



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

“ANÁLISIS DE RIESGOS DEL CIRCUITO DE GASOLINA MAGNA EN EL ÁREA  
DE ALMACENAMIENTO Y BOMBEO DE UNA REFINERÍA”

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

*I N G E N I E R O Q U Í M I C O*

P R E S E N T A :

**JOSÉ FERNANDO**

**XACALCO MARTÍNEZ**

ASESOR: DR. M JAVIER CRUZ GÓMEZ



MÉXICO, D.F.

2006



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.



---

JURADO ASIGNADO:

|               |                                      |
|---------------|--------------------------------------|
| Presidente    | M. en I. Pablo Eduardo Valero Tejeda |
| Vocal         | Dr. M. Javier Cruz Gómez             |
| Secretario    | Dr. Néstor Noé López Castillo        |
| 1er. Suplente | I. Q. Dominga Ortiz Bautista         |
| 2do. Suplente | I. Q. Everardo A. Feria Hernández    |

**Sitio en donde se desarrolló el tema:**

Refinería "Gral. Lázaro Cárdenas", Minatitlán, Veracruz  
Laboratorio E-212, Edificio E, Facultad de Química, U.N.A.M.

Asesor

Sustentante

---

Dr. M. Javier Cruz Gómez  
Martínez

---

José Fernando Xacalco

---



---

## DEDICATORIAS

*En primer lugar, dedico este trabajo a Nadia, mi esposa, y a mi hijo Tonatiuh ya que ellos son mi pilar y mi fuerza; a ellos, porque me apoyaron y me alentaron a la obtención de este logro.*

*A mis padres, ya que sin ellos no hubiera podido terminar mi carrera y mucho menos titularme. Su apoyo fue fundamental para mí en los momentos más difíciles de mi vida.*

*A mis hermanos, por estar siempre a mi lado y por el afecto que me tienen.*

*Y a todas aquellas personas que de algún modo contribuyeron para que obtuviera este triunfo; mencionarlos a todos requeriría de mucho espacio y pecaría de omisión si me faltara alguno.*

---



---

## AGRADECIMIENTOS

*Doy gracias a Dios, por ayudarme a lo largo de este difícil camino y lograr una de mis grandes metas; también doy gracias a Él por darme todas las facultades necesarias para estudiar y terminar esta carrera.*

*A la Universidad Nacional Autónoma de México, por darme mediante sus profesores, los conocimientos necesarios para ser un ingeniero químico y por ser parte importante de mi vida.*

*Doy gracias a mis padres, Pedro y Elvira, por apoyarme en todo momento y sobre todo en los momentos más difíciles de mi vida.*

*Doy gracias a Nadia, mi esposa, por ser mi brazo derecho y mi principal apoyo; por estar siempre a mi lado en los momentos buenos y no tan buenos, por el cariño que me ha dado..*

*Doy gracias a Tonatiuh, mi hijo, por ser mi principal motivación ya que sin él no hubiera podido llegar hasta donde estoy.*

*Doy gracias también al Dr. Javier Cruz y a todo su equipo de trabajo por haberme dado la oportunidad de ingresar a su equipo y por ayudarme en la consecución de esta meta.*

---



---

*Doy gracias a todos los compañeros de la facultad por compartir muchos momentos de su vida conmigo y en especial, a aquellos que convivieron conmigo a lo largo de la carrera.*

*Y finalmente agradezco a la Refinería “Gral. Lázaro Cárdenas” por haberme permitido estar en sus instalaciones y por la información que me proporcionaron para la realización de este trabajo.*

---







---

# ÍNDICE

|                                  | Página   |
|----------------------------------|--|
| <b>CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN</b>   |  |
| 1.1                              | Justificación 1  |
| 1.2                              | Objetivo 4   |
| 1.3                              | Técnicas de análisis utilizadas 5  |
| <br>                             |  |
| <b>CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO</b> |  |
| 2.1                              | Antecedentes 8   |
| 2.2                              | Conceptos básicos 11   |
| 2.2.1                            | Definición de riesgo y peligro 11  |
| 2.2.2                            | Clasificación de riesgo 13   |
| 2.2.3                            | Identificación de riesgos 14   |
| 2.2.4                            | Métodos comparativos 16  |
| 2.2.4.1                          | Códigos 17   |
| 2.2.4.2                          | Listas de comprobación ("checklists") 17   |
| 2.2.4.3                          | Análisis histórico de accidentes 18  |
| 2.2.5                            | Índices de riesgos 19  |
| 2.2.5.1                          | Índice Dow 20  |
| 2.2.5.2                          | Índice Mond 20   |
| 2.2.6                            | Métodos generalizados 20   |
| 2.2.6.1                          | Análisis de peligros y operabilidad (HazOp) 21   |
| 2.2.6.2                          | Análisis de modos de fallas y sus efectos (FMEA) 33  |
| 2.2.6.3                          | Análisis de árbol de fallas (FTA) 35   |
| 2.2.6.4                          | Análisis de árbol de sucesos (ETA) 43  |
| 2.2.6.5                          | Análisis "what if" (¿que pasa sí?) 45  |
| 2.2.6.6                          | Análisis de consecuencias (AC) 46  |
| 2.2.6.6.1                        | Fugas o derrames incontrolados de sustancias peligrosas: Líquidos o gases en depósitos y conducciones 47 |
| 2.2.6.6.2                        | Evaporación de líquidos derramados 48  |
| 2.2.6.6.3                        | Dispersión de nubes de gases, vapores y aerosoles 49   |
| 2.2.6.6.3.1                      | Dispersión de chorro turbulento 50   |
| 2.2.6.6.3.2                      | Dispersión de nube neutra 50   |
| 2.2.6.6.4                        | Incendios de charco o "pool fire" 51   |
| 2.2.6.6.5                        | Dardos de fuego o "jet-fire" 52  |

---





|           |   |    |
|-----------|---|----|
| 2.2.6.6.6 | Deflagraciones no confinadas de nubes de gases inflamables o “UVCE” | 54 |
| 2.2.6.6.7 | Estallido de depósitos o “BLEVE”                                    | 55 |
| 2.2.6.6.8 | Ecuaciones para el análisis de consecuencias                        | 58 |

### **CAPÍTULO III TRABAJO DE CAMPO**

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 3.1   | Descripción del circuito de gasolina Magna de un área de almacenamiento y bombeo | 60 |
| 3.2   | Desarrollo del análisis de peligros y operabilidad (HazOp)                       | 62 |
| 3.3   | Análisis de árbol de fallas (FTA)  | 80 |
| 3.3.1 | Descripción del evento culminante  | 82 |
| 3.4   | Análisis de consecuencias (AC)   | 84 |

### **CAPÍTULO IV RESULTADOS Y CONCLUSIONES**

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 4.1 | Resultados y conclusiones del análisis de peligros y operabilidad (HazOp) | 91 |
| 4.2 | Resultados y conclusiones del análisis de árbol de fallas (FTA)           | 92 |
| 4.3 | Resultados y recomendaciones de análisis de consecuencias (AC)            | 92 |
| 4.4 | Conclusiones generales  | 93 |

### **BIBLIOGRAFÍA**

#### **ANEXO A**

Lista de abreviaturas

#### **ANEXO B**

Diagrama de árbol de fallas

#### **ANEXO C**

Diagramas de tubería e instrumentación

#### **ANEXO D**

Diagrama de análisis de consecuencias

#### **ANEXO E**

Hojas de seguridad (MSDS)

---



---

**ÍNDICE DE TABLAS**

|      | Pagina   |    |
|------|--|----|
| 2.1  | Uso de palabras guía primarias   | 28 |
| 2.2  | Definición de palabras guías secundarias   | 29 |
| 2.3  | Matriz de riesgos  | 30 |
| 2.4  | Grados de riesgos  | 32 |
| 2.5  | Simbología utilizada en el análisis de árbol de fallas   | 37 |
| 2.6  | Probabilidades de eventos o sucesos  | 40 |
| 2.7  | Frecuencia de evento   | 42 |
| 3.1  | Nodo 1: Recibo de gasolina de plantas (isomerizadora, reformadora de nafta, reformadora de nafta pesada, F. C. C. y reformado) a tanques de preparación (TV-203, TV-201, TV-202, TV-200) | 63 |
| 3.2  | Nodo 2: Gasolina de tanque de preparación (TV-203, TV-201, TV-202, TV-200) a tanques finales (TV-13, TV-14, TV-205, TV-215, TV-216,TV-217)   | 69 |
| 3.3  | Nodo 3: Gasolina de tanques finales (TV-13, TV-14, TV-205, TV-215, TV-216, TV-217) a bombas (BA-10 A/B/C/D/E/F, P-11 A/B/C y P-1412 B/C para su distribución a ventas.                   | 73 |
| 3.4  | Probabilidad en dólares  | 80 |
| 3.5  | Frecuencia probable.   | 81 |
| 3.6  | Escenario, causa/fundamento y consecuencias de accidente   | 83 |
| 3.7  | Resultados del análisis de árbol de fallas.  | 84 |
| 3.8  | Niveles de radiación   | 88 |
| 3.9  | Niveles de sobrepresión  | 88 |
| 3.10 | Modelo para el análisis de consecuencias   | 89 |

---



---

|      |   |    |
|------|---|----|
| 3.11 | Datos para el análisis de consecuencias                                     | 89 |
| 4.1  | Recomendaciones del análisis HazOp  | 90 |
| 4.2  | Valor de probabilidad de ocurrencia del escenario de accidente seleccionado | 91 |
| 4.3  | Recomendaciones del análisis de árbol de fallas                             | 92 |
| 4.4  | Nivel de radiación y área de afectación del análisis de consecuencias.      | 93 |

### ÍNDICE DE FIGURAS

|     |   | Pagina |
|-----|---|--------|
| 2.1 | Diagrama de flujo de la técnica "HazOp"   | 25     |
| 2.2 | Esquema para el análisis de árbol de fallas   | 39     |
| 3.1 | Diagrama de bloques de proceso del circuito de gasolina en el área de bombeo y almacenamiento | 61     |

---



---

## RESUMEN

En el presente trabajo se desarrollan técnicas de análisis de riesgos en el circuito de gasolina magna en el área de almacenamiento y bombeo de la refinería General Lázaro Cárdenas para identificar, reducir y prevenir accidentes y/o riesgos para mantenerlos a niveles de aceptación.

Las técnicas utilizadas para el desarrollo del análisis de riesgos fueron las siguientes:

- Análisis de Peligros y Operabilidad (HazOp).
- Análisis de Árbol de Fallas (FTA).
- Análisis de Consecuencias (AC).

Con la combinación de los resultados de estas técnicas se pueden obtener mejores acciones para poder implementar medidas adecuadas y así reducir los riesgos y/o peligros.

Como resultado de la técnica HazOp se obtuvieron una serie de recomendaciones las cuales en principio se clasifican y jerarquizan de acuerdo a los niveles de riesgo encontrado; la técnica de análisis de consecuencias se obtuvo como resultado las áreas de afectación, para estar alerta y así para una posible intervención del personal especializado para evento; por último se desarrollo la técnica de análisis de árbol de fallas que dio como resultado las posibles causas y sucesos de un evento principal.

---



---

## 1.1 JUSTIFICACION

En las actividades del ser humano se involucran una serie de riesgos, dentro de los cuales la industria de procesos no es la excepción. La Industria Química, en particular, es una rama preocupada por la innovación, en ella se desarrollan continuamente nuevos procesos y productos para satisfacer cada día más las sofisticadas necesidades de la sociedad moderna, la cual, requiere de productos con características muy particulares, de alta calidad y bajo costo. Esto en muchas ocasiones significa contar con procesos que requieren altas presiones y temperaturas, además de utilizar materiales con características físico-químicas que representan un peligro para la salud humana, el ambiente y la propiedad.

El objetivo principal de una refinería es la separación del petróleo en diferentes combustibles para las necesidades del ser humano como son: gasolinas, diesel, gas licuado de petróleo (LPG), gas natural licuado (LNG), gas comprimido (CNC) así como materia prima para otros productos.

Además otro objetivo para las refinerías es el de obtener un elevado número de octanaje y eliminar al mínimo el contenido de azufre en los combustibles.

---



---

Petróleos Mexicanos (PEMEX), siendo la empresa petrolera más importante de nuestro país, debido a su carácter estratégico, busca ser una empresa líder en materia de seguridad industrial y de protección ambiental. Para ello, PEMEX lanzó a mediados de 1998 una Política de Seguridad Industrial y Protección Ambiental que incluye una visión y once puntos rectores.

La visión de la Política de Seguridad Industrial y Protección Ambiental contempla los siguientes aspectos:

- Identificar riesgos a la salud, integridad física, al medio ambiente y a la propiedad.
- Reducir los riesgos a los trabajadores y población circunvecina, a las instalaciones, mediante técnicas adecuadas (medidas de prevención, protección y control) para controlarlos y reducirlos a niveles aceptables.
- Reducción significativa de incidentes e impactos ambientales, sus consecuencias y costos asociados.
- Lograr que el personal lleve a cabo sus actividades con plena conciencia de los riesgos que implica la operación.
- Mejorar la operabilidad y confiabilidad de los equipos de proceso.
- Establecer planes de emergencia y medidas de protección.



---

Con base en esta política, PEMEX actualmentel, está implantando dentro de sus instalaciones un nuevo sistema conocido como SSPA, que introduce las 12 mejores prácticas sobre Seguridad, Salud y Protección Ambiental; éste es un modelo mejorado de lo que anteriormente era el Sistema Integral de Administración de Seguridad y Protección Ambiental (SIASPA).

Algunos de los puntos importantes del SIASPA y el nuevo sistema siguen siendo el realizar Análisis de Riesgos de sus instalaciones y mantener la información técnica actualizada, como es el caso de los diagramas de tubería e instrumentación, los diagramas de flujo de proceso, los isométricos de inspección, etc.

Mediante la aplicación de las técnicas de análisis de riesgos es posible identificar y evaluar los riesgos presentes en una instalación, así como emitir recomendaciones que tiendan a reducirlos o a eliminarlos. La finalidad que se persigue es hacer más seguros los procesos evitando la ocurrencia de incidentes y/o accidentes.

Con este trabajo se busca colaborar con PEMEX en la realización de análisis de riesgos en una de sus plantas, a través de un estudio previo de las metodologías para la identificación y evaluación de riesgos hasta llegar a obtener recomendaciones que incrementen la seguridad en la instalación.

---





---

## 1.2 OBJETIVOS

- Identificar y evaluar el nivel de riesgos en una área de almacenamiento y bombeo de gasolina Magna, aplicando la técnica de análisis de peligros y operabilidad HazOp (Hazard and Operability).
- Establecer las medidas para controlar y/o reducir el nivel de riesgo encontrado. Con el fin de mejorar la operabilidad y seguridad en una área de almacenamiento y bombeo.
- Evaluar y cuantificar la probabilidad de ocurrencia de un escenario de accidente para decidir si se acepta o no el riesgo, aplicando la técnica de análisis de árbol de fallas (FTA). El escenario que se podría seleccionar es: **incendio de un tanque de almacenamiento de gasolina Magna.**
- Determinar los posibles daños ocasionados por la ocurrencia del escenario seleccionado, aplicando la técnica de análisis de consecuencias.
- Fomentar y divulgar los principios de seguridad e higiene entre el personal involucrado en el análisis.



---

### 1.3 TÉCNICAS DE ANÁLISIS UTILIZADAS

Las técnicas para el análisis de riesgos que se usaron en el presente trabajo fueron las siguientes: Análisis de peligros y operabilidad (HazOp), análisis de consecuencias (AC) y análisis de árbol de fallas (FTA). Estas técnicas son eficientes, pueden diferir en su metodología, pero en sus resultados pueden combinarse entre si para obtener mejores resultados.

La técnica de análisis de peligros y operabilidad (HazOp) es una herramienta sistemática para llevar a cabo un estudio de peligros y operabilidad, la cual, se basa en una serie de palabras guía, que se aplican a un parámetro del proceso seleccionado, para identificar mediante la discusión propositiva y la generación de ideas, desviaciones de la intención de diseño de un sistema y sus procedimientos.

Además las causas y consecuencias que las provocan y los sistemas de protección ó mitigación de dichas causas y sus consecuencias, semicuantifican los riesgos, mediante su combinación con las frecuencias o probabilidades de su ocurrencia.

Como resultado de la técnica HazOp se obtienen una serie de recomendaciones, las cuales se clasifican y jerarquizan de acuerdo al nivel del riesgo encontrado: Posteriormente se establecen las acciones para implementar las medidas correctivas que reducirán el

---



---

riesgo encontrado.

En la técnica de análisis de consecuencias (AC) no basta con nombrar los posibles accidentes provocados por los peligros existentes, ya que solo se estará mencionando cómo son afectados los objetos amenazados sin entrar a valorar objetivamente la gravedad del accidente, con esta técnica mas bien, se puede ser más exhaustivo y estimar cuál es la población afectada directamente, delimitar las zonas de riesgo, etc. Para ello, se usan modelos matemáticos que estiman las variables físicas y químicas derivadas de un accidente hipotético, y en función de ellas se calcula el perímetro de las zonas de intervención y alerta.

Con lo anterior se establece así el mapa de riesgo, que es la zona en que las variables físicas y químicas sobrepasan cierto umbral. Si superponemos el mapa de riesgos con el mapa de vulnerabilidad (en el que se señalan todos los elementos vulnerables), quedan perfectamente definidas las áreas de intervención y de alerta.

Una vez que se han establecido los elementos vulnerables, es necesario hacer una estimación de las consecuencias, es decir, cómo afectan a estos elementos las variables físicas y químicas originadas por el accidente. Esto es esencial a la hora de determinar las acciones a tomar ante una emergencia.

---



---

El análisis de árbol de fallas, FTA (por sus siglas en inglés, Fault Tree Analysis), es la representación o desarrollo gráfico deductivo desde el evento principal o suceso final no deseado o peligroso, denominado “Top Event”, y pasando por todas sus combinaciones de eventos o sucesos intermedios, hasta llegar a sus causas o eventos básicos, que representan el límite de resolución del árbol.



---

## 2.1 ANTECEDENTES (1, 16, 18)

El hombre en la época de las cavernas tenía que vivir con los riesgos que implicaban cazar animales grandes para poder obtener de ellos el alimento y vestido. Una referencia de una tribu llamada Asipu que vivió en el valle del Éufrates y del Tigris alrededor de 3200 A.C., menciona que los Asipu servían como consultores sobre decisiones riesgosas tales como matrimonio y nuevas ubicaciones para construcciones. Identificaban dimensiones importantes del problema y acciones alternativas. Los Asipu también observaban los presagios de los dioses, que ellos consideraban especialmente calificados para interpretar. Luego creaban un expediente con los puntos a favor y en contra y recomendaban la alternativa más favorable, tal vez el primer caso de un análisis de riesgo estructurado.

Aún cuando no existen evidencias precisas, la aparición de las primeras metodologías para el análisis de riesgos en operaciones industriales, tienen su origen entre 1910 y 1920. Estas metodologías fueron producto de la experiencia a través de accidentes ocurridos. La primera de ellas se conoce como investigación de los accidentes la cual ha evolucionando de manera importante, pero fundamentalmente siguen conservando sus principios.

---



---

Durante décadas, la industria química ha experimentado una serie de cambios importantes, gracias a la aparición de nuevos materiales, al uso de nuevas tecnologías y a la generación de nuevas aplicaciones para los productos químicos. Estos cambios sumados al crecimiento demográfico, han dado lugar a la instalación de un número cada vez mayor de nuevas plantas y a un aumento en la capacidad de las mismas, a fin de satisfacer las necesidades de la población.

Por esta razón, el número de personas expuestas a los efectos de los accidentes relacionados con esta industria, se ha incrementado de manera importante, lo que a su vez ha provocado que la gente tome conciencia de los riesgos que genera la falta de seguridad en las empresas y promueva la creación de leyes y normas que regulen sus actividades y que haya una mayor vigilancia en estos tipos de industrias por parte de las autoridades.

Retomando el tema de la investigación de accidentes, aún cuando no es de gran utilidad, no proporciona todas las respuestas requeridas para contar con instalaciones con un grado de confiabilidad aceptable.

Las limitaciones propias de la metodología de investigación de incidentes y las enseñanzas producto de ella, dio como resultado la generación de códigos y estándares, en donde se establecen parámetros generalmente aceptados para riesgos reconocidos. De aquí surgen otras metodologías como el análisis de

---



---

riesgos de proceso que busca identificar los riesgos en las instalaciones para incrementar la seguridad en las mismas.

Algunos accidentes principales se nombran a continuación:

El 11 de noviembre de 1996 se incendiaron tres tanques de la planta de San Juanico con 21 millones 465 mil litros de gasolina, 4 personas murieron y 15 personas resultaron heridas y fueron desalojados miles de personas que vivían cerca del lugar.

El 26 de julio de 1996 ocurrió una explosión en las dos unidades criogénicas del complejo productor de gas operado por PEMEX gas y petroquímica básica, en Cactus, Chiapas. En tres horas el fuego consumió las dos plantas criogénicas, destrucción total en un radio de 500 m, trozos de concreto de hasta 10 Kg volaron a mas de 300 m de distancia muriendo 6 trabajadores y 9 resultaron lesionados.

