rho$  lb/ft<sup>3</sup> = 0.09

$\varnothing$  = 6 in

T ° K = 1007.03

Longitud = 91.98 m ó 301.8 ft

SCFM(ft<sup>3</sup>/min) = 5239

Material de la tubería: 18-8 Cr-Ni-Mo ó Acero al carbón<sup>29</sup>

Válvulas de diafragma de teflón o 18-8 Cr-Ni-Mo

LISTADO DE VÁLVULAS Y SOPLADORES PARA EL TRAMO 1 POR DONDE FLUYE EL SO<sub>2</sub>(g)

VD 80	Válvula de diafragma a la salida del filtro 100-F-01A para SO <sub>2</sub> (g)
VC 79	Válvula de diafragma de relevo a la salida del filtro 100-F-01A para SO <sub>2</sub> (g)
VD 82	Válvula de diafragma de salida del filtro 100-F-02B para SO <sub>2</sub> (g)
VD 81	Válvula de diafragma de SO <sub>2</sub> (g) de relevo a la salida del filtro 100-F-02B para SO <sub>2</sub> (g)
VD 87	Válvula de diafragma para SO <sub>2</sub> (g) a la entrada del intercambiador 100-EA-02B

Compresora centrífuga de un solo paso hierro fundido, acero fundido o acero fabricado, accionada por motor eléctrico o por turbinas de vapor.

<sup>29</sup>De tuberías de la norma ASTM para las piezas forjadas de acero al carbono para aplicaciones de tuberías. "A 105 / A 105M-01" Fuente: PIPING HANDBOOK. ", Reno C. King, B.ME; MME, P.E. Editado por Mc Graw Hill Book Company, 1973. E.U.A.

ANÁLISIS DEL TRAMO 3 LOCALIZACIÓN NODO 3 Y 4 DEL SO<sub>2</sub>

## CONDICIONES DE OPERACIÓN

COMPONENTE	Flujo M.lb/hr	%
N <sub>2</sub>	18.0	70.39
O <sub>2</sub>	3.34	13.06
SO <sub>2</sub>	4.23	16.54

$\Delta P$  psig = 13.7

$\mu$  cp = 0.028

$\phi$  lb/ft<sup>3</sup> = 0.13

$\varnothing$  = 6 in

T ° K = 713.70

Longitud = 63.24 m ó 207.5 ft

SCFM(ft<sup>3</sup>/min) = 5239

Material de la tubería: 18-8 Cr-Ni-Mo ó Acero al carbón<sup>30</sup>

Válvulas de diafragma de teflón o 18-8 Cr-Ni-Mo

LISTADO DE VÁLVULAS Y SOPLADORES PARA EL TRAMO 2 POR DONDE FLUYE EL SO<sub>2</sub>(g)

VD 90	Válvula de diafragma a la salida de intercambiador de calor 100-EA-02B
VD 98	Válvula de diafragma a la salida del soplador 100-S-09 C para SO <sub>2</sub> (g) hacia torre catalítica
VD 97	Válvula de diafragma de salida del soplador 100-S-10 D para SO <sub>2</sub> (g) hacia torre catalítica
VD 99	Válvula de diafragma de SO <sub>2</sub> (g) entrada a torre catalítica 100-TC-01
VC 100	Válvula de control para SO <sub>2</sub> (g) entrada a torre catalítica 100-TC-01
VD 101	Válvula de diafragma de SO <sub>2</sub> (g) entrada a torre catalítica 100-TC-01
VD 102	Válvula de diafragma de relevo de SO <sub>3</sub> (g) entrada a torre catalítica 100-TC-01
100-S-09C	SOPLADOR DE SO <sub>2</sub>
100-S-10 D	SOPLADOR DE RELEVO PARA SO <sub>2</sub>

Compresora centrífuga de un solo paso hierro fundido, acero fundido o acero fabricado, accionada por motor eléctrico o por turbinas de vapor.