Explosión de contenedores de gas licuado de petróleo (G. L. P.), en San Juan Ixhuatepec Edo de Méx, el 19 de noviembre de 1984, 542 muertos, 800 heridos y 1 millón 500 mil personas evacuadas.

Fuga de isocianato de metilo (MIC), Unión Carbide en Bhopal, India el 2 de diciembre de 1984, aproximadamente 2,500 muertos y 400,000 afectados.

---





---

Actualmente se mueren en promedio 2 personas afectadas cada día.

Es imposible, sin embargo, pensar en que se puede eliminar por completo los riesgos derivados de la operación de las plantas químicas, ya que solo se eliminarían completamente si la planta no existiera, y no obstante lo anterior, se puede disminuir la frecuencia y la gravedad de cualquier accidente que se pudiera presentar señalando e implementando las medidas que se deben tomar para mejorar la seguridad de los procesos.

## **2.2 CONCEPTOS BÁSICOS** (1, 10, 16, 18)

El análisis de riesgo para la industria química es fundamental e importante, ya que es una disciplina que al ser aplicada permite controlar los riesgos del proceso durante el diseño, operación, modificación o cualquier adicción que se le realice.

### **2.2.1 DEFINICIÓN DE RIESGO Y PELIGRO**

**Peligro:** Condición física o química que puede causar daño y puede producir efectos adversos, en términos generales es la característica de un sistema que representa potencial para producir un accidente; se pueden presentar en diferentes actividades como en el trabajo, hogar, deporte, etc, es decir en cualquier lado y momento.

---



---

Dentro de los peligros en el trabajo son frecuentes los factores materiales o tecnológicos (agentes físicos, químicos y biológicos), los factores personales (fisiológicos, psíquicos y sociológicos) y los factores sociales (políticos, económicos y organizativos).

Los agentes físicos se pueden dividir en eléctricos, mecánicos (estáticos y dinámicos), ópticos, meteorológicos (temperatura, humedad, velocidad del aire y presión atmosférica), neumáticos, acústicos, vibrátiles y de impacto, y de radiación. Los agentes químicos se pueden dividir en sólidos, líquidos y los que están en el aire (polvos, humos, niebla, aerosoles, gases, vapores). Los agentes biológicos se dividen en parásitos, bacterias, virus, hongos.

**Riesgo:** Es la probabilidad de que ocurra algún daño en el cual se puede tener consecuencias negativas y en ocasiones consecuencias positivas; es por eso que hay que diferenciar entre lo que es el Riesgo Especulativo y Riesgo Puro.

**Riesgo Especulativo:** Es el que da como resultado un efecto favorable (ganancia) o un efecto desfavorable (pérdida).

**Riesgo Puro:** Es el que solo se puede dar en forma adversa o no adversa (perder o no perder).

---



---

Una definición ampliamente utilizada por los profesionales de la seguridad industrial para el riesgo es verlo como el producto de la frecuencia de un determinado evento por la magnitud de las consecuencias probables es decir:

$$\text{Riesgo} = (\text{Frecuencia del evento}) \times (\text{Magnitud de las consecuencias})$$

### 2.2.2. CLASIFICACIÓN DE RIESGO

Existen diferentes clasificaciones de riesgos pero desde el punto de vista general se pueden clasificar en tres categorías que son:

- **Riesgos de categoría A (alto):** Son los inevitables y aceptados, sin compensación (por ejemplo, morir fulminado por un rayo).
  
- **Riesgos de categoría B (moderado):** Evitables, en principio, pero que deben considerarse inevitables si uno quiere integrarse plenamente en la sociedad moderna (por ejemplo, manejar un automóvil).
  
- **Riesgos de categoría C (bajo):** Normalmente evitables, voluntarios y con compensación (por ejemplo, practicar un deporte extremo).



---

En la industria se clasifican en actividades más concretas que son:

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

### 2.2.3. IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS.

El paso más importante para el análisis de riesgos es la identificación del riesgo puesto que cualquiera de ellos cuya identificación sea omitida no puede ser objeto de estudio y una vez identificado el riesgo es probable que se tomen medidas para reducirlo.

En algunos casos los riesgos no son tan evidentes y se requiere de un análisis profundo para conocer la clase de accidente que puede tener lugar.

---



La identificación y caracterización de riesgos puede y debe realizarse durante toda la vida de la instalación. Cuanto antes comience, mayores son las ventajas que se esperan en cuanto a la eficacia en la reducción de riesgo y en cuanto al costo de seguridad instalada. La identificación de riesgos debe realizarse durante las etapas de diseño y construcción de la planta, en la puesta en marcha, durante la operación de la misma, en la realización de modificaciones a la planta, en los paros periódicos y finalmente en el desmantelamiento, al término de la vida útil de la instalación.

Los métodos de identificación también se pueden referir a las consecuencias que pueden dar lugar a cada uno de los riesgos. Las consecuencias siempre serán pérdidas, tales como: para las personas (lesiones, enfermedad, fatiga, insatisfacción), para la propiedad (en bienes mueble e inmueble) y para el proceso (tiempos perdidos, calidad deteriorada).

Los métodos de identificación principalmente utilizados se dividen en tres principales apartados que son:

### **MÉTODOS COMPARATIVOS**

- Códigos.
- Listas de comprobación.
- Análisis histórico de accidentes.



---

## ÍNDICES DE RIESGO

- Índice Dow.
- Índice Mond.

## MÉTODOS GENERALIZADOS

- Análisis de peligros y operabilidad (HazOp).
- Análisis de modos de fallos y sus efectos (FMEA).
- Análisis de árbol de fallas (FTA).
- Análisis de árbol de sucesos (ETA).
- Análisis “what if” (¿Que pasa sí?).
- Análisis de consecuencias (AC).

### 2.2.4. MÉTODOS COMPARATIVOS

Para evaluar la seguridad de una instalación se utiliza la experiencia adquirida en operaciones previas de la compañía o en organizaciones externas a las mismas, para lo cual se utilizan manuales técnicos internos que especifican como diseñar, distribuir en planta, instalar, operar, etc, los equipos utilizados en sus instalaciones.

El contenido de los manuales puede variar pero cumplen con la legislación local y nacional, así como con, estándares habituales de las distintas normas de ingeniería son: ASME (Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos), ASTM (Sociedad Americana para Pruebas y Materiales), API (Instituto Americano del Petróleo, NFPA (Asociación Nacional de Protección Contra el Fuego), entre otros.



---

#### **2.2.4.1. CÓDIGOS**

Son utilizados para la evaluación de la aceptabilidad de un diseño. Por lo que, si encuentran diferencias en un diseño respecto de lo que no se considera habitual es necesario examinarlas con todo el cuidado que se requiera para la obtención de fuentes de posibles riesgos y de lo contrario hay que verificar las razones por las que no se han seguido los procedimientos generales, y preguntarse si el nuevo diseño está hecho para cubrir los riesgos al mismo nivel.

Esto es válido durante el diseño inicial de la planta y de una manera especial para las modificaciones futuras, en las que en algunas ocasiones se aplican estándares menos rigurosos.

#### **2.2.4.2. LISTAS DE COMPROBACIÓN (“CHECK LISTS”)**

Es un recordatorio útil que es elaborado a través de los años por distintas personas y con lo cual, permite comparar el estado de un sistema con una referencia externa, identificando directamente en algunos casos carencias principalmente de seguridad en otras las áreas que requieren un estudio más profundo. Las listas de comprobación pueden aplicarse a la evaluación de equipos, materiales o procedimientos, y el grado de detalle varía considerablemente para equipos, procesos o procedimientos específicos.

---





---

La lista de comprobación proporciona una serie de puntos de reflexión y preguntas que llaman la atención sobre los aspectos que pueden haber pasado desapercibidos.

#### **2.2.4.3. ANÁLISIS HISTÓRICO DE ACCIDENTES**

El análisis histórico de accidentes hace uso de los datos recogidos en el pasado sobre los accidentes industriales. La ventaja de esta técnica es que se basa en accidentes ya ocurridos por lo que los peligros identificados son reales. También, tiene limitaciones en cuanto a su uso ya que solo se basa en accidentes ya ocurridos y de los cuales se posee información. Además la desventaja que tiene este análisis es de que el número de casos a analizar es limitado y no cubre todas las posibilidades importantes ya que la información disponible sobre un accidente es limitada, y a menudo sesgada, así como el hecho de que muchos accidentes e incidentes se registran de forma restringida o no se registran. Por último permite la identificación de riesgos concretos.

Toda la información sobre los accidentes ocurridos puede proceder de datos propios de la compañía, información de prensa, entrevistas con testigos entre otras cuestiones relacionadas a los accidentes.

Diversas organizaciones públicas y privadas han elaborado bancos de datos sobre accidentes industriales en los que la información disponible facilita

---



su consulta. Los datos recopilados se refieren al tipo, causas, circunstancias, cantidad de sustancia o sustancia involucrada, localización, consecuencias, así como, la estimación de daños a las personas y a la propiedad por las que se originó el accidente. Las fuentes de datos de accidentes que contienen información aceptable para la industria química son: CHAFINC (Chemical Accidents, Failure Incidents and Chemical Hazards Databank), CHI (Chemical Hazards in Industry), HARIS (Hazard and Reliability Information System), MHIDAS (Major Hazard Incident Data Service), NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health), SONATA (Summary of Notable Accidents in Technical Activities) y WOAD (Worldwide Offshore Accident Databank).

### **2.2.5. ÍNDICES DE RIESGOS**

Proporcionan un método directo y simple, en el cual, se estima el riesgo global asociado con una unidad de proceso, además jerarquiza las unidades en cuanto a su nivel general de riesgo. Proporciona un valor numérico que permite identificar áreas en las que el riesgo potencial alcanza un nivel determinado. De acuerdo con el valor obtenido en el índice de riesgo será la profundidad del estudio y puede aplicarse un análisis más detallado. Por lo tanto, los índices de riesgos son útiles por que nos proporcionan una estimación rápida y confiable del orden de magnitud de determinados riesgos en la unidad.



---

### **2.2.5.1. ÍNDICE DOW**

Toma en cuenta, ligeramente, aspectos de toxicidad y es más fácil de conducir por el uso de gráficos y ecuaciones. El índice Dow debe calcularse para todas las unidades de proceso. Para ser un índice Dow se requiere de la siguiente información: Plano de distribución de la planta (plot plan), diagrama de flujo de proceso (DFP), condiciones de operación y de flujo, formato de trabajo del índice Dow y relación de costos del equipo instalado en la planta.

### **2.2.5.2. ÍNDICE MOND**

Es muy similar al índice Dow solo que aquí se incluyen de manera específica aspectos de toxicidad de materiales. Para realizar este índice se divide en secciones la planta, ya sea por distancia o por barreras de fuego, dique, etc. Posteriormente se establecen las características de riesgo de diferentes unidades de la planta. Además permite considerar límites para que los accidentes no se extiendan a otras unidades de alta inversión.

### **2.2.6. MÉTODOS GENERALIZADOS**

Los métodos generalizados son utilizados para identificar y evaluar en su totalidad los riesgos presentes en un determinado proceso. Tomando como base la relación causa–efecto, en esta clase de métodos se analizan todos los sucesos que pueden dar

---



---

origen a situaciones de peligro además, determinan las posibles consecuencias de los accidentes y la probabilidad de ocurrencia de los mismos, de forma cuantitativa o semi-cuantitativa.

#### **2.2.6.1. ANÁLISIS DE PELIGROS Y OPERABILIDAD (HazOp)**

En los estudios HazOp aparecen riesgos y/o problemas de operabilidad como consecuencia de desviaciones sobre las condiciones de operación que se consideran normales en un sistema dado y en una etapa determinada (arranque, operación en régimen estacionario, operación en régimen no estacionario, en paro, etc). El análisis HazOp es una técnica que fue desarrollada para identificar riesgos y mejorar la operabilidad de una planta de procesos.

Esta técnica puede ser usada durante el diseño, modificación u operación de una instalación, usando una lista de palabras guías que en combinación con los parámetros de proceso producen la desviación de la intención del proceso, diseño u operación que puede ocurrir en un nodo de estudio. El análisis HazOp es una forma estructurada del análisis "What-If" (¿Que pasa sí?).

El estudio esta basado en la aplicación de una serie de palabras guía a cada parámetro del proceso en estudio las cuales facilitan la identificación de desviaciones mediante un razonamiento ordenado.

---



---

Cada vez que se identifica una desviación, se analizan sus causas, consecuencias, salvaguardas y posibles acciones correctivas.

El análisis HazOp es aplicado por un equipo multidisciplinario, que debe de estar conformado por personas de distinta formación, los miembros del equipo deben exponer las desviaciones, causas, consecuencias y soluciones que puedan contribuir al estudio.

Para tener un estudio completo de análisis de riesgos se requiere de un plan de trabajo como el siguiente:

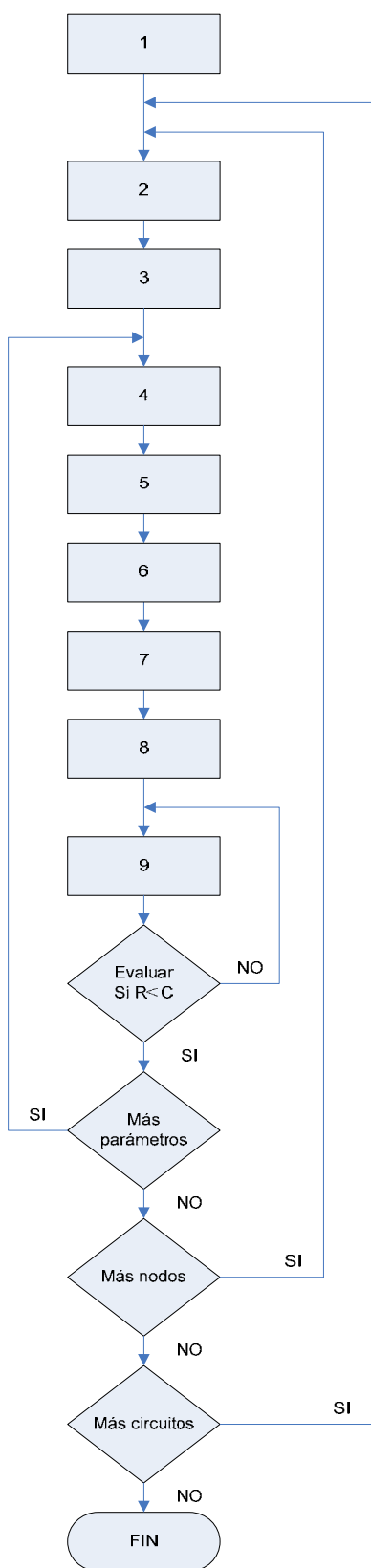
1. Obtener un conocimiento detallado del proceso que se va a analizar, así como, las condiciones de operación (obtenidas de los manuales de operación, DTI's y DFP's), utilizando la información disponible de los archivos de la empresa).
2. Revisar los registros históricos de incidentes/accidentes, así como, los registros de calibración, pruebas de líneas y válvulas de relevo (PSV's).
3. Seleccionar los circuitos con sus respectivos nodos (en orden jerárquico), en los que se aplicará la técnica HazOp.



- 
4. Conocer y tener a la mano los procedimientos normativos internos, la normatividad local y nacional, y estándares internacionales.
  
  5. Revisar los manuales de operación y mantenimiento, la información del control automático existente, los programas de capacitación y adiestramiento y los planes de emergencia. Toda esta información deberá estudiarse (con el fin de conocer el proceso operativo) y revisarse de acuerdo a las normas y estándares que apliquen (con el fin de establecer recomendaciones específicas durante y al final del estudio, evitando generalidades).
  
  6. Revisar y actualizar (si es necesario) los Diagramas de Tubería e Instrumentación (DTI's) y los Diagramas de Flujo de Procesos (DFP's) para cada nodo seleccionado, así como, revisar las hojas de datos de equipo y líneas. Realizando un recorrido en el área con el grupo HazOp, con el fin de observar las condiciones de seguridad en el nodo a analizar.
-



- 
7. Aplicar la técnica de análisis de peligros y operabilidad (HazOp) en cada nodo seleccionado (ver figura 2.1 de la técnica HazOp). Durante la aplicación de la técnica es posible determinar las desviaciones, causas, consecuencias, salvaguardas, recomendaciones y acciones, los límites de operación y seguros (presión temperatura, nivel, flujo, etc.).
  
  8. Identificar escenarios potenciales de accidentes durante la aplicación de la técnica HazOp.
  
  9. Aplicación de la técnica de análisis de árbol de fallas y análisis de consecuencias para cada escenario potencial identificado.
  
  10. Reporte del análisis HazOp.
-



1. Dividir la planta en circuitos y los circuitos en nodos.

2. Seleccionar un nodo y describir su intensidad de diseño.

3. Definir los parámetros importantes del proceso.

4. Identificar posibles desviaciones con la combinación de los parámetros y palabras guía.

5. Identificar la causa de cada desviación y determinar su frecuencia.

6. Identificar las consecuencias sin protecciones y determinar su gravedad.

7. Listar todas las protecciones existentes del nodo.

8. Determinar el nivel de riesgo sin protecciones y con protecciones usando la matriz de riesgo.

9. Dar recomendaciones.

**Figura 2.1. Diagrama de flujo de la técnica “HazOp”**





---

A continuación se presenta la terminología utilizada en el análisis HazOp:

**Nodo:** Es una subdivisión de un sistema de proceso que tiene su origen, en donde comienzan nuevas propiedades del material procesado, y destino, en donde nuevamente hay un cambio de propiedades. Este debe ser lo suficiente pequeño para que sea manejable y lo suficiente grande para que sea significativo.

**Circuito:** Es una parte de la planta que generalmente es una operación unitaria o una sección de la planta como puede ser: El circuito de carga, calentamiento, reacción, etc.

**Palabra Guía:** Es aquella que indica la desviación parcial o total de la intención (no, más/menos, además de, parte de, inversión, en vez de).

**Parámetro:** Es una manifestación física o química del proceso como el flujo, nivel, presión, temperatura, velocidad, composición, ignición, mezcla, etc.

**Causa:** Son los eventos que dan origen a una desviación de la intención de diseño.

**Consecuencia:** Son las secuelas que se podrían originar debido al evento que ocasionó esa causa.

**Protecciones:** Son dispositivos, procedimientos o cualquier medio que ayuda a la detección o evitan que

---



---

ocurra una desviación, ya sea eliminando la causa o disminuyendo la consecuencias.

**Recomendaciones:** Son acciones encaminadas a mejorar la operación y la seguridad de una planta de proceso.

**Índice de Riesgo:** Es la combinación matemática entre la frecuencia y la gravedad.

Índice de Riesgo (pérdida/año) = Índice de Frecuencia (accidente/año) x Índice de Gravedad (pérdida/accidente).

**Escenario Potencial:** Es el riesgo potencial que tiene probabilidad elevada de causar pérdidas.

**Probabilidad:** Es la posibilidad matemática de que ocurra un evento y se expresa en fracciones entre 0 y 1. La absoluta imposibilidad es cero y la absoluta certeza es 1.

**Frecuencia:** Es el número de fallas de un componente o equipo, el número de errores humanos por año, día, hora o demanda.

Una característica para el cuestionamiento y análisis sistemático de este estudio es el uso de las palabras guía con la cual, se enfoca la atención del equipo sobre las desviaciones y sus posibles causas y están divididas en dos tipos: primarias y secundarias.



**Palabras guía primarias (parámetros del proceso):**

Enfocan la atención sobre un aspecto particular del diseño, parámetro y una condición de un proceso asociado. Las palabras a tomar dependerán de la planta en donde se aplicará el estudio como se muestra en la tabla 2.1.

**Tabla 2.1. Uso de palabras guía primarias (parámetros del proceso).**

|              |               |
|--------------|---------------|
| • Flujo      | • Temperatura |
| • Reacción   | • Separación  |
| • Viscosidad | • Corrosión   |
| • Presión    | • Mezcla      |
| • Nivel      | • Composición |

**Palabras guía secundarias:** Son palabras que en conjunto con las palabras guía primarias sugieren desviaciones potencias y/o problemas (ver tabla 2.2).

La aplicación de palabras guía nos permite identificar desviaciones y/o circunstancias en las cuales la intención definida no se cumple por lo que el siguiente paso consiste en evaluar los niveles de riesgos con base en la frecuencia y gravedad de las causas y consecuencia de los posibles accidentes.

Para esto es necesario obtener la matriz de riesgo. La matriz de riesgo (índice o número) nos permite tomar decisiones sobre la aceptabilidad no del riesgo, bien asignar prioridades a las acciones recomendadas.

**Tabla 2.2. Definición de las palabras guía secundarias.**

| PALABRA GUÍA              | SIGNIFICADO Y COMENTARIOS   |
|---------------------------|---|
| NO                        | La completa negación de la intención. No se consiguen intenciones previstas en el diseño. Ejemplo: No hay flujo en la línea, con lo cual el paso en el procedimiento no se lleva a cabo.  |
| MÁS/<br>MENOS             | Aumentos o disminuciones cuantitativas sobre la intención del diseño. Se refiere a cantidades y propiedades físicas como: flujo, temperatura, calor, reacción, etc. Ejemplo: más/ menos temperatura, más/menos presión, mayor/menor viscosidad, mayor/menor velocidad de reacción, etc. También se refiere a que hace menos de lo requerido; por ejemplo: Cuando se purga un recipiente en menos tiempo de lo señalado, es decir, demasiado pronto en la secuencia. |
| ADEMÁS<br>DE              | Aumento cualitativo. Se consiguen las intenciones de diseño y ocurre algo más. Ejemplo: El vapor consigue calentar un reactor, pero además, provoca un aumento de temperatura en otros elementos.   |
| PARTE<br>DE               | Disminución cualitativa. Sólo parte de los hechos transcurren según lo previsto. Ejemplo: La composición del sistema es diferente de la prevista, se cierra sólo una válvula de bloqueo cuando el procedimiento dice cerrar las dos válvulas de bloqueo.  |
| INVERSIÓN<br>Ó<br>INVERSO | Se obtiene el efecto contrario al deseado. Ejemplo: El flujo transcurre en sentido inverso, tiene lugar la reacción inversa, veneno en lugar de antídoto, etc.  |
| EN VEZ<br>DE              | No se obtiene el efecto deseado. En su lugar ocurre algo completamente distinto. Ejemplo: Cambio de catalizador, falla en el modo de operación de una unidad, paro de operación imprevisto, etc.  |



Son varias las matrices de riesgo que podemos encontrar en cuanto a la literatura y cada compañía que hace estudios de riesgos usa su propia matriz de riesgos (ver tabla 2.3)

**Tabla 2.3. Matriz de riesgos.**

|            |    |   |   |   |          |
|------------|----|---|---|---|----------|
|            | 4  | 3 | 2 | 1 |          |
| FRECUENCIA | 6  | 4 | 3 | 1 | 1        |
|            | 7  | 6 | 4 | 3 | 2        |
|            | 9  | 7 | 6 | 4 | 3        |
|            | 10 | 9 | 7 | 6 | 4        |
|            |    |   |   |   | GRAVEDAD |

Para que la administración tenga control y seguimiento de los niveles de riesgos se clasifican de la siguiente manera:

- Clase A:** Inaceptable.
- Clase B:** Indeseable.
- Clase C:** Aceptable con controles.
- Clase D:** Aceptable como está.



---

**Clase A:** El grado de riesgo clase A tiene muy alta prioridad. El riesgo deberá mitigarse mediante controles de ingeniería y/o administrativos hasta un riesgo clase “C” o menor dentro de un período de seis (6) meses. De acuerdo con la matriz de riesgos que aquí se presenta, el grado de riesgo clase A tendrá un valor de 1 a 2.

**Clase B:** El grado de riesgo clase B tiene alta prioridad. El riesgo deberá mitigarse mediante controles de ingeniería y/o administrativos hasta un riesgo clase “C” o menor dentro de un período de doce (12) meses. De acuerdo con la matriz de riesgos que aquí se presenta, el nivel de riesgo clase B tendrá un valor de 3 a 4.

**Clase C:** El grado de riesgo clase C tienen prioridad media. Esto significa que la acción preventiva o correctiva que se tome deberá ser evaluada por la administración mediante un análisis costo-beneficio, aunque a diferencia del grado de riesgo anterior, la implementación de las recomendaciones podrá llevar un poco más de tiempo, ya que no es un riesgo muy crítico; deberá verificarse que los procedimientos o controles estén en su lugar, en uso y que sean efectivos. De acuerdo con la matriz de riesgos que aquí se presenta, el grado de riesgo clase C tendrá un valor de 5 a 6.

---



**Clase D:** El grado de riesgo clase D tiene baja prioridad. Esto quiere decir que la implementación de las recomendaciones sugeridas en el análisis mejorará aún más la seguridad pero el proceso puede seguir operando con seguridad aunque la recomendación no se implemente. De acuerdo con la matriz de riesgos que aquí se presenta, el grado de riesgo clase D tendrá un valor de 7 a 10.

Con los grados de riesgo y valores para la frecuencia y gravedad especificados, la matriz de riesgos queda de la siguiente manera (ver tabla 2.4).

**Tabla 2.4. Grados de riesgos.**

|  |   | Gravedad |   |   |   |            |  |
|--|---|----------|---|---|---|------------|--|
|  |   | 4        | 3 | 2 | 1 |            |  |
|  | C | B        | A | A | 1 | Frecuencia |  |
|  | D | C        | B | A | 2 |            |  |
|  | D | D        | C | B | 3 |            |  |
|  | D | D        | D | C | 4 |            |  |

Los escenarios potenciales para este tipo de matriz son los que corresponden a los números 1 y 3. Y para realizar un estudio completo es importante realizar un análisis de árbol de fallas tomando en cuenta los escenarios potenciales de accidentes identificados con la técnica HazOp.



---

Para determinar la probabilidad de que pueda ocurrir y causar daños a las personas dentro y fuera de la instalación, al medio ambiente y a la propiedad, se recomienda además hacer un análisis de consecuencias (AC), para establecer las medidas necesarias para reducir la probabilidad del riesgo potencial al menos para mitigar los daños y consecuencias.

#### **2.2.6.2. ANÁLISIS DE MODOS DE FALLAS Y SUS EFECTOS (FMEA)**

El análisis FMEA (del inglés Failure Modes and Effects Analysis) consiste en un examen de componentes individuales con el objetivo de evaluar el efecto que una falla de los mismos puede tener en el comportamiento del sistema. Es un análisis de duración considerable, que se realiza poniendo habitualmente énfasis en fallas de funcionamiento de componentes. El modo de falla puede identificarse con la pérdida de función de un componente (cuando deja de actuar), función prematura (actúa prematuramente, antes de que se produzca la demanda), función fuera de tolerancia falla característica física indeseada como puede ser una fuga pequeña, observada durante una revisión (modo de falla incipiente).

El análisis FMEA se lleva a cabo en equipo y requiere una documentación considerable como lo es: Diagramas de proceso, diagramas de tubería e instrumentación, diagramas eléctricos, procedimientos de operación, diagrama de lógica instrumental, información sobre controles e interdependencias.

---





---

El desarrollo del análisis de modalidades de falla y sus efectos comienza con la definición del sistema y el grado de detalle. En planta, el análisis de modalidades de falla y sus efectos debe enfocarse sobre los sistemas individuales (como el sistema de alimentación, de mezcla, de reacción, de separación, sistema de soporte, etc.) y los efectos de sus posibles modos de falla sobre la operación a nivel de planta y en cuanto al análisis a nivel de sistemas o subsistemas, el análisis se lleva a cabo sobre los equipos individuales (bomba de alimentación, del circuito, válvula de control, sensor de temperatura y alarma, etc).

La siguiente etapa consiste en definir un formato adecuado para el estudio. La finalidad es de conseguir una mayor coherencia en el análisis y así evaluarlo con una escala de 1 a 4; la escala 1 es sin efectos, la escala 2 y 3 corresponde a riesgos bajos sin requerir paro de planta y riesgos de importancia que requieren paro normal y la escala 4 corresponde al índice de riesgos graves.

El paso más importante es el de llenar un formulario, que consiste en la identificación de todos los modos de fallas relevantes y los efectos que producen, ya que los modos de fallas puede dar lugar a efectos diferentes, con distintos índices de gravedad.



---

El análisis FMEA es una herramienta más complementaria para la identificación y análisis de riesgos. Después de llenar el formulario se dispone a discutir todos los casos que requieran un estudio posterior (en muchos casos lleva consigo un análisis cuantitativo). Y por otro lado, los modos de falla identificados dan lugar a efectos relevantes que llevan consigo a acciones correctivas.

### 2.2.6.3. ANÁLISIS DE ÁRBOL DE FALLAS (FTA)

El análisis de árbol de fallas FTA (del inglés Fault Tree Analysis) es la representación lógica de las secuencias de acontecimientos que pueden conducir a un accidente **suceso culminante**. Cuando todas las secuencias razonables se han identificado y el árbol está bien construido, el análisis de árbol de fallas es posiblemente la herramienta más poderosa para la cuantificación de riesgos.

Con el análisis de árbol de fallas se calcula la frecuencia, probabilidad de ocurrencia de un suceso culminante (Top-Event), mediante la identificación de fallas mecánicas y humanas, que podrían conducir a este suceso.



---

Por ejemplo: la frecuencia o probabilidad de un incendio de un equipo ya que los datos históricos sobre incendio (con características especiales de diseño) no son aplicables, se debe calcular la frecuencia del incendio basado en el conocimiento sobre el uso del equipo (frecuencia de derrame, confiabilidad de las válvulas, respuesta del operador, etc).

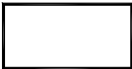

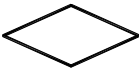


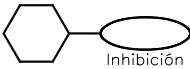

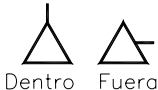
El análisis de árbol de fallas tiene varias aplicaciones en la industria química. La aplicación más común ha sido en el área de seguridad especialmente para el análisis en sistemas de control e interlocks. Este análisis puede ser utilizado durante el diseño, modificación u operación de las instalaciones. La aplicación del árbol de fallas nos permite evaluar la probabilidad de pérdida/accidente (evento culminante). Sin la cuantificación de la probabilidad de pérdida o accidente es difícil tomar una decisión con pleno conocimiento de la falla.

El análisis de árbol de fallas descompone un accidente en sus elementos contribuyentes, ya sean éstos, fallas humanas, de equipos de planta, sucesos externos, etc. El resultado es una representación lógica en la que aparecen cadenas de sucesos capaces de generar el suceso culminante que ocupa la cúspide del árbol de fallas. Para la representación lógica se utiliza la simbología que se muestra en la tabla 2.5.

---

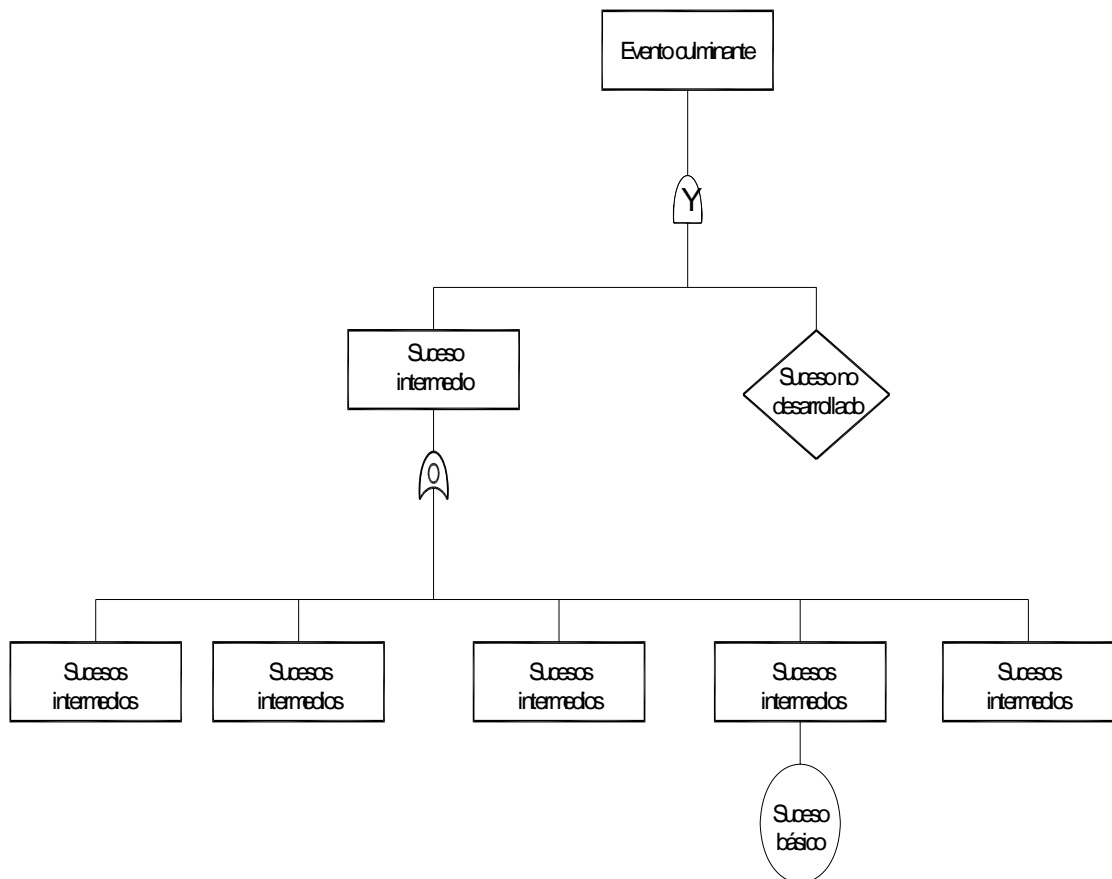


**Tabla 2.5. Simbología utilizada en el análisis de árbol de fallas.**

| Símbolo   | Aplicación  |
|---|---|
|    | Sucesos intermedios: Resultan de la interacción de otro suceso, que a su vez se desarrollan mediante puertas lógicas.   |
|    | Sucesos básicos: Constituyen la base de la raíz del árbol. No necesitan desarrollo posterior en otros sucesos.  |
|    | Sucesos no desarrollados: No son sucesos básicos y podrían desarrollarse más, pero el desarrollo no se considera necesario, o no se dispone de la suficiente información. |
|   | Puertas "O": Representan la operación lógica que requiere la ocurrencia de uno o más sucesos de entrada para producir el suceso de salida.                                |
|  | Puertas "Y": Representan la operación lógica que requiere la ocurrencia de todos los signos de entrada para producir el proceso de salida.                                |
|  | Puertas inhibición: Representan la operación lógica que requiere la ocurrencia del suceso de entrada y la satisfacción de una condición de inhibición.                    |
|  | Condición externa: Se utiliza para indicar una condición o un suceso que existe como parte del escenario en que se desarrolla el árbol de fallas.                         |
|  | Transferencias: Se utilizan para continuar el desarrollo del árbol de fallas en otra parte (por ejemplo, en otra página por falta de espacio).                            |



Una vez identificada la simbología se requiere de un esquema de análisis de árbol de fallas como el que se muestra en la figura 2.2.



**Figura 2.2. Esquema para el análisis de árbol de fallas.**

Antes de empezar a construir el árbol de fallas es importante tener un amplio conocimiento del funcionamiento del sistema. Para esto se deberá recopilar y entender la información relacionada con este sistema.



---

La metodología empleada en la elaboración de un análisis de árbol de fallas es la siguiente:

1. Identificar la falla del sistema (evento culminante) que va a ser analizada y ubicarla en la parte alta del árbol.
2. Proceder al próximo nivel del sistema o diagrama que llamaremos subsistema e identificar las fallas del subsistema que podrían conducir a la falla del sistema.
3. Determinar la relación lógica entre las fallas del subsistema que son requeridas para producir la falla del sistema. Puede ser el resultado de la combinación de fallas o la ocurrencia de cualquiera de las fallas identificadas.
4. Usar la estructura lógica de puertas “Y” u “O” para mostrar la relación de fallas del subsistema que producen la falla del sistema. La “Y” significa que las frecuencias o probabilidades deben ser multiplicadas y la “O” significa que estas deben ser sumadas.
5. Proceder al próximo nivel más bajo del sistema y repetir los pasos del 2 al 4 hasta que se hayan identificado todas las fallas del nivel de componentes.



6. Iniciar con datos de frecuencia o probabilidad de fallas en el nivel de componentes, calcular la frecuencia o probabilidad de las fallas descritas en el nivel ubicado arriba del nivel de componentes usando las puertas “Y” u “O”.

7. Continuar la estructura lógica indicada por las puertas “Y” u “O” en el árbol de fallas hasta que la probabilidad de la falla del sistema o evento culminante ha sido calculada.

En la literatura existen varios criterios para la asignación de probabilidades a los eventos básicos en un árbol de fallas las cuales se pueden observar en la tabla 2.6.

**Tabla 2.6. Probabilidades de eventos o sucesos.**

| <b>COMPONENTE</b>         | <b>PROBABILIDAD</b>   | <b>COMPONENTE</b>              | <b>PROBABILIDAD</b>   |
|---------------------------|-----------------------|--------------------------------|-----------------------|
| Falla de bomba            | $1 \times 10^{-1}$    | Error válvula de cierre rápido | $8.76 \times 10^{-2}$ |
| Falla de bomba centrifuga | $1.04 \times 10^{-4}$ | Error operacional              | $1 \times 10^{-1}$    |
| Falla de interruptor      | $1 \times 10^{-1}$    | Error de inspección            | $1 \times 10^{-1}$    |

**Tabla 2.6. Continuación...**

|                                    |                       |   |                       |
|------------------------------------|-----------------------|---|-----------------------|
| Falla de motor                     | $1 \times 10^{-3}$    | Error humano (ignición por soldadura o corte) | $1 \times 10^{-2}$    |
| Falla de corriente                 | $1 \times 10^{-1}$    | Tubería metálica (sección recta)              | $2.68 \times 10^{-8}$ |
| Falla alarma                       | $1 \times 10^{-1}$    | Tubería metálica (conexiones)                 | $5.7 \times 10^{-7}$  |
| Falla mecánica                     | $1 \times 10^{-4}$    | Válvula de control (neumática)                | $3.59 \times 10^{-6}$ |
| Falla de aplicación de soldadura   | $1 \times 10^{-2}$    | PSV's mal calibradas                          | $1 \times 10^{-1}$    |
| Falla de detectores de gas o fuego | $8.76 \times 10^{-2}$ | Corto circuito                                | $1 \times 10^{-1}$    |
| Falla de inspección (comisión)     | $1 \times 10^{-2}$    | Procedimiento no actualizado o difundido      | $5 \times 10^{-3}$    |
| Falla control de calidad           | $1 \times 10^{-3}$    | Omisión del procedimiento correspondiente     | $1 \times 10^{-2}$    |



**Tabla 2.6. Continuación...**

|  |                       |   |                       |
|--|-----------------------|---|-----------------------|
| Falla mantenimiento (calibración o recubrimiento anticorrosivo)    | $1 \times 10^{-2}$    | Fuga de gas por falla de línea                              | $1 \times 10^{-1}$    |
| Falla secundaria debido a efectos ajenos                           | $1 \times 10^{-9}$    | Falla al tomar la acción correcta después de la observación | $1 \times 10^{-3}$    |
| Falla operacional  | $1 \times 10^{-3}$    | Falla indicador de nivel                                    | $8.76 \times 10^{-2}$ |
| Falla alarma por alta presión                                      | $8.76 \times 10^{-2}$ | Falla alarma por alto nivel                                 | $8.76 \times 10^{-2}$ |
| Falla indicador de temperatura a la salida de los intercambiadores | $8.76 \times 10^{-2}$ | Falla de diseño o deterioro durante su servicio             | $1 \times 10^{-2}$    |



Una vez obtenida la probabilidad del evento culminante, mediante el árbol de fallas se determina la frecuencia probable de dicho evento con las ecuaciones dadas a continuación.

$$P = 1 - e^{(-F/t)}$$

donde P es la probabilidad de que ocurra un evento, F es la frecuencia de que ocurra un evento y t es el tiempo en 1 año entonces:

$$F = -\ln(1 - P)$$

Posteriormente con la tabla 2.7 se determina la frecuencia probable que suceda dicho evento.

**Tabla 2.7. Frecuencia de evento.**

| <b>PROBABILIDAD (P)</b> | <b>FRECUENCIA PROBABLE (F)</b>                                 |
|-------------------------|--|
| 1                       | Inminente (puede ocurrir en cualquier momento)                 |
| $1 \times 10^{-1}$      | Muy probable (ha ocurrido o puede ocurrir varias veces al año) |
| $1 \times 10^{-3}$      | Probable (ha ocurrido o puede ocurrir en un año)               |
| $1 \times 10^{-5}$      | Poco probable (no se ha presentado en 5 años)                  |
| $1 \times 10^{-7}$      | Improbable (no se ha presentado en 10 años)                    |
| $1 \times 10^{-9}$      | No se ve probabilidad de que ocurra                            |



---

#### **2.2.6.4. ANÁLISIS DE ÁRBOL DE SUCESOS (ETA)**

El análisis de árbol de sucesos ETA (del inglés Event Tree Analysis), evalúa las consecuencias que puede tener lugar a partir de un suceso determinado. No interesa tanto el cómo puede ser originado el suceso, sino cuáles son sus posibles resultados.

El análisis de árbol de sucesos hace énfasis en un suceso inicial que se supone que ya ha ocurrido, y se construye un árbol lógico que conecta dicho suceso inicial con los efectos finales, donde cada rama del árbol representa una línea de evolución que conduce a un suceso final (o a la ausencia de éste si una secuencia de circunstancias favorables es capaz de anular sus consecuencias). Además, es adecuado para las secuencias de los acontecimientos tras un accidente, esto permite analizar los escenarios posibles y establecer una jerarquía en cuanto a su gravedad.

El procedimiento para realizar un análisis de árbol de sucesos es el siguiente:

- Identificación de sucesos iniciadores relevantes.
- Identificación de las funciones de seguridad diseñadas para responder al suceso iniciador.
- Construcción de un árbol de sucesos.