<sup>30</sup>De tuberías de la norma ASTM para las piezas forjadas de acero al carbono para aplicaciones de tuberías. "A 105 / A 105M-01" Fuente: PIPING HANDBOOK. ", Reno C. King, B.ME; MME, P.E. Editado por Mc Graw Hill Book Company, 1973. E.U.A.

ANÁLISIS DEL TRAMO 1 LOCALIZACIÓN NODO 4 DEL SO<sub>3</sub>

## CONDICIONES DE OPERACIÓN

COMPONENTE	Flujo M.lb/hr	%
N <sub>2</sub>	18	70.38
O <sub>2</sub>	2.31	9.03
H <sub>2</sub> O	0.003	0.01
SO <sub>2</sub>	0.08	0.31
SO <sub>3</sub>	5.18	20.26

$\Delta P$  psig = 12.3

$\mu$  cp = 0.02

$\phi$  lb/ft<sup>3</sup> = 0.12

$\varnothing$  = 6 in

T °K = 690.372

Longitud = 82.65 m ó 271.2 ft

SCFM(ft<sup>3</sup>/min) = 5029

Material de la tubería: 18-8 Cr-Ni-Mo ó Acero al carbón<sup>31</sup>

Válvulas de diafragma de teflón o 18-8 Cr-Ni-Mo

LISTADO DE VÁLVULAS Y SOPLADORES PARA EL TRAMO 1 POR DONDE FLUYE EL SO<sub>3</sub>(g)

VD 123	Válvula de diafragma de salida de torre catalítica 100-TC-01 de SO <sub>3</sub> (g)
VC 124	válvula de control de SO <sub>3</sub> (g)
VD 125	Válvula de diafragma de salida de torre catalítica 100-TC-01 de SO <sub>3</sub> (g)
VD 126	Válvula de diafragma de relevo de SO <sub>3</sub> (g)
VD 127	Válvula de diafragma de salida del soplador 100-S-11A DE SO <sub>3</sub> (g)
VD 128	Válvula de diafragma de salida del soplador de relevo 100-S-11B SO <sub>3</sub> (g)
VD 129	Válvula de diafragma a la entrada del intercambiador de calor 100-EA-03C para el SO <sub>3</sub> (g)
100 -S-11A	SOPLADOR DE SO <sub>3</sub>
100 -S-12B	SOPLADOR DE RELEVO PARA SO <sub>3</sub>

Soplador de hierro fundido, acero fundido o acero fabricado, accionada por motor eléctrico o por turbinas de vapor.

<sup>31</sup>De tuberías de la norma ASTM para las piezas forjadas de acero al carbono para aplicaciones de tuberías. "A 105 / A 105M-01" Fuente: PIPING HANDBOOK. ", Reno C. King, B.ME; MME, P.E. Editado por Mc Graw Hill Book Company, 1973. E.U.A.

ANÁLISIS DEL TRAMO 2 LOCALIZACIÓN NODO 4 DEL SO<sub>3</sub>

## CONDICIONES DE OPERACIÓN

COMPONENTE	Flujo M.lb/hr	%
N <sub>2</sub>	18	70.38
O <sub>2</sub>	2.31	9.03
H <sub>2</sub> O	0.003	0.01
SO <sub>2</sub>	0.08	0.31
SO <sub>3</sub>	5.18	20.26

$\Delta P$  psig = 12.3

$\mu$  cp = 0.02

$\phi$  lb/ft<sup>3</sup> = 0.12

$\varnothing$  = 6 in

T °K = 690.372

Longitud = 82.65 m ó 271.2 ft

SCFM(ft<sup>3</sup>/min) = 5029

Material de la tubería: 18-8 Cr-Ni-Mo ó Acero al carbón<sup>32</sup>

Válvulas de diafragma de teflón o 18-8 Cr-Ni-Mo

LISTADO DE VÁLVULAS Y SOPLADORES PARA EL TRAMO 2 POR DONDE FLUYE EL SO<sub>3</sub>(g)

VD 132	Válvula de diafragma a la salida del intercambiador de calor 100-EA-03C para el SO <sub>3</sub> (g)
VD 137	Válvula de diafragma a la entrada del intercambiador de calor 100-EA-04D para el SO <sub>3</sub> (g)

<sup>32</sup>De tuberías de la norma ASTM para las piezas forjadas de acero al carbono para aplicaciones de tuberías. "A 105 / A 105M-01" Fuente: PIPING HANDBOOK. ", Reno C. King, B.ME; MME, P.E. Editado por Mc Graw Hill Book Company, 1973. E.U.A.