- 
- Descripción de las cadenas de acontecimientos resultantes.

El suceso iniciador puede ser cualquier desviación importante, provocada por una falla de equipo o por un error humano. Este suceso inicial puede tener consecuencias muy diferentes dependiendo de las salvaguardas del sistema, de la reacción de los operadores del mismo y de las circunstancias.

El suceso iniciador puede dar origen a distintas secuencias de acontecimientos que deberán ser descritas a continuación.

Una vez realizadas las dos primeras etapas (identificación de sucesos indicadores y de las funciones de seguridad), se está en condiciones de acometer la construcción del árbol de sucesos hasta los efectos finales.

La estimación de la magnitud de éstos requiere, por lo tanto, el uso de modelos cuantitativos de análisis de consecuencias capaces de estimar los efectos finales para un escenario determinado.



---

#### 2.2.6.5. ANÁLISIS “WHAT IF” (¿QUE PASA SÍ?)

El análisis “What If” es menos estructurado que el análisis HazOp, por que en este análisis se requiere de una mayor experiencia por parte de los integrantes del equipo de trabajo ya que de lo contrario, se pueden omitir cosas importantes.

El objetivo es el de considerar las consecuencias negativas de posibles sucesos no deseados. El análisis **What If** utiliza la pregunta ¿Qué pasaría sí...? aplicada a las desviaciones en el diseño, construcción, modificación y operación de instalaciones industriales.

De la aplicación de la pregunta se obtienen sugerencias de sucesos iniciadores y fallas posibles, a partir de las cuales, puede producirse una desviación peligrosa. El análisis examina las posibles acciones correctivas, como puede ser, la modificación de los sistemas de emergencia, o la modificación de los procedimientos de operación para disminuir la probabilidad de una falla.



---

#### 2.2.6.6. ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS (AC)

El análisis de consecuencias proporciona información sobre los efectos que se producirían en caso de una explosión, ruptura de una línea de proceso de un recipiente que almacena un líquido peligroso, así como los efectos de una explosión, incendio de una nube de gas no confinada. Las explosiones e incendios pueden causar daños por quemaduras directas, por radiación térmica, daños por proyectiles, daños por ondas de presión.

En el análisis de consecuencias se deben estudiar los diferentes tipos de accidentes potenciales en establecimientos industriales que pueden producir fenómenos peligrosos para las personas, el medio ambiente y los bienes materiales. Estos tipos de accidentes potenciales se seleccionan a partir de un correcto análisis e identificación de riesgos y que pueden ser:

- Fugas o derrames incontrolados de sustancias peligrosas: líquidos o gases en depósitos y conducciones.
  - Evaporación de líquidos derramados.
  - Dispersión de nubes de gases, vapores y aerosoles.
  - Incendios de charco o **Pool fire**.
-



- 
- Dardos de fuego o **Jet fire**.
  
  - Deflagraciones no confinadas de nubes de gases inflamables o **UVCE**.
  
  - Estallido de depósitos o **BLEVE**.

#### **2.2.6.6.1 FUGAS O DERRAMES INCONTROLADOS DE SUSTANCIAS PELIGROSAS: LÍQUIDOS O GASES EN DEPÓSITOS Y CONDUCCIONES**

La mayoría de accidentes graves en los que intervienen sustancias peligrosas, comienzan con una fuga (ya sea en estado líquida o gas), de su lugar de confinamiento (depósitos, tuberías, reactores, válvulas, bombas, etc), por lo que hay que prestar una especial atención a este fenómeno.

Hay que distinguir tres tipos de fugas atendiendo al fluido de que se trate:

- Fugas de líquidos: Derrames de sustancias líquidas.
  
- Fugas de gas/vapor: Escapes de sustancias en fase gas.
  
- Fugas bifásicas: Mezclas de gas y líquido.



---

Según la duración y tamaño del escape:

- Fuga instantánea: Colapso del recipiente por vertido muy rápido.
- Fuga continua o semicontinua: Pérdida de contenido de magnitud y duración limitadas.

#### **2.2.6.6.2 EVAPORACIÓN DE LÍQUIDOS DERRAMADOS**

Cuando se produce una pérdida de contención o fuga en un depósito con un gas licuado bajo presión en su interior, se produce un descenso súbito de su presión hasta la presión atmosférica.

Este proceso de pérdida de presión da lugar a una evaporación súbita o "flash" ayudado además por estar sobrecalentado, es decir, por encima de su temperatura de ebullición.

Esta evaporación súbita hace que se arrastren considerables cantidades de líquido con el gas en el momento de la fuga. Parte de este líquido se evapora rápidamente y parte va a formar un charco, si el caudal de fuga es considerable y el tiempo es relativamente largo.

Tras esta rápida evaporación inicial, el charco formado enfría el suelo y la evaporación transcurre con mayor lentitud que la inicial. En cualquier caso, el caudal de evaporación depende de las condiciones ambientales, de

---





---

la presión de almacenamiento (su presión de vapor), temperatura, velocidad del aire, etc.

### **2.2.6.6.3. DISPERSIÓN DE NUBES DE GASES, VAPORES Y AEROSOL**

Cuando se produce una emisión de un gas o vapor a la atmósfera, ya sea procedente de una fuga de gas propiamente dicha o como consecuencia de la evaporación de un charco de líquido, dicho gas en contacto con la atmósfera sufre una dispersión por dilución del gas en la atmósfera y se extiende en ella arrastrado por el viento y las condiciones meteorológicas.

Los tipos de emisiones, por lo tanto, dependen de la naturaleza del gas (propiedades termodinámicas) y de la continuidad o discontinuidad de la emisión.

Una de las características principales que condiciona la evolución de un gas/vapor en la atmósfera es su densidad, distinguiéndose tres posibilidades:

- Gases ligeros: Densidad inferior a la del aire.
  
- Gases pasivos o neutros: Densidad similar a la del aire.
  
- Gases pesados: Densidad mayor que la del aire.

Como se ha comentado anteriormente, la dispersión de un gas puede proceder de una fuga de gas de un depósito o tubería a presión y como consecuencia de la fuga de

---



---

líquido que se evapora. Esto implica analizar el proceso desde dos puntos de vista:

1. Dispersión de chorro turbulento, a partir de una fuga de gas a presión.
2. Dispersión de nube neutra, para gases sometidos únicamente a las turbulencias atmosféricas.

#### **2.2.6.6.3.1. DISPERSIÓN DE CHORRO TURBULENTO**

Modelo simplificado de chorro de gas o vapor, a partir de una fuga de gas procedente de un depósito o tubería a presión. Para gases inflamables, el modelo se podría aplicar para determinar la longitud de un dardo de fuego, si se produjese la ignición del chorro, además de para la determinación de la dispersión de gas que formaría una hipotética explosión de vapor. Para fugas de gases tóxicos, se requiere posteriormente un análisis de la dispersión atmosférica del gas proveniente del chorro.

#### **2.2.6.6.3.2. DISPERSIÓN DE NUBE NEUTRA**

Este modelo describe el comportamiento de los gases/vapores de fuerza ascensional neutra, dispersados en la dirección del viento y arrastrados a la misma velocidad, es lo que se denomina modelo de Pasquill-Guifford para bocanadas de gases neutrales. Los modelos gaussianos son, en la mayoría de los casos, los más recomendables.

---



---

#### **2.2.6.6.4. INCENDIOS DE CHARCO O "POOL FIRE"**

Como consecuencia de un derrame, fuga o escape de líquidos inflamables, se forma un charco de líquido cuya extensión dependerá de la geometría y naturaleza del suelo. Por evaporación se generan gases inflamables si la temperatura del líquido está por encima de la temperatura de ignición de la sustancia, lo que puede conducir a un incendio del propio charco.

Al incendiarse se producen unas llamas, cuya altura depende principalmente del diámetro del charco y del calor de combustión.

El incendio también puede tener lugar en el interior de un tanque de almacenamiento de líquidos inflamables.

Los efectos perniciosos de estos accidentes son fundamentalmente de dos tipos:

- La radiación térmica generada por los incendios.
- Los efectos de los posibles gases tóxicos generados en la combustión.

El modelo que se propone permite calcular la velocidad de combustión y la radiación térmica que sufre un receptor sometido a un determinado incendio. Se estudian los incendios de líquidos que arden en forma circular o alargada.



---

Se utilizan modelos basados en ecuaciones semiempíricas clásicas para determinar la velocidad de combustión, que combinadas con otras determinan la radiación térmica y el flujo térmico incidente.

El cálculo de la emitancia (capacidad de un cuerpo real de emitir energía respecto al cuerpo negro) y la emisividad (capacidad de un cuerpo de emitir energía radiante) específica de la llama, así como el factor de visión y la absorción de la radiación por el humo y la atmósfera (fundamentalmente debido a la humedad relativa) conducen a los resultados finales de la radiación de calor a distintas distancias.

En concreto, se estudian los modelos tipo **charco** circulares. En el caso de charcos dentro de recipientes, se realiza como si fuera un charco circular, a partir de la superficie equivalente del charco.

#### **2.2.6.6.5. DARDOS DE FUEGO O “JET-FIRE”**

Tanto en las conducciones como en los depósitos de gas a presión, la aparición de una pequeña fisura en las paredes trae como consecuencia la descarga del gas contenido formando un chorro de gas a presión. Si durante la descarga este chorro entra en contacto con una fuente de ignición, el resultado será la formación de un incendio en forma de chorro o, como normalmente se le llama, dardo de fuego o "jet fire".



---

Los efectos de este tipo de accidentes son fundamentalmente los causados en el entorno por el calor generado e irradiado desde el dardo.

Para modelar el dardo de fuego se ha utilizado el modelo de Chamberlain (1987) propuesto por el "Yellow Book" del TNO. Este modelo calcula tanto la forma del dardo, representado como un cono truncado; como la radiación superficial emitida por dicho cono, considerado como cuerpo sólido.

A partir de la radiación superficial emitida desde el dardo, y junto con el cálculo del factor de visión y la transmisividad atmosférica determinamos tres distancias que nos delimitan zonas de peligrosidad de la radiación emitida por el dardo:

- Zona de intervención: delimita la zona alrededor del dardo de fuego sometida a una radiación de  $5 \text{ kW/m}^2$  con un tiempo máximo de exposición de 3 minutos.
- Zona de alerta: delimita la zona alrededor del dardo de fuego sometida a una radiación térmica de  $3 \text{ kW/m}^2$ .
- Zona de efecto dominó: se refiere a la zona donde elementos cercanos al punto de fuga pueden llegar a sufrir daños importantes por efecto de la radiación térmica generada por el propio dardo, como para dar lugar a nuevos accidentes. Por ejemplo, si un depósito de propano estuviese dentro de esta zona,



---

podría dar lugar a un BLEVE. En el caso del análisis de consecuencias en gasoductos, al no existir otros equipos próximos, este resultado quedará anulado.

#### **2.2.6.6.6. DEFLAGRACIONES NO CONFINADAS DE NUBES DE GASES INFLAMABLES O “UVCE”**

Las explosiones que se consideran aquí, son las denominadas explosiones de nubes de vapor no confinadas, traducción de la expresión inglesa Unconfined Vapour Cloud Explosion, y de ahí su acrónimo UVCE, que de ahora en adelante será denominado.

Se puede definir como deflagración explosiva de una nube de gas inflamable que se halla en un espacio amplio (aunque con ciertas limitaciones), cuya onda de presión alcanza una sobrepresión máxima del orden de 1 bar en la zona de ignición.

Este tipo de explosiones se originan debido a un escape rápido de gran cantidad de gas o vapor inflamable que se dispersa en el aire o por evaporación rápida de un líquido inflamable para formar una nube de características inflamables mezclada con el aire.

Cuando un gas inflamable se encuentra una fuente de ignición (normalmente superficies calientes, chispas, motores eléctricos, etc.), una parte de esta masa de gas (la que se encuentra entre los límites de inflamabilidad de la sustancia de que se trate), deflagra por efecto de la fuente de ignición y se produce la explosión.

---



---

Normalmente son deflagraciones y en raras ocasiones se transforman en detonaciones.

Puede que no llegue a alcanzarse la deflagración, con lo que se originaría una llamarada, incendio súbito de nube de gas, incendio flash o "flash fire". La frontera entre este tipo de situaciones no está muy clara y depende de la velocidad de combustión de la mezcla y las características del vapor. En estos incendios flash, los efectos de presión son despreciables frente a los efectos térmicos derivados de la inflamación de la mezcla vapor inflamable-aire.

#### **2.2.6.6.7. ESTALLIDO DE DEPÓSITOS O "BLEVE"**

El término BLEVE se utiliza para designar mediante su acrónimo en inglés una explosión mecánica en la que interviene un líquido en ebullición que se incorpora rápidamente al vapor en expansión. La traducción literal sería la de "expansión explosiva del vapor de un líquido en ebullición" correspondiente a "boiling liquid expanding vapour explosion", o BLEVE. Es un caso especial de estallido de un depósito en cuyo interior se almacena un líquido bajo presión.

Cuando se almacena un líquido a presión elevada la temperatura de almacenamiento suele ser notablemente mayor que su temperatura de ebullición normal.



Cuando se produce la ruptura del recipiente, el líquido de su interior entra en ebullición rápidamente debido a que la temperatura exterior es muy superior a la temperatura de ebullición de la sustancia. El cambio masivo a fase vapor, provoca la explosión del depósito porque se supera la resistencia mecánica del mismo. Se genera una onda de presión acompañada de proyectiles del propio depósito y piezas menores unidas a él que alcanzan distancias considerables. Además, en el caso de que la sustancia almacenada sea un líquido inflamable, se produce la ignición de la nube formando lo que se denomina bola de fuego que se irá expandiendo a medida que va ardiendo la masa de vapor.

La característica principal de una BLEVE es precisamente la expansión explosiva de toda la masa de líquido evaporada súbitamente. Normalmente, la causa más frecuente de este tipo de explosiones es debida a un incendio externo que envuelve al depósito en cuestión, debilita mecánicamente el material de que está hecho, lo que produce una fisura o ruptura del mismo, con la despresurización, ondas de presión y la BLEVE.

Por lo tanto, las consecuencias de una BLEVE de un depósito que almacena bajo presión un líquido inflamable son las siguientes:

- Sobrepresión por la onda expansiva.
  
- Proyección de fragmentos metálicos o proyectiles del depósito y piezas adyacentes.





- 
- Radiación térmica por la bola de fuego que se forma.

De todos los efectos, el que generalmente tiene un alcance mayor es el de la radiación por la bola de fuego. Los factores que influyen fundamentalmente en dicho efecto son el tipo y cantidad de producto y las condiciones ambientales, fundamentalmente temperatura y humedad relativa.

Con respecto al efecto de sobrepresión, depende fundamentalmente de la presión de almacenamiento, la relación de calores específicos del producto implicado y de la resistencia mecánica del depósito. La formación de proyectiles no está todavía del todo resuelta y normalmente se utiliza un método indirecto para su determinación y cuantificación.

Otro de los efectos secundarios nocivos que podrían producirse es el denominado efecto dominó, como consecuencia de que los efectos de sobrepresión, radiación y proyectiles alcancen a otros depósitos, instalaciones o establecimientos con sustancias peligrosas y generen en ellos a su vez otros accidentes secundarios propagando y aumentando las consecuencias iniciales.



**2.2.6.6.8. ECUACIONES PARA EL ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS**

Para un tanque cilíndrico vertical, con una presión P constante (para tanques abiertos a la atmósfera), puede demostrarse que la variación del caudal con el tiempo viene dada por:

$$m^*(Kg/s) = FcA\rho\sqrt{\left(\frac{2(5P - P_2)}{\rho} + 2gh_0\right)} - \frac{\rho g (FcA)^2 t}{A_R} \dots\dots\dots(1)$$

donde P es la presión en el espacio de vapor del tanque (igual a P<sub>2</sub> si el tanque está venteado a la atmósfera), h<sub>0</sub> es la altura inicial de líquido sobre el orificio, t<sub>f</sub> se obtiene haciendo m\* = 0 en la ecuación anterior, de donde:

$$t_f = \frac{A_R}{F_c A g} \sqrt{\frac{2(P - P_2)}{\rho} + 2gh_0} \dots\dots\dots(2)$$

y la cantidad total (kg) de líquido derramado hasta ese momento viene dada por

$$MT = ARh_0\rho \dots\dots\dots(3)$$

Si el vertido de líquido se produce no desde un orificio en la pared del tanque, sino a través de una perforación en la tubería de descarga, puede plantearse la siguiente ecuación:

$$m^*(Kg/s) = FcA\sqrt{2\rho(P_1 - P_2)} \dots\dots\dots(4)$$

o bien

$$m^*(Kg/s) = FcA\rho\sqrt{\frac{2(P - P_2)}{\rho} + 2gh} \dots\dots\dots(4a)$$



donde  $F_c$  es el coeficiente de descarga del orificio y  $A$  su área transversal ( $m^2$ )  $P_1$  y  $P_2$  son las presiones a ambos lados del orificio (Pa),  $P$  la presión total en el espacio de vapor del recipiente (Pa),  $h$  la altura del líquido sobre el orificio (m) y  $\rho$  la densidad del líquido ( $kg/m^3$ ). Para la estimación de los valores de  $A$  y  $F_c$  se requiere conocer el tipo de orificio y sus dimensiones.

Para el cálculo del diámetro del charco para un derrame continuo se recomienda la correlación de (Elia)

$$r = \left( \frac{t}{B} \right)^{0.75} \dots\dots\dots (4b)$$

Donde  $t$  es el tiempo en el que duro la descarga y

$$B = \left( \frac{9\pi\rho_l}{32gm''} \right)^{0.333} \text{ donde } m'' \text{ es la velocidad de descarga (kg/s).}$$



---

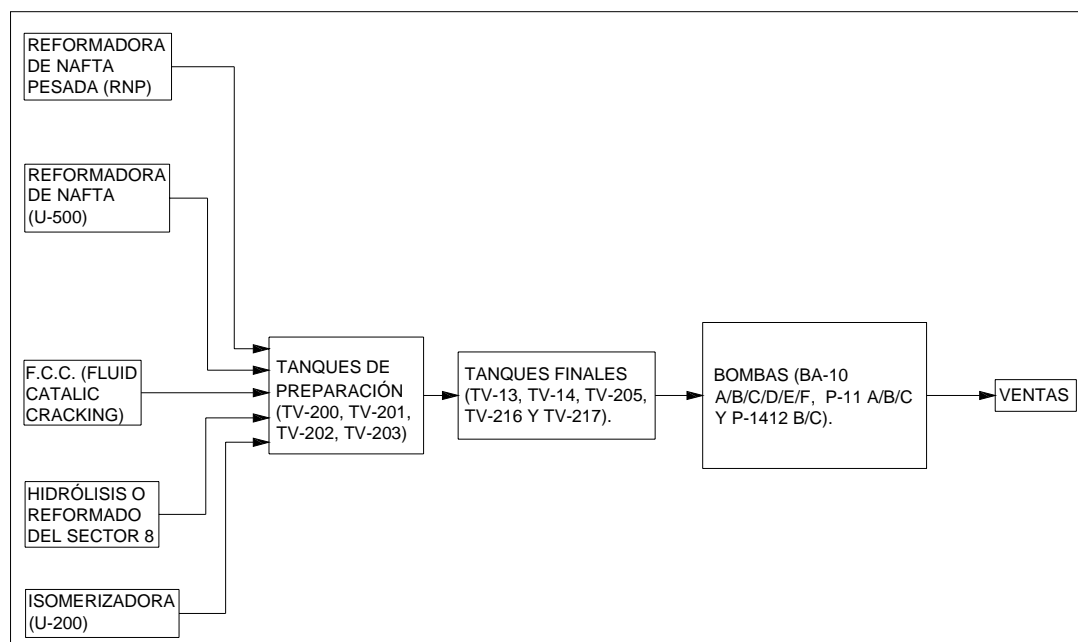
### **3.1. DESCRIPCIÓN DEL CIRCUITO DE GASOLINA MAGNA DE UN ÁREA DE ALMACENAMIENTO Y BOMBEO**

Los productos que se almacenan en una área de almacenamiento y bombeo (también conocida como movimientos de productos) en una refinería son: gasóleo, combustóleo, pemex diesel, kerosina, crudo, gas L. P y gasolina pemex Magna. Esta área se encuentra retirada de las plantas portadoras de los productos antes mencionados, es decir, que es exclusiva para el almacenamiento, bombeo y envío a ventas.

Las corrientes para el caso de la gasolina Magna provienen principalmente de las plantas: Isomerizadora, Reformadora de Nafta, Reformadora de Nafta Pesada, FCC (Fluid Catalic Cracking) y la de Hidrólisis o Reformado, para la cual, se cuenta con un manifold que se encarga de realizar la operación de mezclado en los tanques de preparación que son: TV-200 (capacidad nominal de 55000 bls. y de cúpula fija), TV-201 (capacidad nominal de 45000 bls. y de cúpula flotante), TV-202 (capacidad nominal de 55000 bls. y de cúpula flotante ), TV-203 (capacidad nominal de 55000 bls. y de cúpula flotante).



Una vez realizadas las pruebas de laboratorio, en el cual, se cumple con las normas de calidad establecida, por medio de gravedad se envían los productos a los tanques finales, los cuales son: TV-13 (capacidad nominal de 55000 bls. y de cúpula fija con membrana interna), TV-14 (capacidad nominal de 55000 bls. y de cúpula fija con membrana interna), TV-205 (capacidad nominal de 10000 bls. y de cúpula fija), TV-215 (capacidad nominal de 100000 bls. y de cúpula fija), TV-216 (capacidad nominal de 100000 bls. y de cúpula flotante) y el TV-217 (capacidad nominal de 10000 bls. y de cúpula fija con membrana interna). Una vez teniendo la gasolina pemex Magna en los tanques finales por medio del manifold se envía a las bombas: BA-10 A/B/C/D/E/F, P-11 A/B/C y P-1412 B/C para su distribución a ventas como se muestra en la figura 3.1.



**Figura 3.1. Diagrama de bloques de proceso del circuito de gasolina en el área de bombeo y almacenamiento.**



---

### **3.2. DESARROLLO DEL ANÁLISIS DE PELIGROS Y OPERABILIDAD (HazOp)**

Para el análisis de riesgos HazOp se requiere tener una descripción del proceso para poder analizar las posibles desviaciones que se pueda tener, tomando en cuenta los riesgos tanto al proceso, instalaciones y/o al personal.

La información necesaria para su estudio es la siguiente:

- Diagramas de tubería e instrumentación.
  
- Diagramas de flujo de proceso.
  
- Procedimientos de operación, de mantenimiento y de emergencia.
  
- Condiciones de operación y de proceso.
  
- Capacidades de diseño, materiales de construcción y especificaciones.

Con toda esta información se procede a actualizar los diagramas de tuberías e instrumentación mediante recorridos en la planta involucrada con el área de estudio.



---

Una vez teniendo toda la información necesaria se reúne el equipo de trabajo junto con los ingenieros especialistas a cargo del área para la elaboración del análisis HazOp. Para el análisis del circuito de gasolina se tomaron en cuenta los siguientes nodos:

Nodo 1: Recibo de gasolina de plantas (Isomerizadora, Reformadora de Nafta, Reformadora de Nafta Pesada, F. C. C. y Reformado) a tanques de preparación (TV-203,TV-201,TV-202,TV-200) ver tabla 3.1.

Nodo 2: Gasolina de tanque de preparación (TV-203, TV-201, TV-202, TV-200) a tanques finales (TV-13, TV-14, TV-205, TV-215, TV-216, TV-217) ver tabla 3.2.

Nodo 3: Gasolina de tanques finales (TV-13, TV-14, TV-205, TV-215, TV-216, TV-217) a bombas (BA-10 A/B/C/D/E/F, P-11 A/B/C Y P-1412 B/C) para su distribución a ventas ver tabla 3.3.



**TABLA 3.1. NODO 1: RECIBO DE GASOLINA DE PLANTAS (ISOMERIZADORA, REFORMADORA DE NAFTA, REFORMADORA DE NAFTA PESADA, F. C. C. Y REFORMADO) A TANQUES DE PREPARACIÓN (TV-203, TV-201, TV-202, TV-200)**



| Desviación: |   | 1. Bajo Octanaje.  | LOI:  | 87 octanos   | LOS:     | 87.2 octanos | LSI:     |   | LSS:  |  |
|-------------|---|--|---|--|----------|--------------|----------|---|-------|--|
| Causa       | Consecuencias   | Protecciones   | Recomendaciones   |  |          | F            | G        | R | Clase |  |
| 1           | 1. Descontrol operacional de las plantas aportadoras de gasolina (U-500). | 1. Producto fuera de especificación.<br>2. Incumplimiento con el programa de producción. | 1. Análisis de laboratorio.<br>2. Instrucción de trabajo para la formulación y preparación pemex Magna. | 1. Solicitar la revisión de condiciones de operación al área aportadora de gasolina.<br>2. Aumentar la frecuencia de los Análisis de control.<br>3. Hacer la mezcla más homogénea de las corrientes aportadoras. | 1<br>(2) | 1<br>(4)     | 1<br>(7) | D |       |  |
| 2           | 2. Deficiente mezclado de las corrientes aportadoras.                     | 1. Producto fuera de especificación.<br>2. Incumplimiento con el programa de producción. | 1. Análisis de laboratorio.<br>2. Instrucción de trabajo para la formulación y preparación Pemex Magna. | 1. Aumentar la frecuencia de los Análisis de control.<br>2. Hacer estudio técnico para mejorar el mezclado de las corrientes.  | 1<br>(2) | 1<br>(2)     | 1<br>(4) | B |       |  |





**TABLA 3.1. Continuación....**



| <b>Desviación:</b>  |   | <b>LOI:</b>   |  | <b>LOS:</b> |          | <b>LSI:</b> |              | <b>LSS:</b> |  |
|---|---|---|--|-------------|----------|-------------|--------------|-------------|--|
| 2. Alta presión de vapor (PVR).   |   | 7.8-9   |  | 9-10        |          |             |              |             |  |
| <b>Causa</b>  | <b>Consecuencias</b>  | <b>Protecciones</b>   | <b>Recomendaciones</b>   | <b>F</b>    | <b>G</b> | <b>R</b>    | <b>Clase</b> |             |  |
| <b>3</b> 1. Descontrol operacional de las plantas aportadoras de gasolina (FCC, U-200). | 1. Producto fuera de especificación.<br>2. Incumplimiento con el programa de producción.  | 1. Análisis de laboratorio.<br>2. Instrucción de trabajo para la formulación y preparación Pemex Magna.   | 1. Solicitar la revisión de condiciones de operación al área aportadora de gasolina.<br>2. Aumentar la frecuencia de los Análisis de control.<br>3. Hacer más homogénea la mezcla de las corrientes aportadoras. | 1<br>(2)    | 1<br>(3) | 1<br>(6)    | C            |             |  |
| <b>4</b> 2. Problemas de alineación de producto (rotulado no actualizado).              | 1. Producto fuera de especificación.<br>3. Presencia de humedad en la gasolina.<br>2. Incumplimiento con el programa de producción. | 1. Análisis de laboratorio. 2. Instrucción de trabajo para la formulación y preparación pemex Magna.<br>3. Programa de capacitación al personal de operación. | 1. Actualizar rotulado en líneas y equipos de acuerdo al producto que actualmente manejan. B.P.O.<br>2.-Continuar con el programa de capacitación al personal de operación.                                      | 1<br>(2)    | 1<br>(3) | 1<br>(6)    | C            |             |  |



**TABLA 3.1. Continuación....**



**Desviación:** 3. Alta Temperatura. **LOI:** 34 **LOS:** 48 **LSI:** **LSS:**

| Causa   | Consecuencias  | Protecciones   | Recomendaciones  | F     | G     | R     | Clase |
|---|--|--|--|-------|-------|-------|-------|
| 5 1. Descontrol operacional de las plantas aportadoras de gasolina (producto caliente). | 1. Probable daño a cúpulas flotantes y membranas internas.<br>2. Emisiones de vapores al ambiente.<br>3. Pérdida de producto por evaporación.<br>4. Contaminación ambiental. | 1. Análisis de laboratorio.<br>2. Instrucción de trabajo para la formulación y preparación Pemex Magna.<br>3. Recorridos operaciones del personal operativo.<br>4. Programa de capacitación al personal operación. | 1. Solicitar la revisión de condiciones de operación al área aportadora de gasolina.<br>2. Acordonar el área del tanque hasta controlar temperatura. | 1 (2) | 1 (4) | 1 (7) | D     |



**TABLA 3.1. Continuación....**



| <b>Desviación:</b>   |  | <b>LOI:</b>  | <b>LOS:</b>   | <b>LSI:</b> | <b>LSS:</b> |          |              |  |
|--|--|--|---|-------------|-------------|----------|--------------|--|
| 4. Alto contenido de azufre.   |  | 300<br>ppm/min   | 48<br>ppm/m   |             |             |          |              |  |
| <b>Causa</b>   | <b>Consecuencias</b>   | <b>Protecciones</b>  | <b>Recomendaciones</b>  | <b>F</b>    | <b>G</b>    | <b>R</b> | <b>Clase</b> |  |
| <b>6</b> 1. Descontrol operacional de las plantas aportadoras de gasolina. | 1. Producto fuera de especificación.<br>2. Aumento de velocidad de corrosión en líneas y tanques.<br>3. Incumplimiento del programa de producción. | 1. Análisis de laboratorio.<br>2. Instrucción de trabajo para la formulación y preparación pemex Magna.<br>3. Recorridos operaciones del personal operativo.<br>4. Programa de capacitación al personal operación.<br>5. Simulacros Operacionales. | 1. Solicitar la revisión de condiciones de operación al área aportadora de gasolina.<br>2. Aumentar la frecuencia de los Análisis de control. | 1 (2)       | 1 (4)       | 1 (7)    | D            |  |



**TABLA 3.2. NODO 2: GASOLINA DE TANQUE DE PREPARACIÓN (TV-203, TV-201, TV-202, TV-200) A TANQUES FINALES (TV-13, TV-14, TV-205, TV-215, TV-216, TV-217)**



**Desviación:** 5. Alto nivel en los tanques.

**LOI:** 20%

**LOS:** 90%

**LSI:**

**LSS:**

|          | <b>Causa</b>   | <b>Consecuencias</b>   | <b>Protecciones</b>  | <b>Recomendaciones</b>  | <b>F</b> | <b>G</b> | <b>R</b> | <b>Clase</b> |
|----------|--|--|--|---|----------|----------|----------|--------------|
| <b>7</b> | 1. Aumento de producción de las plantas aportadoras.       | 1. Sobre nivel de llenado operativo de los tanques.<br>2. Daños de la cúpula flotante.<br>3. Producto derramado a drenajes.<br>4. Contaminación ambiental.<br>5. Pérdidas económicas por derrame de producto.          | 1. Sistema de telemedición.<br>2. Alarmas por alto nivel.<br>3. Recorridos operacionales.<br>4. Simulacros operacionales.<br>5. Programa de capacitación al personal de operación. | 1. Disponer de un sistema de telemedición en confiable en tanques.<br>2. Elaborar programa de limpieza de drenajes.<br>3. Continuar con el programa de capacitación al personal de operación. | 1<br>(2) | 1<br>(3) | 1<br>(6) | C            |
| <b>8</b> | 2. Medición errónea por error humano (medición con cinta). | 1. Sobre nivel operativo de llenado de los tanques.<br>2. Daños de la cúpula flotante.<br>3. Posible derrame de producto a drenajes.<br>4. Contaminación ambiental.<br>5. Pérdidas económicas por derrame de producto. | 1. Sistema de telemedición.<br>2. Alarmas por alto nivel.<br>3. Recorridos operacionales.<br>4. Simulacros operacionales.<br>5. Programa de capacitación al personal de operación. | 1. Disponer de un sistema de telemedición en confiable en tanques.<br>2. Elaborar programa de limpieza de drenajes.<br>3. Continuar con el programa de capacitación al personal de operación. | 1<br>(3) | 1<br>(3) | 1<br>(7) | D            |



**TABLA 3.2. Continuación....**



| Desviación: |  | 6. Menos estructura en los tanques     |   | LOI:   | LOS: | LSI: | LSS:  |   |
|-------------|--|--|---|--|------|------|-------|---|
| Causa       | Consecuencias  | Protecciones                           | Recomendaciones                                       | F  | G    | R    | Clase |   |
| <b>9</b>    | 1. Fuga de producto (por corrosión en el cuerpo del tanque).           | 1. Derrame de gasolina.                | 1. Sistema de telemedición.                           | 1. Disponer de un sistema de telemedición en confiable en tanques.<br>2. Elaborar programa de limpieza de drenajes.<br>3. Continuar con el programa de inspección y calibración de espesores de tanques. | 1    | 1    | 1     | C |
|             |  | 2. Contaminación al ambiente.          | 2. Programa de inspección y calibración de espesores. |  |      |      |       |   |
|             |  | 3. Derrame de producto hacia drenajes. | 3. Recorridos operacionales del personal operativo.   |  |      |      |       |   |
|             |  | 4. Pérdidas económicas.                | 4. Programa de capacitación al personal operativo.    |  |      |      |       |   |
| <b>10</b>   | 2. Fuga de producto por línea de succión y/o recibo a tanques finales. | 1. Derrame de gasolina.                | 1. Programa de inspección y calibración de espesores. | 1. Elaborar programa de limpieza de Drenajes en tanques<br>3. Continuar con el programa de inspección y calibración de espesores en líneas.  | 1    | 1    | 1     | C |
|             |  | 2. Contaminación al ambiente.          | 2. Recorridos operacionales del personal operativo.   |  |      |      |       |   |
|             |  | 3. Derrame de producto hacia drenajes. | 3. Programa de capacitación al personal operativo     |  |      |      |       |   |
|             |  | 4. Pérdidas económicas.                |   |  |      |      |       |   |
|             |  | 5. Degradación de producto             |   |  |      |      |       |   |



**TABLA 3.2. Continuación....**



| <b>Desviación:</b>  |   | 3. Más contenido de humedad.  | <b>LOI:</b>   | 1 ppm | <b>LOS:</b> | 300 ppm  | <b>LSI:</b> |          | <b>LSS:</b>  |  |
|---|---|---|---|-------|-------------|----------|-------------|----------|--------------|--|
| <b>Causa</b>  | <b>Consecuencias</b>  | <b>Protecciones</b>   | <b>Recomendaciones</b>  |       |             | <b>F</b> | <b>G</b>    | <b>R</b> | <b>Clase</b> |  |
| <b>11</b> 1. Arrastre de humedad de las plantas aportadoras.              | 1. Humedad en tanques de preparación.<br><br>2. Emulsión de gasolina por movimiento.<br><br>3. Contaminación de producto por trasiegos a tanques finales. | 1. Medición de tanques con pasta para nivel de agua.<br><br>2. Análisis de laboratorio. | 1. Drenar los tanques antes de iniciar el bombeo o trasiego de acuerdo al procedimiento.<br><br>2. Las plantas aportadoras de gasolina deben revisar la humedad del producto. |       |             | 1<br>(3) | 1<br>(4)    | 1<br>(9) | D            |  |
| <b>12</b> 2. Por lavado de líneas y tanques para entrega a mantenimiento. | 1. Humedad en tanques de preparación.<br><br>2. Emulsión de gasolina por movimiento.<br><br>3. Contaminación por trasiegos a tanques                      | 1. Medición de tanques con pasta para nivel de agua.<br><br>2. Análisis de laboratorio. | 1. Drenar los tanques antes de iniciar el bombeo o trasiego de acuerdo al procedimiento.  |       |             | 1<br>(3) | 1<br>(3)    | 1<br>(7) | D            |  |



**TABLA 3.2. Continuación....**



**Desviación:** 4. Menor capacidad de almacenamiento de pemex Magna. **LOI:** 100000 bls **LOS:** 325000 bls **LSI:** **LSS:**

|           | <b>Causa</b>                               | <b>Consecuencias</b>  | <b>Protecciones</b>   | <b>Recomendaciones</b>  | <b>F</b> | <b>G</b> | <b>R</b> | <b>Clase</b> |
|-----------|--|---|---|---|----------|----------|----------|--------------|
| <b>13</b> | 1. Tanques en reparación.                  | 1. Falta de capacidad de almacenamiento de pemex magna.<br><br>2. Incumplimiento al programa de producción derrame de producto. | 1. Programa de mantenimiento a tanques.   | 1. Solicitar la asignación de presupuesto anual para la reparación de los tanques.  | 1<br>(2) | 1<br>(3) | 1<br>(6) | C            |
| <b>14</b> | 2. Almacenamiento de producto no conforme. | 1. Falta de capacidad de almacenamiento de pemex magna.<br><br>2. Incumplimiento al programa de producción                      | 1. Análisis de laboratorio.<br><br>2. Instrucción de trabajo para la formulación y preparación pemex Magna. | 1. Elaborar carta compromiso de las plantas aportadoras de gasolina para entrega producto de acuerdo a la especificación establecida. | 1<br>(3) | 1<br>(4) | 1<br>(9) | D            |



**TABLA 3.3. NODO 3: GASOLINA DE TANQUES FINALES (TV-13, TV-14, TV-205, TV-215, TV-216, TV-217) A BOMBAS(BA-10 A/B/C/D/E/F, P-11 A/B/C Y P-1412 B/C PARA SU DISTRIBUCIÓN A VENTAS.**



| Desviación: |   | 4. Menos nivel en tanque de pemex Magna TV-216, TV-13 y TV-301 |                                     | LOI: | LOS: | LSI: | LSS:  |     |     |  |
|-------------|---|--|-------------------------------------|------|------|------|-------|-----|-----|--|
| Causa       | Consecuencias                               | Protecciones   | Recomendaciones                     | F    | G    | R    | Clase |     |     |  |
| 15          | 1. Baja producción de plantas.              | 1. Bajos inventarios de pemex magna.                           | 1. Sistema de telemedición.         | 1    | 1    | 1    | D     | (3) | (7) |  |
|             |   | 2. Baja succión de los políductos.                             | 2. Alarma por bajo nivel.           |      |      |      |       |     |     | 2. Continuar con el programa de mantenimiento preventivo a instrumentos y alarmas. |
| 16          | 2. Aumento de programa de entrega a ductos. | 3. Paro de políductos.   | 3. Protecciones de equipo dinámico. | 1    | 1    | 1    | D     | (3) | (9) |  |
|             |   | 4. Incumplimiento con el programa de producción.               | 4. Recorridos operacionales.        |      |      |      |       |     |     | 3. Continuar con el Programa de capacitación al personal.                          |
|             |   | 5. Pérdidas económicas.  | 5. Procedimientos operativos.       |      |      |      |       |     |     |  |
|             |   | 1. Bajos inventarios de pemex Magna.                           | 1. Sistema de telemedición.         |      |      |      |       |     |     | 1. Disponer de un sistema de telemedición confiable.                               |
| 16          | 2. Aumento de programa de entrega a ductos. | 2. Baja succión de los políductos.                             | 2. Alarma por bajo nivel.           | 1    | 1    | 1    | D     | (3) | (9) |  |
|             |   | 3. Paro de políductos.   | 3. Recorridos operacionales.        |      |      |      |       |     |     | 3. Continuar con el Programa de capacitación al personal.                          |
|             |   | 4. Pérdidas económicas.  | 4. Procedimientos operativos.       |      |      |      |       |     |     |  |





**TABLA 3.3. Continuación....**



|    | <b>Causa</b>                         | <b>Consecuencias</b>  | <b>Protecciones</b>  | <b>Recomendaciones</b>   | <b>F</b> | <b>G</b> | <b>R</b> | <b>Clase</b> |
|----|--------------------------------------|---|--|--|----------|----------|----------|--------------|
| 17 | 3. Producto fuera de especificación. | 1. Bajos inventarios de pemex Magna.<br>2. Incumplimiento con el programa de producción.<br>3. Paro de políductos.<br>4. Pérdidas económicas. | 1. Análisis de laboratorio.<br>2. Instrucción de trabajo para la formulación y preparación de gasolina pemex Magna.<br>3. Programa de capacitación al personal de operación. | 1. Aumentar la frecuencia de los Análisis de control.<br>2. Elaborar carta compromiso de las plantas aportadoras de gasolina para entrega producto de acuerdo a la especificación establecida. | 1<br>(2) | 1<br>(4) | 1<br>(7) | D            |



**TABLA 3.3. Continuación....**



| <b>Desviación:</b>                    |   | <b>LOI:</b>   |   | <b>LOS:</b>   | <b>LSI:</b> | <b>LSS:</b> |              |   |
|---------------------------------------|---|---|---|---|-------------|-------------|--------------|---|
| <b>Causa</b>                          | <b>Consecuencias</b>  | <b>Protecciones</b>   | <b>Recomendaciones</b>  | <b>F</b>  | <b>G</b>    | <b>R</b>    | <b>Clase</b> |   |
| <b>4. Mayor flujo de pemex Magna.</b> |   |   |   |   |             |             |              |   |
| <b>18</b>                             | 1. Aumento del programa de bombeo.                              | 1. Bajo nivel en el tanque.<br>2. Baja presión de succión en el equipo dinámico | 1. Sistema de telemedición.<br>2. Programa de calibración a instrumentos. | 1. Disponer de un sistema de telemedición confiable.<br>2. Continuar con el programa de mantenimiento preventivo a instrumentos y alarmas.<br>3. Continuar con el Programa de capacitación al personal. | 1<br>(3)    | 1<br>(4)    | 1<br>(9)     | D |
| <b>19</b>                             | 2. Deficiente comunicación entre sectores (refinería y Ductos). | 1. Bajo nivel en el tanque.<br>2. Baja presión de succión en el equipo dinámico | 1. Sistema de telemedición.<br>2. Comunicación vía radio y/o telefónica   | 1. Disponer de un sistema de telemedición confiable.<br>2. Continuar con el Programa de capacitación al personal operativo.   | 1<br>(2)    | 1<br>(4)    | 1<br>(7)     | D |