ANÁLISIS DEL TRAMO 3 LOCALIZACIÓN NODO 4 Y 5 DEL SO<sub>3</sub>

## CONDICIONES DE OPERACIÓN

COMPONENTE	Flujo M.lb/hr	%
N <sub>2</sub>	19.1	70.71
O <sub>2</sub>	2.65	9.81
H <sub>2</sub> O	0	0
SO <sub>2</sub>	0.08	0.29
SO <sub>3</sub>	5.18	19.18

$\Delta P$  psig = 11.5

$\mu$  cp = 0.02

$\phi$  lb/ft<sup>3</sup> = 0.12

$\varnothing$  = 6 in

T °K = 358.15

Longitud = 60.43 m ó 198.3 ft

SCFM(ft<sup>3</sup>/min) = 5355

Material de la tubería: 18-8 Cr-Ni-Mo ó Acero al carbón<sup>33</sup>

Válvulas de diafragma de teflón o 18-8 Cr-Ni-Mo

LISTADO DE VÁLVULAS Y SOPLADORES PARA EL TRAMO 3 POR DONDE FLUYE EL SO<sub>3</sub>(g)

VD 140	Válvula de diafragma a la salida del intercambiador de calor 100-EA-04D para SO <sub>3</sub> (g)
VD 145	Válvula de diafragma de salida del soplador 100-S-13C para SO <sub>3</sub> (g)
VD 146	Válvula de diafragma de salida del soplador de relevo 100-S-14D SO <sub>3</sub> (g)
VD 147	Válvula de diafragma de SO <sub>3</sub> (g) a la entrada del eliminador de niebla 100-EN-01
VC 148	Válvula de control para SO <sub>3</sub> (g) a la entrada del eliminador de niebla 100-EN-01
VD 149	Válvula de diafragma de SO <sub>3</sub> (g) a la entrada del eliminador de niebla 100-EN-01
VD 150	Válvula de diafragma de relevo de SO <sub>3</sub> (g) a la entrada del eliminador de niebla 100-EN-01
100 -S-13C	SOPLADOR DE SO <sub>3</sub>
100 -S-14D	SOPLADOR DE RELEVO PARA SO <sub>3</sub>

Soplador de hierro fundido, acero fundido o acero fabricado, accionada por motor eléctrico o por turbinas de vapor.

<sup>33</sup>De tuberías de la norma ASTM para las piezas forjadas de acero al carbono para aplicaciones de tuberías. "A 105 / A 105M-01" Fuente: PIPING HANDBOOK. ", Reno C. King, B.ME; MME, P.E. Editado por Mc Graw Hill Book Company, 1973. E.U.A.

ANÁLISIS DEL TRAMO 4 LOCALIZACIÓN NODO 5 Y 6 DEL SO<sub>3</sub>

## CONDICIONES DE OPERACIÓN

COMPONENTE	Flujo M.lb/hr	%
N <sub>2</sub>	19.1	70.71
O <sub>2</sub>	2.65	9.81
H <sub>2</sub> O	0	0
SO <sub>2</sub>	0.08	0.29
SO <sub>3</sub>	5.18	19.18

$\Delta P$  psig = 11

$\mu$  cp = 0.02

$\phi$  lb/ft<sup>3</sup> = 0.12

$\varnothing$  = 6 in

T °K = 358.15

Longitud = 60.43 m ó 198.3 ft

SCFM(ft<sup>3</sup>/min) = 5355

Material de la tubería: 18-8 Cr-Ni-Mo ó Acero al carbón<sup>34</sup>

Válvulas de diafragma de teflón o 18-8 Cr-Ni-Mo

LISTADO DE VÁLVULAS Y SOPLADORES PARA EL TRAMO 4 POR DONDE FLUYE EL SO<sub>3</sub>(g)

VD 151	Válvula de diafragma de SO <sub>3</sub> (g) a la salida del eliminador de niebla 100-EN-01 para SO <sub>3</sub> (g) hacia sulfonación
VD 253	Válvula de diafragma a la salida del soplador 100-S-15 E para SO <sub>3</sub> (g) para sulfonación
VD 254	Válvula de diafragma a la salida del soplador de relevo 100-S-15E' para SO <sub>3</sub> (g) para sulfonación
VD 244	Válvula de diafragma SO <sub>3</sub> (g) entrada de reactor de película descendente 200-RPD-01A para sulfonación
VC 245	Válvula de control para SO <sub>3</sub> (g) entrada de reactor de película descendente 200-RPD-01A para sulfonación
VD 246	Válvula de diafragma para SO <sub>3</sub> (g) entrada de reactor de película descendente 200-RPD-01A para sulfonación
VD 247	Válvula de diafragma de relevo para SO <sub>3</sub> (g) entrada de reactor de película descendente 200-RPD-01A para sulfonación
100 -S-15E	SOPLADOR DE SO <sub>3</sub> para sulfonación
100 -S-15E'	SOPLADOR DE RELEVO DE SO <sub>3</sub> para sulfonación

Soplador de hierro fundido, acero fundido o acero fabricado, accionada por motor eléctrico o por turbinas de vapor.

<sup>34</sup>De tuberías de la norma ASTM para las piezas forjadas de acero al carbono para aplicaciones de tuberías. "A 105 / A 105M-01" Fuente: PIPING HANDBOOK. ", Reno C. King, B.ME; MME, P.E. Editado por Mc Graw Hill Book Company, 1973. E.U.A.

ANÁLISIS DEL TRAMO 5 LOCALIZACIÓN NODO 5 Y 7 DEL SO<sub>3</sub>

## CONDICIONES DE OPERACIÓN

COMPONENTE	Flujo M.lb/hr	%
N <sub>2</sub>	19.1	70.71
O <sub>2</sub>	2.65	9.81
H <sub>2</sub> O	0	0
SO <sub>2</sub>	0.08	0.29
SO <sub>3</sub>	5.18	19.18

$\Delta P$  psig = 11

$\mu$  cp = 0.02

$\phi$  lb/ft<sup>3</sup> = 0.12

$\varnothing$  = 6 in

T °K = 358.15

Longitud = 60.43 m ó 198.3 ft

SCFM(ft<sup>3</sup>/min) = 5355

Material de la tubería: 18-8 Cr-Ni-Mo ó Acero al carbón<sup>35</sup>

Válvulas de diafragma de teflón o 18-8 Cr-Ni-Mo

LISTADO DE VÁLVULAS Y SOPLADORES PARA EL TRAMO 5 POR DONDE FLUYE EL SO<sub>3</sub>(g)

VD 152	Válvula de diafragma a la salida del eliminador de niebla 100-EN-01 para SO <sub>3</sub> (g) hacia sulfatación
VD 257	Válvula de diafragma de salida del soplador 100-S-16 F para SO <sub>3</sub> (g) para sulfatación
VD 258	Válvula de diafragma de salida del soplador de relevo 100-S-15F' SO <sub>3</sub> (g) para sulfatación
VD 259	Válvula de diafragma de SO <sub>3</sub> (g) entrada de reactor de película descendente 200-RPD-02B sulfatación
VC 260	Válvula de control para SO <sub>3</sub> (g) entrada de reactor de película descendente 200-RPD-02B sulfatación
VD 261	Válvula de diafragma de SO <sub>3</sub> (g) entrada de reactor de película descendente 200-RPD-02B sulfatación
VD 262	Válvula de diafragma de relevo de SO <sub>3</sub> (g) entrada de reactor de película descendente 200-RPD-02B
100-S-16F	SOPLADOR DE SO <sub>3</sub> para sulfatación
100-S-16 F'	SOPLADOR DE RELEVO PARA SO <sub>3</sub> para sulfatación

Compresora centrífuga de un solo paso hierro fundido, acero fundido o acero fabricado, accionada por motor eléctrico o por turbinas de vapor.