**TABLA 3.3. Continuación....**



| Desviación: |                               | 4. Menos flujo de Pemex Magna.   |  | LOI:   | LOS:     | LSI:     | LSS:     |   |  |
|-------------|-------------------------------|--|--|--|----------|----------|----------|---|--|
| Causa       | Consecuencias                 | Protecciones   | Recomendaciones  | F  | G        | R        | Clase    |   |  |
| 20          | 1. Falla en equipo dinámico.  | 1. Incumplimiento con el programa de bombeo.<br><br>2. Alto nivel en tanques de almacenamiento                   | 1. Alarma por alto nivel.<br><br>2. Disparo de las bombas.<br><br>3. Programa de mantenimiento preventivo a equipo dinámico.<br><br>4. Programa de calibración a instrumentos.   | 1. Disponer de un sistema de telemedición confiable. | 1<br>(2) | 1<br>(3) | 1<br>(6) | D |  |
| 21          | 2. Baja existencia en tanques | 1. Incumplimiento al programa de producción.<br><br>2. Baja presión de succión.<br><br>3. Disparo de las bombas. | 1. Alarma por bajo nivel.<br><br>2. Programa de mantenimiento preventivo a equipo dinámico.<br><br>3. Programa de mantenimiento preventivo a instrumentos.<br><br>4. Recorridos operacionales.<br><br>5. Programa de capacitación a personal operativo | 1. Disponer de un sistema de telemedición confiable. | 1<br>(3) | 1<br>(4) | 1<br>(9) | D |  |



**TABLA 3.3. Continuación....**



| <b>Desviación:</b>   |  | <b>LOI:</b>   |   | <b>LOS:</b> | <b>LSI:</b> | <b>LSS:</b> |              |  |
|--|--|---|---|-------------|-------------|-------------|--------------|--|
| <b>Causa</b>   | <b>Consecuencias</b>   | <b>Protecciones</b>   | <b>Recomendaciones</b>  | <b>F</b>    | <b>G</b>    | <b>R</b>    | <b>Clase</b> |  |
| <b>4. Alta presión.</b>  |  |   |   |             |             |             |              |  |
| <b>22</b> 1. Bloqueo de estaciones y/o terminales de almacenamiento. | 1. Presionamiento en líneas.<br>2. Disparo de bombas por protección.<br>3. Posible fuga de producto.<br>4. Daños al ambiente.<br>5. Posible incendio<br>6. Pérdidas económicas | 1. Disparo de bombas por alta presión.<br>2. Programa de capacitación al personal de operación.   | 1. Revisar y/o mejorar los protocolos de comunicación entre ductos y refinería.<br>2. Continuar con el programa de capacitación al personal de operación. | 1<br>(3)    | 1<br>(4)    | 1<br>(9)    | D            |  |
| <b>23</b> 2. Equipo dinámico mal alineado (descarga bloqueada).      | 1. Disparo de bombas por protección.<br>2. Rompimiento de sellos.<br>3. Fuga de producto.<br>4. Contaminación ambiental.   | 1. Disparo de bombas por alta presión.<br>2. Programa de capacitación al personal de operación.<br>3. Procedimientos operativos.<br>4. Aplicación de las técnicas de seguridad VOTO, STOP, etc. | 1. Continuar con el programa de capacitación al personal de operación.<br>2. Continuar con los recorridos operacionales.                                  | 1<br>(3)    | 1<br>(4)    | 1<br>(9)    | D            |  |



**TABLA 3.3. Continuación....**



| Desviación: |                                | 4. Baja presión.   |  | LOI:  | LOS:     | LSI:     | LSS:     |   |  |
|-------------|--------------------------------|--|--|---|----------|----------|----------|---|--|
| Causa       | Consecuencias                  | Protecciones   | Recomendaciones  | F   | G        | R        | Clase    |   |  |
| 24          | 1. Mala alineación del tanque. | 1. Baja presión de succión.<br>2. Disparo del equipo dinámico.<br>3. Posibles daños al equipo dinámico.  | 1. Programa de capacitación al personal operativo.<br>2. Dispositivos de alarma.<br>3. Programa de mantenimiento a equipo dinámico.  | 1. Rotular líneas y equipos del área de bombeo y almacenamiento.<br>2. Continuar con el programa de capacitación a personal operativo.  | 1<br>(2) | 1<br>(3) | 1<br>(6) | D |  |
| 25          | 2. Bajo nivel del tanque.      | 1. Incumplimiento al programa de producción.<br>2. Baja presión de succión.<br>3. Disparo de las bombas. | 1. Alarma por bajo nivel.<br>2. Programa de mantenimiento de equipo dinámico.<br>3. Programa de mantenimiento a instrumentos.<br>4. Recorridos operacionales.<br>5. Programa de capacitación a personal operativo. | 1. Disponer de un sistema de telemedición confiable.<br>2. Continuar con el mantenimiento preventivo a equipo dinámico.<br>3. Continuar con el programa de capacitación al personal de operación. | 1<br>(3) | 1<br>(4) | 1<br>(9) | D |  |



**TABLA 3.3. Continuación....**



|    | Causa  | Consecuencias  | Protecciones   | Recomendaciones  | F        | G        | R        | Clase |
|----|--|--|--|--|----------|----------|----------|-------|
| 26 | 2. Posible fuga y/o TC (toma clandestina) en línea | 1. Paro del poliducto.<br>2. Incumplimiento al programa de bombeo.<br>3. Daños al ambiente.<br>4. Posible incendio.<br>5. Pérdidas económicas. | 1. Recorridos operacionales<br>2. Programa de mantenimiento preventivo a ductos.<br>3. Alarmas por variación de presión en las líneas. | 1. Dar seguimiento y cumplir el mantenimiento preventivo a ductos.<br>2. Realizar recorridos periódicamente a los ductos en operación. | 1<br>(2) | 1<br>(3) | 1<br>(6) | D     |



### 3.3. ANÁLISIS DE ÁRBOL DE FALLAS (FTA)

El análisis de árbol de fallas es muy importante como se mencionó en el capítulo anterior, ya que nos muestra las partes fundamentales de las causas del evento culminante y para ello da como resultado del análisis un diagrama estructurado de todos los eventos que pueden provocar un evento mayor.

- La metodología utilizada para la realización del análisis del árbol de fallas se describió a detalle en la sección 2.2.6.3.

Para complementar el análisis de árbol de fallas finalmente se compara la probabilidad del **evento culminante** que llamaremos “**EC**” obtenida con un potencial de pérdida correspondiente a la pérdida probable total (en dólares) que produciría si el accidente ocurre de acuerdo a la tabla 3.4.

**Tabla 3.4. Probabilidad en dólares.**

| POTENCIAL DE PÉRDIDA (P <sup>0</sup> ) | PÉRDIDA PROBABLE TOTAL (en dólares) |
|--|-------------------------------------|
| 1                                      | 1 a 100                             |
| 10 <sup>-1</sup>                       | 100 a 1,000                         |
| 10 <sup>-2</sup>                       | 1,000 a 10,000                      |
| 10 <sup>-3</sup>                       | 10,000 a 100,000                    |
| 10 <sup>-4</sup>                       | 100,000 a 1,000,000                 |
| 10 <sup>-5</sup>                       | 1,000,000 a 10,000,000              |
| 10 <sup>-6</sup>                       | 10,000,000 a 100,000,000            |
| 10 <sup>-7</sup>                       | 100,000,000 a 1,000,000,000         |
| 10 <sup>-8</sup>                       | Mayor de 1000,000,000               |



---

Los valores del potencial de pérdida y de pérdida probable total fueron tomados de literatura y es una relación aproximada de las pérdidas que se producirían en caso de que ocurriera el accidente en el área de almacenamiento y bombeo de gasolina magna.

Si la probabilidad del evento culminante es mayor que el potencial de pérdida, el riesgo no se acepta y es necesario reducir su probabilidad, mediante técnicas de reducción de riesgos. Si la probabilidad del evento culminante es menor que el potencial de pérdida, el riesgo puede aceptarse y es necesario controlarlo a su nivel actual.





---

### 3.3.1 DESCRIPCIÓN DEL EVENTO CULMINANTE

En este trabajo, la técnica de análisis de árbol de fallas fue usada para la evaluación cuantitativa del escenario incendio en el tanque final de gasolina Magna TV-216 que se utiliza para el envío de gasolina magna a casa de bombas para ventas y a muelles. En este escenario se considera, para fines de análisis, que la falta de instrumentación, alguna falla en las protecciones existentes, falta de mantenimiento, error humano puede dar lugar a un incendio en el tanque.

Este escenario fue identificado y seleccionado durante el análisis de peligros y operabilidad "HazOp". Para decidir si se acepta o no el riesgo se utiliza la relación del potencial de pérdida ( $P^0$ ) con la pérdida máxima probable (en dolares) mostrada en la tabla 3.4. Si consideramos que para el escenario, incendio en el tanque de gasolina magna TV-216, la pérdida es de 100,000 a 1 millón de dólares, el potencial de pérdida es entonces  $P^0=10^{-4}$ . Si la probabilidad de cualquiera de los escenarios es mayor que el potencial de pérdida ( $P^0$ ) el riesgo no puede ser aceptado y deben implementarse medidas preventivas para reducirlos.



En la tabla 3.6 se muestra el escenario de accidente, su causa y/o fundamento, así como también sus posibles consecuencias.

**Tabla 3.6. Escenario, causa/fundamento y consecuencias de accidente.**

| ESCENARIO DE ACCIDENTE                        | CAUSA / FUNDAMENTO  | CONSECUENCIAS               |
|---|---|-----------------------------|
| Incendio del tanque de almacenamiento TV-216. | Puede ser por falta de mantenimiento, fuga, corrosión, equipo en el límite de retiro. | Incendio y daños al tanque. |

La probabilidad del escenario potencialmente peligroso, se reduce a niveles de aceptabilidad, si se implementan las medidas preventivas recomendadas. En la tabla 3.7 se muestran los valores de probabilidad, para el escenario analizado, obtenido del análisis de árbol de fallas en las condiciones actuales del área de almacenamiento de gasolina, del análisis de árbol de fallas tomando en cuenta las medidas preventivas y recomendaciones para reducir estos valores de probabilidad.



**Tabla 3.7. Resultados del análisis de árbol de fallas.**

| ESCENARIO                    | $P_1$                 | $P^0$              | $P_1 \leq P^0$          |
|------------------------------|-----------------------|--------------------|-------------------------|
| Incendio en el tanque TV-216 | $4.83 \times 10^{-3}$ | $1 \times 10^{-4}$ | SE ACEPTA Y SE CONTROLA |

( $P_1$ ) Probabilidad de ocurrencia del evento con medidas preventivas.

( $P^0$ ) Potencial de pérdida.

### 3.4. ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS (AC)

Como se mencionó con anterioridad, el análisis de consecuencias puede proponer diferentes modelos matemáticos que simulan una gran parte de fenómenos como lo son: Fugas o derrames incontrolados de sustancias peligrosas como: líquidos o gases de depósitos y conducciones, evaporación de líquidos derramados, dispersión de nubes de gases, vapores y aerosoles, incendios o "Pool fire", dardos de fuego o "Jet fire", deflagraciones no confinadas de nubes de gases inflamables o "UVCE" y estallido de depósitos o "BLEVE".

El análisis nos permite desarrollar el escenario de **incendio de charco** (Pool-Fire) para obtener la magnitud y consecuencias que podría generar un evento como el que se describe seleccionando sus posibles causas, fundamentos y efectos, así como también de los modelos de evaluación de riesgos utilizados.

Descripción del escenario: **Incendio del tanque de gasolina Magna (TV-216).**



Para el análisis de consecuencias se utilizó un software especializado para simular los eventos y determinar los radios de afectación, conocido como PHAST (Process Hazard Analysis Software Tool) versión 6.0. Este software ha sido aceptado en México por el Instituto Nacional de Ecología (INE), en los Estados Unidos por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) y la Administración de Salud y Seguridad Ocupacional (OSHA), además de ser sugerido en la norma, para la determinación de consecuencias en una evaluación de riesgo.

A continuación se describen las consideraciones para la simulación de eventos.

1. Los datos necesarios para la evaluación del escenario son específicos de la sustancia, del tanque que la contiene y de las condiciones ambientales prevalecientes en el lugar donde se encuentra (ver tabla 3.8 y tabla 3.9).

Para la generación de eventos se utilizaron las siguientes fuentes:

- a. Los resultados obtenidos con la aplicación de la metodología HazOp.
  - b. Las estadísticas de incidentes y accidentes de la refinería.
2. Las composiciones de las mezclas generadas para este estudio, fueron tomadas de los datos reportados



en los libros de diseño de cada planta y del balance de materia de los diagramas de flujo de proceso.

3. Adicionalmente, para realizar las simulaciones en el software PHAST se tomaron las siguientes consideraciones:
  - a. El orificio es formado por corrosión en bridas, sellos de las válvulas y/o en las líneas analizadas; es de forma regular y de un diámetro determinado. El diámetro equivalente del orificio varía desde 3.17 mm (0.12pulg.) hasta 12.70 mm (0.5pulg.); para todos los escenarios se considera una fuga de 0,50" por corrosión debido a las condiciones del lugar.
  - b. Las condiciones de presión y temperatura se tomaron de los diagramas de flujo de proceso de cada equipo.
  - c. Se contempló un tiempo de duración de la fuga de 15 minutos, tomando en cuenta las siguientes consideraciones: tiempo máximo para la detección del evento por parte del personal y tiempo que ocupa el personal de mantenimiento u operación para llegar al lugar exacto de la fuga y controlarla.
  - d. Básicamente se consideraron tres condiciones ambientales: en la primera se consideró una velocidad del viento de 1.5 m/s con estabilidad ambiental clase F por ser las condiciones meteorológicas para el peor escenario, de acuerdo con el INE y con el **RMP Offsite Consequence**



---

**Analysis** de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA); en la segunda, se utilizó la velocidad del viento promedio de la región

de 2.77 m/s, con estabilidad ambiental clase A por ser las características promedio del sitio más favorables para generar eventos de riesgo y como tercera condición se utilizó la velocidad de 4.0 m/s con una estabilidad ambiental clase D, por ser las características promedio menos favorables para generar eventos de riesgo.

- e. Se consideró una temperatura ambiental media del área de 30°C y una humedad relativa media anual de 75%.
- f. Los radios que se presentan en caso de un evento de antorcha o chorro de fuego, se determinaron a partir de la evaluación de diferentes flujos térmicos y de los diferentes niveles de sobrepresión los cuales se indican en la tabla 3.10 y la tabla 3.11



**Tabla 3.8. Niveles de radiación.**

| <b>RADIACIÓN</b>   | <b>DESCRIPCIÓN</b>  |
|--|---|
| 1,4 kW/m <sup>2</sup><br>(443 BTU/h/ft <sup>2</sup> )    | Es el flujo térmico equivalente al del sol en verano y al medio día. Este límite se considera como <b>zona de seguridad</b> .   |
| 5,0 kW/m <sup>2</sup><br>(1 585 BTU/h/ft <sup>2</sup> )  | Nivel de radiación térmica suficiente para causar daños al personal si no se protege adecuadamente en 20 segundos, sufriendo quemaduras hasta de 2º grado sin la protección adecuada. Esta radiación será considerada como límite de <b>zona de amortiguamiento</b> . |
| 12,5 kW/m <sup>2</sup><br>(3 963 BTU/h/ft <sup>2</sup> ) | Es la energía mínima requerida para la ignición pilotada de la madera y fundición de tubería de plástico. Con 1% de letalidad en 1 minuto. Esta radiación se considerará para el personal y las instalaciones como <b>zona de alto riesgo</b> .                       |

**Tabla 3.9. Niveles de sobrepresión.**

| <b>PRESIÓN</b>                          | <b>DESCRIPCIÓN</b>   |
|---|--|
| 0,5 lb/pulg <sup>2</sup><br>(0,034 bar) | La sobrepresión a la que se presenta rupturas del 10% de ventanas de vidrio y algunos daños a techos; este nivel tiene la probabilidad del 95% de que no ocurran daños serios. Esta área se considerará como límite de la <b>zona de salvaguarda</b> .                   |
| 1 lb/pulg <sup>2</sup><br>(0,068 bar)   | Es la presión en la que se presenta destrucción parcial de casas y daños reparables a edificios; provoca el 1% de ruptura de tímpanos y el 1% de heridas serias por proyectiles. De 0.5 a 1 lb/pulg <sup>2</sup> se considerará como la <b>zona de amortiguamiento</b> . |
| 2 lb/pulg <sup>2</sup><br>(0,136 bar)   | A esta presión se presenta el colapso parcial de techos y paredes de casas. De 1 a 2 lb/pulg <sup>2</sup> se considera como la <b>zona de exclusión (riesgo)</b> .   |

La mayoría de los accidentes en refinerías son resultado de derrames de materiales tóxicos, inflamables y explosivos. Por ejemplo, un material es descargado por orificios originados por daños del material de los tanques, por fugas en uniones bridadas, sellos de bombas o por partes internas de válvulas y una gran variedad por otras fuentes.



**Tabla 3.10. Modelo para el análisis de consecuencias.**

| ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS                        |   |         |    |   |                                |
|--|---|---------|----|---|--------------------------------|
| TIPO DE ESCENARIO                                | CAUSA Y FUNDAMENTO  | EFECTOS |    |   | MODELO DE EFECTOS USADO        |
|  |   | RT      | OP | T |                                |
| 1. Incendio del tanque de Gasolina Magna TV-216. | El tanque se puede incendiar debido a la acumulación de energía estática, una tormenta eléctrica, formación de material pirofórico dentro del tanque, incendio de una nube de vapores o de un charco por derrame. | X       |    |   | Modelo de riesgos de incendio. |

RT: Radiación Térmica.

OP: Onda de Presión.

T: Dispersión de sustancia tóxica.

**Tabla 3.11. Datos para el análisis de consecuencias.**

| ESCENARIO                                       | DATOS INICIALES                 |   |
|---|---------------------------------|---|
|   | Parámetros de Operación         | Composición de las mezclas para la Gasolina Magna |
| Incendio del tanque de Gasolina Magna (TV-216). | Diam = 40 m<br>Altura = 13.51 m | N-BUTANO 12.713                                   |
|   |                                 | I-PENTANO 10.401                                  |
|   |                                 | N-PENTANO 18.104                                  |
|   |                                 | N-HEXANO 17.201                                   |
|   |                                 | N-HEPTANO 13.807                                  |
|   |                                 | TOLUENO 5.584                                     |
|   |                                 | N-OCTANO 9.691                                    |
|   |                                 | M-XILENO 2.727                                    |
|   |                                 | N-NONANO 5.672                                    |
|   |                                 | 3-METILNONANO 0.560                               |
|   |                                 | N-DECANO 2.664                                    |
|   |                                 | N-UNDECANO 0.877                                  |





---

---

#### 4.1. RESULTADOS Y CONCLUSIONES DEL ANÁLISIS DE PELIGROS Y OPERABILIDAD (HAZOP)

Una vez realizado el trabajo se cumplen con dos objetivos planteados desde su inicio, los cuales eran, identificar y evaluar los riesgos encontrados, así como dar recomendaciones como las que se muestra en la tabla 4.1, con el fin de mejorar la operabilidad y seguridad en el área de almacenamiento y bombeo, además de contribuir con la empresa para que ésta sea más segura.

Se puede concluir de manera general que toda actividad industrial implica una serie de riesgos, por lo que con este trabajo se trató de reducirlos y en su defecto controlarlos en una área de almacenamiento y bombeo de una refinería.

**Tabla 4.1. Recomendaciones del análisis HazOp.**

| <b>Recomendación</b>   |
|--|
| 1. Aumentar la frecuencia de los análisis de control.  |
| 2. Hacer un estudio técnico para mejorar el mezclado de las corrientes.  |
| 3. Disponer de un sistema de telemedición confiable en los tanques de almacenamiento, actualmente las lecturas son erróneas y poco confiables. |
| 4. Cuando el producto que se almacene emane vapores tóxicos se recomienda acordonar el área del tanque hasta controlar temperatura.            |
| 5. Actualizar rotulado en líneas y equipos de acuerdo al producto que actualmente se maneja.   |
| 6. Uso de equipo de protección de auto-contenido o autónomo cuando se drene el agua amarga de los tanques de almacenamiento.                   |

---

---



---

## 4.2. RESULTADOS Y CONCLUSIONES DEL ANÁLISIS DE ÁRBOL DE FALLAS (FTA)

Con la técnica de análisis de árbol de fallas se evaluó y cuantificó la probabilidad de ocurrencia de un escenario de accidente obtenido del HazOp, para decidir si se aceptaba o no el riesgo. En el desarrollo del análisis se encontró en un principio una probabilidad aceptable (ver tabla 4.2) y si se dan las recomendaciones adecuadas (ver tabla 4.3) se pueden controlar los riesgos y en su momento disminuir aún más el valor de probabilidad de ocurrencia del suceso.