<sup>35</sup>De tuberías de la norma ASTM para las piezas forjadas de acero al carbono para aplicaciones de tuberías. "A 105 / A 105M-01" Fuente: PIPING HANDBOOK. ", Reno C. King, B.ME; MME, P.E. Editado por Mc Graw Hill Book Company, 1973. E.U.A.

TABLA "A" FRECUENCIA DE FALLA ANUAL EN EQUIPOS, ACCESORIOS Y COMPONENTES	
FALLA	PROBABILIDAD
Tubería (rupturas mayor 20 %) $\phi \geq 3''$	$8.76 \times 10^{-7}$
Válvula de relevo Desgaste de sellos Bloqueo Ruptura menor (agrietamiento) Ruptura	$4.4 \times 10^{-3}$ $4.4 \times 10^{-3}$ $1.2 \times 10^{-2}$ $6.36 \times 10^{-5}$
Válvula de diafragma Desgaste de sellos Ruptura menor (agrietamiento) Ruptura	$4.4 \times 10^{-3}$ $1.2 \times 10^{-2}$ $6.36 \times 10^{-5}$
Soplador Ruptura	$8.76 \times 10^{-5}$
Quemador Ruptura	$2.6 \times 10^{-2}$
Filtro Ruptura	$1 \times 10^{-5}$
Torre Ruptura	$1 \times 10^{-5}$
Eliminador de Niebla Ruptura	$1 \times 10^{-5}$
Indicadores (fallas) De temperatura y Presión	$8.76 \times 10^{-7}$
Fuente: Loss Prevention in the Process Industries Hazard Identification, Assessment and Control, Frank P. Lees. Edited by Sam Mannam, 2005, third edition. E.U.A	

## DATOS DE TOXICIDAD

El dióxido de azufre en altas concentraciones es extremadamente destructivo para los tejidos de las vías respiratorias, los ojos y la piel; su olor y pronta acción irritante advierten su exposición tóxica. La inhalación puede tener consecuencias fatales como espasmos, inflamación y edema pulmonar en laringe y en bronquios y neumonitis química. La exposición de los ojos a altas concentraciones puede provocar una ulceración del tejido conjuntivo y córnea, así como la destrucción de los tejidos oculares. El contacto con la piel causa severas quemaduras. Se desconoce la existencia de una toxicidad sistemática del dióxido de azufre. El dióxido de azufre no está listado como un producto cancerígeno o potencialmente cancerígeno.

Estudios en humanos conllevan a los siguientes resultados

TABLA "B". TOXICIDAD DEL SO <sub>2</sub> EN HUMANOS		
Concentración	Tiempo	Síntomas de exposición
25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Promedio anual	Creciente frecuencia de afecciones de las vías respiratorias profundas
225 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Promedio anual	Creciente frecuencia de síntomas respiratorios, disminución de la función pulmonar en niños de 5 años.
200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	30 min (max. diario)	Significativo incremento de casos de falso Krupp en niños
200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	24 horas	Aumento de la mortalidad entre personas mayores
1.3 $\text{mg}/\text{m}^3$	40 min	Estenosis de las vías respiratorias en asmáticos.
53.3 $\text{mg}/\text{m}^3$	10-30 min	Fuertes irritaciones muy desagradables
133.2 $\text{mg}/\text{m}^3$	60 min	Intensa irritación de las mucosas, neumorragia y edema pulmonar, espasmo de glotis con riesgo de asfixia
Fuente: Hoja de Seguridad para el SO <sub>2</sub>		