**Tabla 4.2. Valor de probabilidad de ocurrencia del escenario de accidente seleccionado.**

| ESCENARIO                    | PROBABILIDAD SIN RECOMENDACIONES ( $P_1$ ) |
|------------------------------|--|
| Incendio en el tanque TV-216 | $P_1 = 4.8 \times 10^{-3}$                 |



**Tabla 4.3. Recomendaciones del análisis de árbol de fallas (FTA).**

| <b>RECOMENDACIONES</b>   |
|--|
| <ol style="list-style-type: none"><li>1. Contar con el sistema de telemedición al 100%.</li><li>2. Verificar que todas las conexiones a tierra física estén bien conectadas principalmente cuando se hace mantenimiento a tanques.</li><li>3. Cumplir con el programa de medición de nivel de tanques en campo.</li><li>4. Elaborar un programa de mantenimiento preventivo y predictivo a tanques.</li><li>5. Cumplir con el programa de recorridos operacionales.</li><li>6. Continuar con el programa de capacitación al personal de operación.</li></ol> |

Con lo anterior se concluye que para tener una industria segura, el análisis de árbol de fallas nos permite reducir, corregir y modificar la probabilidad de que ocurra un evento, encontrado en el desarrollo del análisis.

#### **4.3. RESULTADOS Y CONCLUSIONES DEL ANÁLISIS DE ÁRBOL DE CONSECUENCIAS (AC)**

Con los resultados de la tabla 4.4 se puede ver que se cumple con otro de los objetivos plateados al principio de este trabajo.



**Tabla 4.4. Nivel de radiación y área de afectación del análisis de consecuencias.**

| Nivel de radiación |                    | Incendio              |                     |                        |
|--------------------|--------------------|-----------------------|---------------------|------------------------|
|                    |                    | 1.4 kw/m <sup>2</sup> | 5 kw/m <sup>2</sup> | 12.5 kw/m <sup>2</sup> |
|                    |                    | Distancia (m)         | Distancia (m)       | Distancia (m)          |
| Categorías         | 1.5 m/s, <b>F</b>  | 55.793                | 35.95               | 28.22                  |
|                    | <b>2.77 m/s, A</b> | <b>54.88</b>          | <b>34.92</b>        | <b>27.86</b>           |
|                    | 4.0 m/s, <b>D</b>  | 53.80                 | 33.86               | 27.34                  |

Clase **F** por ser las condiciones meteorológicas para el peor escenario, de acuerdo con el INE y con el "RMP Offsite Consequence Analysis" de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA), clase **A** por ser las características promedio del sitio más favorables para generar eventos de riesgo y clase **D** por ser las características promedio menos favorables para generar eventos de riesgo.

Una vez teniendo el radio de afectación del área en estudio se procede a tomar medidas preventivas, para que en caso de que llegara a suceder el evento se mitigue adecuadamente y las consecuencias no sean tan graves.

#### **4.4. CONCLUSIONES GENERALES**

Para tener una empresa segura se debe contar con los programas de capacitación de seguridad para todo el personal (administrativo, sindicalizado, de confianza y contratistas), además de contar con los sistemas y equipos contraincendio en operación, así como también contar con una brigada de bomberos y un departamento interno médico y sobre todo tener una política de seguridad desde los niveles ejecutivos más altos.



---

Por lo anterior, en este trabajo se han aplicado diversas metodologías para identificar todos los posibles riesgos de una instalación, teniendo en cuenta diversos tipos de accidentes. De este estudio se vio la relevancia de las pérdidas ocasionadas por algún incidente en cuanto a lo económico y social, además de la importancia de la seguridad e higiene en la industria. Adicionalmente, se realizó este trabajo para tener conciencia de lo que son los peligros, riesgos y las causas que provocan un accidente.

La preocupación no solo es para el personal que labora dentro de las instalaciones, sino también es para la gente que vive a los alrededores, por lo cual, de este tipo de análisis se obtienen datos interesantes para realizar simulacros en conjunto con la población que habita alrededor de las instalaciones.

Por todo lo anterior se concluye que el análisis de riesgos es de gran importancia ya que nos permite encontrar, controlar, y saber la probabilidad de que suceda un evento o accidente no deseado.

También ayuda a verificar que los equipos cuenten con los dispositivos de control adecuados. Todo esto es muy importante, ya que permite proporcionar condiciones seguras para los trabajadores que laboran y las personas que habitan alrededor de las instalaciones, y también es muy importante cuidar al medio ambiente, así como, el no tener pérdidas económicas y que la única causa de paro en la planta sea para dar mantenimiento preventivo.

---



- 
1. Adolfo Rodellar Lisa. 1988. **Seguridad e Higiene en el Trabajo**. Alfaomega grupo editor, S. A. de C. V., Barcelona, España.
  2. American Society for Testing and Materials ASTM-D-86-90, **Standard Test Method For Distillation of Petroleum Products, Annual Book of ASTM standards**, 1991.
  3. **ARCHIE User's Manual** Version 1.0 Federal Emergency Management Agency and U. S. Environmental Protection Agency.
  4. Arthur D. Little Inc. Acorn Park, **Faultree User's Manual**, Cambridge, Massachusetts 1996.
  5. Brown, A. E. P. 1999. **Risk Analysis: An Investment in Engineering**. Process Safety Progress.
  6. **Control de riesgos de accidentes mayores**. Ed. ALFAOMEGA México 1985. Oficina Internacional del Trabajo Ginebra
  7. Crowl/Louvar; Prentice Hall, 1990. **Chemical Process Safety: Fundamentals with Applications**.
  8. **Guidelines for Hazard Evaluation Procedures**. Second Edition. April 1995. Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers New York.
  9. **Hazard Assessment and Risk Analysis Techniques for Process Industries**. Continuing Engineering Studies, College of Engineering, University of Texas at Austin A Short Course Presented at IMP, México (Junio, 1994).
-



- 
10. Ing. Jesús Arturo Butron Silva, Apuntes del Curso **Administración Integral del Riesgo (ARI)**, Presentado en la Facultad de Química Edificio E, ciudad Universitaria.
  11. J. R. Taylor, **Risk Analysis for process plant pipelines and Transport**, Chapman & Hall (1994).
  12. Kolluru, R. 1996. "Manual de Evaluación y Administración de Riesgos". Mc Graw Hill. New Cork, USA.
  13. Norma Oficial Mexicana NOM-\*086Ecol-1994 **Contaminación atmosférica especificaciones sobre protección ambiental que deben reunir los combustibles fósiles líquidos y gaseosos que se usan en fuentes fijas y móviles** Diario Oficial, viernes 2 de diciembre de 1994.
  14. Process Hazard Analysis Software Tool, **PHAST User's Manual**. Version 6.0.
  15. Raúl Sánchez Meza. **Curso de análisis de riesgos**. Facultad de Química. 2005
  16. Román Alberto/Palacios Javier. **Taller de análisis de riesgos**. Facultad de Química. 2002.
  17. Rodríguez Martínez Nicolás **Las Gasolinas sus características, su impacto en la operación de los vehículos y en el medio ambiente**. Rev. IMIQ, Vol. 31(1992).
  18. Santamaría Ramiro J. M y Braña Aisa, P. A., **Análisis y Reducción de Riesgos en la Industria**, Fundación MAPFRE (1994).
-



- 
19. Trevor A. Kletz, **Eliminating potential process hazards** Chemical Engineering, April 1, 1985.
  
  20. **The Guidelines Process Quantitative Risk Analysis**. Second Edition. 2000. Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers New York.
  
  21. Wiekeman, B. J. Directorate General of Labour, **Vapor Cloud Explosion, Methods for the Calculation of the Physical Effects of the Escape of Dangerous Materials**, Voobury Holanda 1979.

#### **Paginas Web visitadas**

**IMP** (Instituto Mexicana del Petróleo). [www.imp.mx](http://www.imp.mx)

**INE** (Instituto Nacional de Ecología). [www.ine.gob.mx](http://www.ine.gob.mx)

**SEMARNAT** (Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales). [www.semarnat.gob.mx](http://www.semarnat.gob.mx)

**UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA** [www.unizar.es](http://www.unizar.es)





---

## LISTA DE ABREVIATURAS

|         |  |
|---------|--|
| AC      | Consequences Analysis (Análisis de Consecuencias)  |
| ACE     | Análisis de Causa y Efecto   |
| API     | American Petroleum Institute   |
| ARP     | Análisis de Riesgo de Proceso  |
| ASME    | American Society of Mechanical Engineers (Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos)                      |
| ASTM    | American Society for Testing Materials (Sociedad Americana para Pruebas y Materiales)                      |
| BLEVE   | Boiling Liquid Expansion Vapor Explosion (Explosión de Vapor por la Expansión de un Líquido en Ebullición) |
| CL      | Check List (Lista de Comprobación)   |
| CHAFING | Chemical Accidents, Failure Incidents and Chemical Hazards Databank  |
| CHI     | Chemical Hazrd in Industry   |
| CNC     | Gas Comprimido   |
| CVCE    | Confined Vapor Cloud Explosion (Explosión de Nubes de Vapor Confinadas)                                    |
| DTI     | Diagrama de Tubería e Instrumentación  |
| EC      | Evento Culminante  |
| EPA     | Environmental Protection Agency (Agencia de Protección al Medio Ambiente)                                  |
| ETA     | Event Tree Analysis (Análisis de Árbol de Eventos)   |
| FMEA    | Federal Emergency Management Administration (Dirección Federal de Administración de Emergencias)           |
| FTA     | Fault Tree Analysis (Análisis de Árbol de Fallas)  |
| GIDT    | Gerencia de Investigación y Desarrollo Tecnológico   |
| GLP     | Gas Licuado de Petróleo  |
| HazOp   | Hazard and Operatility Analysis (Análisis de Peligros y Operabilidad)                                      |
| ICI     | Imperial Chemical Industries   |
| ID      | Índice Dow   |
| IM      | Índice Mond  |
| INE     | Instituto Nacional de Ecología   |
| IR      | Índice de Riesgo   |
| L.I.I.  | Limite Inferior de Inflamabilidad  |
| LFL     | Lower Flammable Limit (Limite Inferior de inflamabilidad)  |
| LGEEPA  | Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente   |
| LNG     | Gas Natural Licuado  |

---

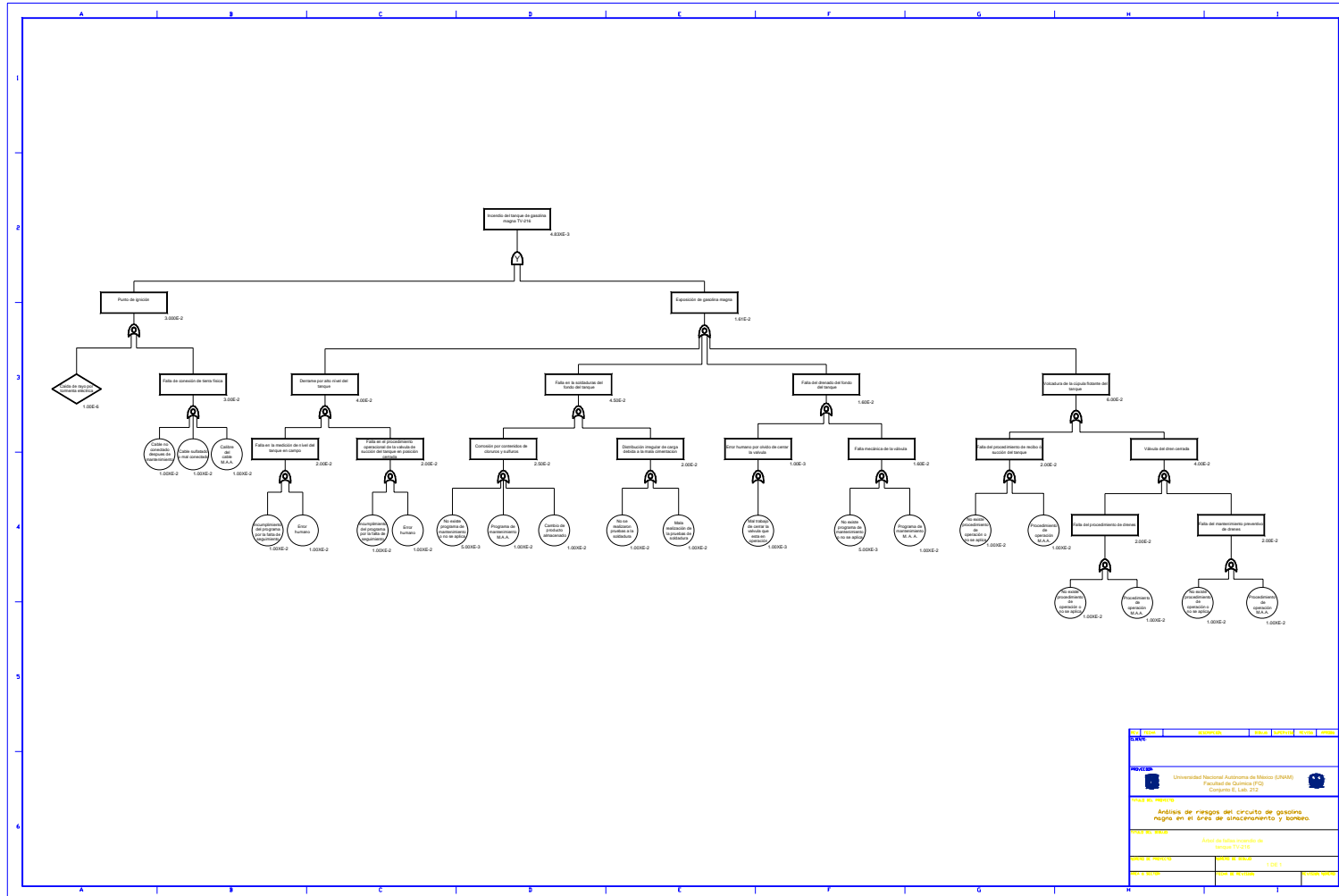


---

|          |   |
|----------|---|
| LPG      | Gas Licuado de Petróleo   |
| L.S.I.   | Límite superior de Inflamabilidad   |
| MDPP     | Máximo Daño Probable a la Propiedad   |
| MF       | Factor Material   |
| MSDS     | Material Safety Data Sheet  |
| NF       | Índice NFPA de Inflamabilidad   |
| NFPA     | National Fire Protection Association  |
| NH       | Índice NFPA de Peligrosidad para la Salud   |
| NR       | Índice NFPA de Reactividad  |
| NIOSH    | National Institute for Occupational Safety and Health (Instituto Nacional de Salud Ocupacional) |
| OP       | Onda de Presión   |
| OSHA     | Occupational Safety and Health Administration (Administración de Salud y Seguridad Ocupacional) |
| PEMEX    | Petróleos Mexicanos   |
| PHAST    | Process Hazard Analysis Safety Tool   |
| PVR      | Presión de Vapor de Reid (relativa)   |
| RT       | Radiación Térmica   |
| SAFETI   | Software for the Assessment of Flammable Explosive and Toxic Impacts                            |
| SEMARNAT | Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales  |
| SONATA   | Summary of Notable Accidents in Technical Activities  |
| SSPA     | Salud, Seguridad y Protección al Ambiente   |
| STOP     | Seguridad en el Trabajo Mediante la Observación Preventiva                                      |
| STPS     | Secretaría del Trabajo y Previsión Social   |
| UNAM     | Universidad Nacional Autónoma de México   |
| USEPA    | Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos   |
| UVCE     | Unconfined Vapor Cloud Explosion (Explosión de Nubes de Vapor no Confinadas)                    |
| VOTO     | Ver, Oír, Tocar y Oler  |
| WI       | What If (¿Que pasa sí...?)  |
| WOAD     | Word Wide Offshore Accident Databank  |
| LOI      | Límite de Operación Inferior  |
| LOS      | Límite de Operación Superior  |
| LSI      | Límite Seguridad Inferior   |
| LSS      | Límite de Seguridad Superior  |

---

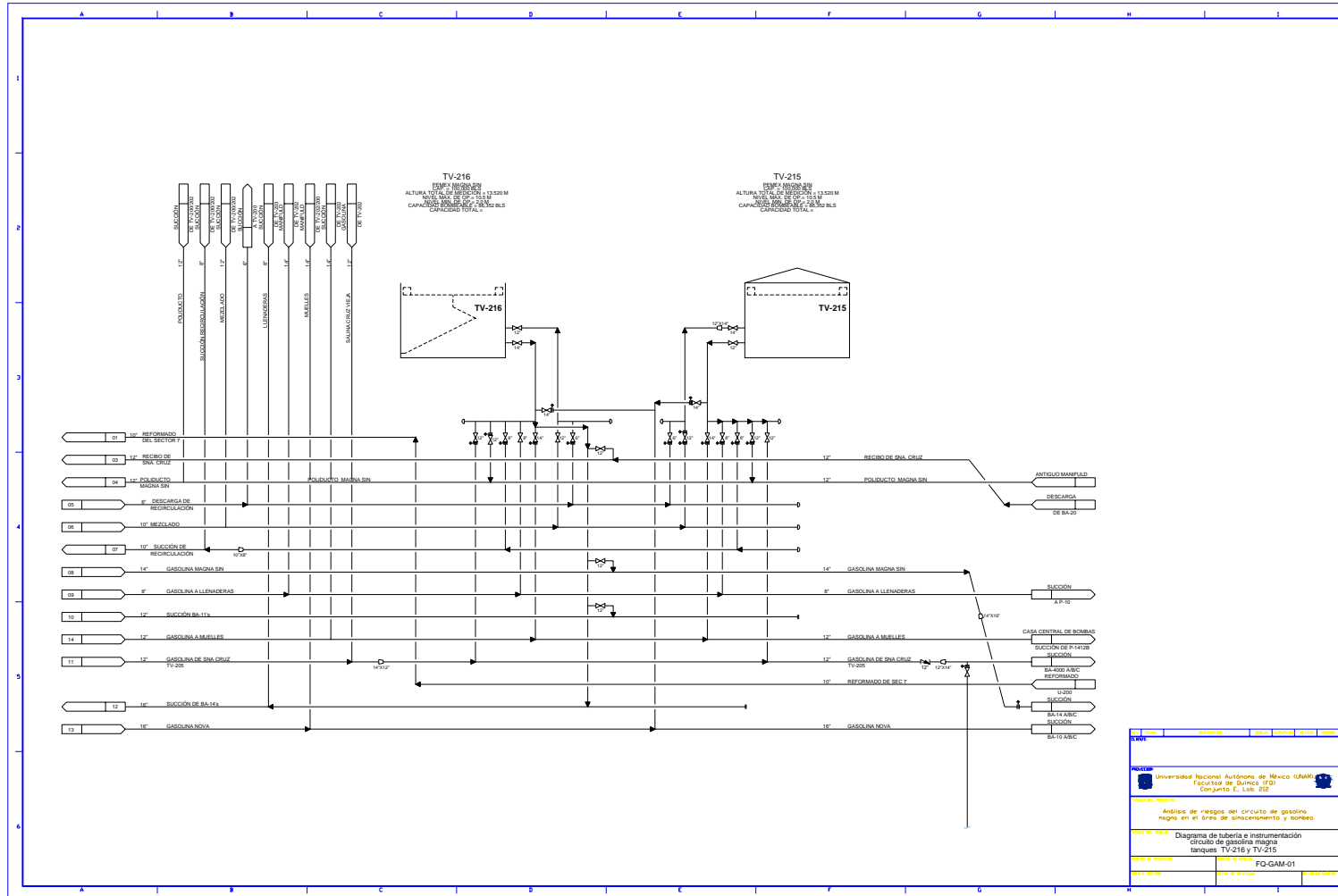
# Anexo B. Diagrama de Árbol de Fallas.



| ITEM  | DESCRIPCION | FECHA | ESTADO | OTRO | OTRO |
|---|-------------|-------|--------|------|------|
| 1   | ...         | ...   | ...    | ...  | ...  |
| <b>UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO (UNAM)</b><br>Facultad de Química (FQ) |             |       |        |      |      |
| Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (CITA)                            |             |       |        |      |      |
| Área de Investigación   |             |       |        |      |      |
| Proyecto de Investigación   |             |       |        |      |      |
| Título de la Investigación  |             |       |        |      |      |
| Autor de la Investigación   |             |       |        |      |      |
| Fecha de la Investigación   |             |       |        |      |      |
| Lugar de la Investigación   |             |       |        |      |      |



# Anexo C. Diagramas de Tubería e Instrumentación.



| NO. | ACCIONES | FECHA | ESTADO | OTRO | OTRO |
|-----|----------|-------|--------|------|------|
| 1   |          |       |        |      |      |
| 2   |          |       |        |      |      |
| 3   |          |       |        |      |      |
| 4   |          |       |        |      |      |
| 5   |          |       |        |      |      |
| 6   |          |       |        |      |      |
| 7   |          |       |        |      |      |
| 8   |          |       |        |      |      |
| 9   |          |       |        |      |      |
| 10  |          |       |        |      |      |
| 11  |          |       |        |      |      |
| 12  |          |       |        |      |      |
| 13  |          |       |        |      |      |
| 14  |          |       |        |      |      |
| 15  |          |       |        |      |      |
| 16  |          |       |        |      |      |
| 17  |          |       |        |      |      |
| 18  |          |       |        |      |      |
| 19  |          |       |        |      |      |
| 20  |          |       |        |      |      |
| 21  |          |       |        |      |      |
| 22  |          |       |        |      |      |
| 23  |          |       |        |      |      |
| 24  |          |       |        |      |      |
| 25  |          |       |        |      |      |
| 26  |          |       |        |      |      |
| 27  |          |       |        |      |      |
| 28  |          |       |        |      |      |
| 29  |          |       |        |      |      |
| 30  |          |       |        |      |      |
| 31  |          |       |        |      |      |
| 32  |          |       |        |      |      |
| 33  |          |       |        |      |      |
| 34  |          |       |        |      |      |
| 35  |          |       |        |      |      |
| 36  |          |       |        |      |      |
| 37  |          |       |        |      |      |
| 38  |          |       |        |      |      |
| 39  |          |       |        |      |      |
| 40  |          |       |        |      |      |
| 41  |          |       |        |      |      |
| 42  |          |       |        |      |      |
| 43  |          |       |        |      |      |
| 44  |          |       |        |      |      |
| 45  |          |       |        |      |      |
| 46  |          |       |        |      |      |
| 47  |          |       |        |      |      |
| 48  |          |       |        |      |      |
| 49  |          |       |        |      |      |
| 50  |          |       |        |      |      |
| 51  |          |       |        |      |      |
| 52  |          |       |        |      |      |
| 53  |          |       |        |      |      |
| 54  |          |       |        |      |      |
| 55  |          |       |        |      |      |
| 56  |          |       |        |      |      |
| 57  |          |       |        |      |      |
| 58  |          |       |        |      |      |
| 59  |          |       |        |      |      |
| 60  |          |       |        |      |      |
| 61  |          |       |        |      |      |
| 62  |          |       |        |      |      |
| 63  |          |       |        |      |      |
| 64  |          |       |        |      |      |
| 65  |          |       |        |      |      |
| 66  |          |       |        |      |      |
| 67  |          |       |        |      |      |
| 68  |          |       |        |      |      |
| 69  |          |       |        |      |      |
| 70  |          |       |        |      |      |
| 71  |          |       |        |      |      |
| 72  |          |       |        |      |      |
| 73  |          |       |        |      |      |
| 74  |          |       |        |      |      |
| 75  |          |       |        |      |      |
| 76  |          |       |        |      |      |
| 77  |          |       |        |      |      |
| 78  |          |       |        |      |      |
| 79  |          |       |        |      |      |
| 80  |          |       |        |      |      |
| 81  |          |       |        |      |      |
| 82  |          |       |        |      |      |
| 83  |          |       |        |      |      |
| 84  |          |       |        |      |      |
| 85  |          |       |        |      |      |
| 86  |          |       |        |      |      |
| 87  |          |       |        |      |      |
| 88  |          |       |        |      |      |
| 89  |          |       |        |      |      |
| 90  |          |       |        |      |      |
| 91  |          |       |        |      |      |
| 92  |          |       |        |      |      |
| 93  |          |       |        |      |      |
| 94  |          |       |        |      |      |
| 95  |          |       |        |      |      |
| 96  |          |       |        |      |      |
| 97  |          |       |        |      |      |
| 98  |          |       |        |      |      |
| 99  |          |       |        |      |      |
| 100 |          |       |        |      |      |

Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)  
 Facultad de Química (FQ)  
 Conjunto E, Lab. 815

TÍTULO DE ESTUDIO: Análisis de riesgos del circuito de gasolina magna en el área de almacenamiento y bombeo.

TÍTULO DE PROYECTO: Diagrama de tubería e instrumentación circuito de gasolina magna tanques TV-216 y TV-215.

NOMBRE DEL PROYECTO: FQ-GAM-01

FECHA DE ELABORACIÓN: 2024

FECHA DE REVISIÓN:

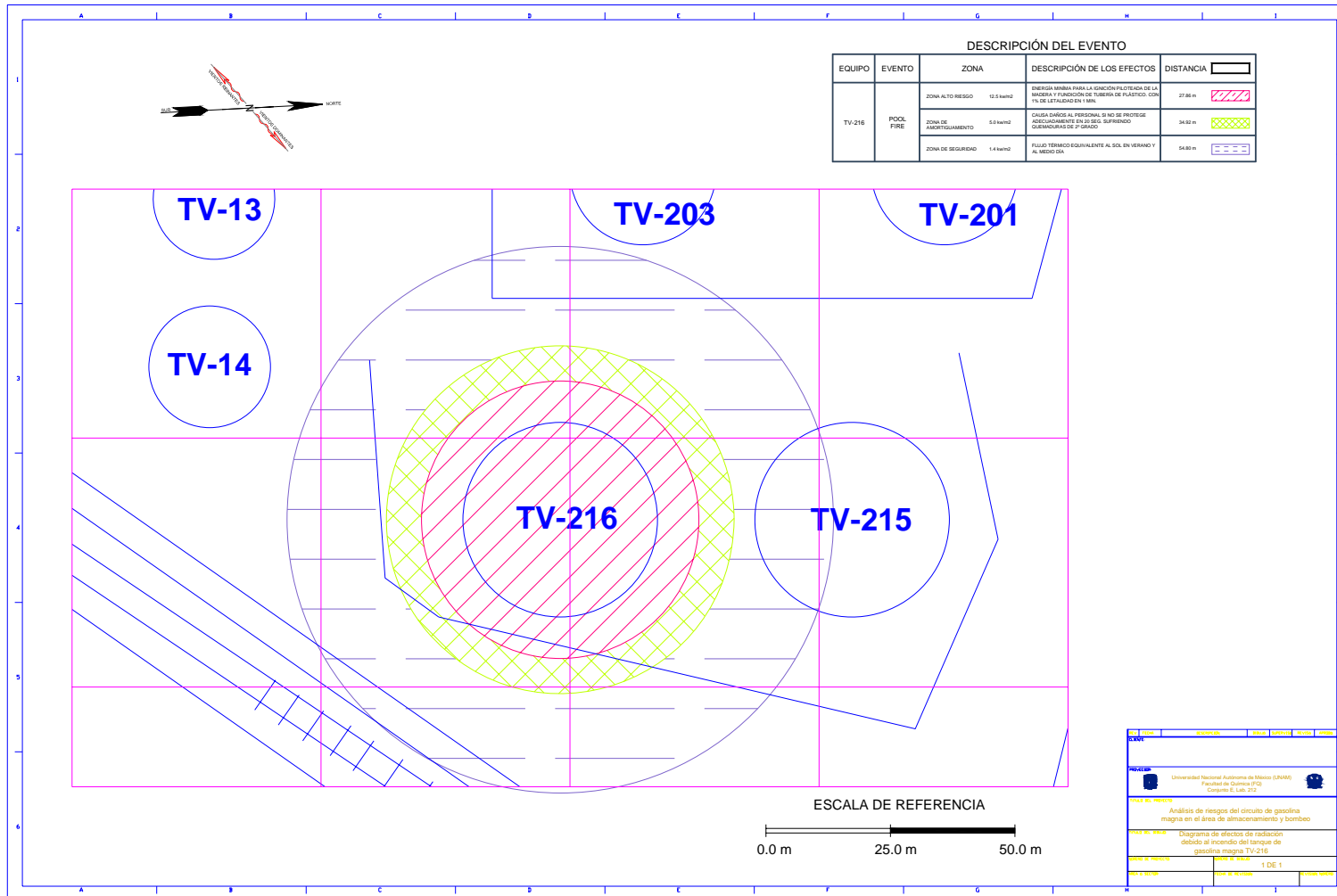








Anexo D. Diagrama de Análisis de Consecuencias.





## AUDITORIA DE SEGURIDAD INDUSTRIAL Y PROTECCIÓN AMBIENTAL

### GERENCIA DE SEGURIDAD INDUSTRIAL

#### HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD PARA SUSTANCIAS

##### GASOLINA PEMEX MAGNA

|                |           |           |   |        |          |
|----------------|-----------|-----------|---|--------|----------|
| Número de HDSS | PR-107/98 | Revisión: | 2 | Fecha: | 20/10/98 |
|----------------|-----------|-----------|---|--------|----------|

**Nota: Leer y comprender esta hoja de datos antes de manipular o disponer del producto.**

#### SECCIÓN I. DATOS GENERALES

##### FABRICANTE:

##### PEMEX REFINACIÓN

Subdirección de Producción

Av. Marina Nacional No. 329. Colonia Huasteca  
Delegación Cuauhtémoc, México, D. F., C.P. 11311

Teléfonos: 52 54-46-92 y 55 31-60-23

##### CONSULTAS A HOJAS DE DATOS:

Gerencia de Seguridad Industrial

Teléfono: (01)-52-50-27-56  
(01)-52-54-25-45

##### EN CASO DE EMERGENCIA LLAMAR A

##### SETIQ1:

Interior de la República: 01-800-00-214 (las 24 hrs.)

En el Distrito Federal: 55-59-15-88 (las 24 hrs.)

##### ASISTENCIA TÉCNICA:

Gerencia de Control de Producción.

Teléfono: (01)-52-54-47-35

#### SECCIÓN II. DATOS GENERALES DEL PRODUCTO

| Nombre químico | Hidrocarburo           | Fórmula química    | De C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> a C <sub>9</sub> H <sub>20</sub> |
|----------------|------------------------|--------------------|--|
| Nombre común   | Gasolina Magna sin     | Estado físico      | Líquido  |
| Sinónimos      | Gasolina               | Clasificación DOT2 | Clase 3 líquidos inflamables.                                      |
|                | Combustible automotriz | Respuesta inicial  | Guía 128 (GRENA 96)12  |

**Descripción general del producto:** Mezcla compleja de hidrocarburos parafínicos, olefínicos, nafténicos y aromáticos, derivados del procesamiento del petróleo, a la que se agregan pequeños porcentajes de antidetonantes, inhibidores, etc. Obligatoria en todo el país a partir de 1998, excepto Z.M. de las Cds. de México, Guadalajara, Monterrey y Zona Fronteriza Norte.



### SECCIÓN III. IDENTIFICACIÓN DE COMPONENTES

| COMPONENTE         | % (VOL, PESO) |           | NÚMERO ONU4 | CPT5/CCT6 (ppm) | IPVS7 | GRADO DE RIESGO |    |     |     |
|--------------------|---------------|-----------|-------------|-----------------|-------|-----------------|----|-----|-----|
|                    |               |           |             |                 |       | S8              | I9 | R10 | E11 |
| Gasolina Magna sin | 100 v.        | 8006-61-9 | 1203        | 300/            |       | 1               | 3  | 0   |     |
| Aromáticos         | Reportar      |           |             |                 |       |                 |    |     |     |
| Olefinas           | Reportar      |           |             |                 |       |                 |    |     |     |
| Benceno            | 4.9 v. máx.   | 71-43-2   | 1114        | 10/             |       | 2               | 3  | 0   |     |
| Azufre             | 0.10 p. máx.  | 7704-34-9 | 2448        | No disponible   |       | 2               | 1  | 0   |     |

1 Sistema de Emergencias en el Transporte para la Industria Química.

2 Clasificación del Departamento de Transporte de U.S.

3 Chemical Abstract Service Number.

4 Número asignado por la Organización de las Naciones Unidas.

5 Concentración Promedio Ponderada en el Tiempo (TWA).

6 Concentración para Corto Tiempo (STEL).

7 Inmediatamente Peligrosa para la Vida o la Salud.

8 Grado de Riesgo a la Salud.

9 Grado de Riesgo de Inflamabilidad.

10 Grado de Riesgo de Reactividad.

11 Grado de Riesgo Especial.

12 Guía de Respuesta de Emergencia Norteamericana

### SECCIÓN IV. PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS

| Peso Molecular                      | Variable                          | % de volatilidad           | Esencialmente 100         |
|-------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------|---------------------------|
| Temperatura de ebullición (°C)      | 225 @ 760 mm Hg. (Temp. Fin. Eb.) | Color (Método visual)      | Rojo                      |
| Temperatura de fusión (°C)          | No disponible                     | Olor                       | Característico a petróleo |
| Densidad de vapor (aire = 1)        | 3.0 - 4.0                         | Solubilidad en agua        | Insoluble                 |
| Densidad relativa (H2O = 1)         | 0.680 - 0.760                     | pH                         | No aplica                 |
| Presión de vapor Reid (ASTM D4953)  | 7.8 - 15 lb/pulg <sup>2</sup>     | Índice de Octano (R + M)/2 | 87 mínimo                 |
| Vel. Evaporación (Butil-Acetato =1) | Menor que 0.1                     |                            |                           |



## SECCIÓN V. RIESGOS DE FUEGO Y EXPLOSIÓN

|  |               |  |           |     |
|--|---------------|--|-----------|-----|
| Temperatura de inflamación (°C)  | -38           | Límites de inflamabilidad o explosividad | Inferior: | 1.4 |
| Temperatura de autoignición (°C)   | No disponible |  | Superior: | 7.6 |
| <p><b>Productos de la combustión nocivos para la salud.</b>-La combustión genera Monóxido de Carbono y Bióxido de Carbono. <b>Condiciones que conducen a otros riesgos especiales.</b>- Este producto es un líquido extremadamente inflamable, puede incendiarse fácilmente a temperatura normal, sus vapores son mas pesados que el aire por lo que se dispersarán por el suelo y se concentrarán en las zonas bajas. Esta sustancia puede almacenar cargas electrostáticas debidas al flujo o movimiento. Los vapores de este producto no controlados que alcancen una fuente de ignición, pueden provocar una explosión. La ropa, trapo o materiales similares contaminados con este producto y almacenados en espacios cerrados, pueden sufrir combustión espontánea. Los recipientes que hayan almacenado este producto pueden contener residuos de él, por lo que no deben presurizarse, calentarse, cortarse, soldarse o exponerse a flamas u otras fuentes de ignición. <b>Procedimiento y precauciones especiales en el combate de incendios.</b>-Utilice agua en forma de rocío para enfriar las superficies expuestas y proteger al personal que intenta eliminar la fuga. Continuar el enfriamiento de los contenedores, aún después de que el fuego haya sido extinguido. Eliminar la fuente de fuga si es posible hacerlo sin riesgo. Si la fuga o derrame no se ha incendiado, utilice agua en forma de rocío para dispersar los vapores. Permitir que el fuego arda bajo condiciones controladas, o extinguir empleando polvo químico seco o espuma. Tratar de cubrir el líquido derramado con espuma. Evite introducir agua directamente dentro del contenedor. En caso de incendio masivo, utilice soportes fijos para las mangueras o chiflones reguladores; si no es posible, retírese del área y deje que arda. Aislar el área de peligro, mantener alejadas a las personas innecesarias y evitar situarse en las zonas bajas. <b>Equipo de protección personal.</b>-El personal que efectúa labores de combate de incendio en edificios o en áreas confinadas donde se almacena este producto, debe emplear equipo de respiración autónomo y traje de protección completo. Emplear traje para bombero profesional. <b>Medio de extinción.</b>-En incendios pequeños: emplear polvo químico seco, agua en forma de rocío, espuma o Bióxido de Carbono. En incendios mayores: emplear agua en forma de rocío o espuma regular; no utilizar chorro de agua.</p> |               |  |           |     |

## SECCIÓN VI. RIESGOS DE REACTIVIDAD

|   |   |
|---|---|
| <p><b>Estabilidad.</b>-En condiciones normales esta sustancia es estable.</p>   | <p><b>Incompatibilidad (sustancia a evitar).</b>- Evitar el contacto de este producto con materiales oxidantes fuertes y con fuentes de ignición.</p> |
| <p><b>Polimerización espontánea/condiciones a evitar.</b>-Esta sustancia no presenta Polimerización. <b>Descomposición en componentes o productos peligrosos.</b>-A temperaturas elevadas, esta sustancia puede generar gases tóxicos o inflamables (descomposición térmica). La combustión de esta sustancia genera humos, Monóxido de Carbono y Dióxido de Carbono.</p> |   |



---

## SECCIÓN VII. RIESGOS A LA SALUD

**EFFECTOS POR EXPOSICIÓN AGUDA. Contacto con los ojos.**-El contacto de esta sustancia con los ojos causa irritación, pero no daña el tejido ocular. Este producto causa sensación de quemadura severa, con irritación temporal e hinchazón de los párpados. La concentración de vapores entre 160 y 270 p.p.m. en el aire, irritará los ojos. **Piel (contacto y absorción).**-Baja toxicidad. El contacto frecuente o prolongado puede irritar la piel y causar salpullido (dermatitis). **Inhalación.**-La exposición a concentraciones elevadas de vapores causan irritación a los ojos, nariz, garganta y pulmones; puede causar dolor de cabeza y mareos; puede ser anestésico y puede causar otros efectos al sistema nervioso central. Causa sofocación (asfixiante), si se permite que se acumule a concentraciones que reduzcan la cantidad de Oxígeno por abajo de niveles de respiración seguros. Debe evitarse respirar vapores y neblinas de esta sustancia. Es asfixiante, la exposición a atmósferas con concentraciones excesivas de vapores de gasolina, puede causar un colapso repentino, coma y la muerte. Contiene pequeñas cantidades de sustancias como el Benceno y el n-Hexano; el Benceno puede causar desórdenes o daños a la sangre o al sistema productor de sangre; el n-Hexano puede causar daño a los nervios periféricos (por ejemplo dedos, pies y brazos) En altas concentraciones, los componentes de la gasolina pueden causar desórdenes en el sistema nervioso central. **Ingestión.**-Baja toxicidad. Produce irritación de la mucosa de la garganta, esófago y estómago. La exposición extrema a esta sustancia deprime el sistema nervioso central; los efectos pueden incluir la anestesia, coma, paro respiratorio y arritmia cardiaca.

**EFFECTOS POR EXPOSICIÓN CRÓNICA. Contiene Benceno.** Estudios de salud humana (epidemiología) indican que la sobreexposición prolongada y/o repetida a Benceno puede causar daño al sistema productor de sangre y serios desórdenes en la sangre, incluyendo Leucemia. Pruebas en animales sugieren que la sobreexposición prolongada y/o repetida a Benceno puede dañar el embrión/feto. La relación entre los estudios en animales a humanos, no están totalmente establecidos. **Contiene n-Hexano.** La exposición prolongada y/o repetida puede causar daño a sistema nervioso periférico (dedos, pies, brazos, etc.) Los estudios indican que esta sustancia es cancerígena en animales. La relación de estos resultados en humanos no está totalmente establecida

**CONSIDERACIONES ESPECIALES.** Cancerígeno \*Indicar: Mutagénico Teratogénico Otros\* **Información complementaria.**-El Benceno, componente de la gasolina, es calificado por la NOM-010-STPS y por la ACGIH como potencialmente cancerígeno para el hombre, basados en evidencias epidemiológicas limitadas y establece niveles máximos permisibles de 10 p.p.m. Instituciones que clasifican (NIOSH, OSHA, ACGIH. Incluir NOM-010-STPS):

## PROCEDIMIENTO DE EMERGENCIA Y PRIMEROS AUXILIOS

### Contacto con los ojos.-

En caso de contacto con los ojos, lavar inmediatamente con agua limpia corriente por lo menos durante 15 minutos, o hasta que la irritación disminuya.

Si la irritación persiste obtenga atención médica inmediatamente.

---



---

### **Contacto con la piel.-**

Retirar inmediatamente y confinar la ropa y calzado contaminados. Lavar la parte afectada con abundante agua, empleando jabón si se encuentra disponible.

Lavar ropa y calzado antes de reusarlos.

Mantener a la víctima abrigada y en reposo.

En caso de que la víctima presente algún síntoma anormal, obtener atención médica inmediatamente.

### **Ingestión.-**

Mantener a la víctima abrigada y en reposo.

Mantener a la víctima acostada de lado, de esta manera disminuirá la posibilidad de aspiración de gasolina a los

pulmones en caso de vómito .

No provocar vómito por ser peligrosa la aspiración del líquido a los pulmones. Si espontáneamente se presenta el vómito, observar si existe dificultad para respirar.

Solicitar atención médica inmediatamente.

### **Inhalación.-**

En situaciones de emergencia utilice equipo de protección respiratoria apropiado para retirar inmediatamente a la

víctima afectada por la exposición.

Si la víctima respira con dificultad, administrar Oxígeno.

Si la víctima no respira, aplicar respiración artificial.

---



---

¡CUIDADO! el método de respiración artificial de boca a boca puede ser peligroso para la persona que lo aplica, ya que ésta puede inhalar materiales tóxicos, infecciosos o corrosivos. Mantenga a la víctima abrigada y en reposo. Las personas expuestas a atmósferas con altas concentraciones de vapores o atomizaciones de este producto, deben trasladarse a una área libre de contaminantes y con aire fresco. Solicitar atención médica.

#### **Otros riesgos o efectos a la salud.-**

La exposición prolongada de vapores de gasolina, puede producir signos y síntomas de intoxicación similares a los producidos por el Heptano, tales como depresión del sistema nervioso central; sin embargo, estos síntomas pueden variar dependiendo del tiempo de exposición, de la concentración de vapores y de la composición del producto.

#### **Datos para el Médico.-**

El personal médico debe tener conocimiento de la identidad y características de esta sustancia.

Si la cantidad de gasolina ingerida es considerable, el Médico debe practicar un lavado estomacal.

En tanto se aplica el lavado estomacal, debe colocarse a la víctima acostado de lado para que en caso de presentarse vómito, disminuya la posibilidad de aspiración de gasolina hacia los pulmones.

Cuando la aspiración de vapores de gasolina causa paro respiratorio, procédase de inmediato a proporcionar respiración artificial hasta que la respiración se restablezca.

#### **Antídoto (dosis, en caso de existir).-**

No se tiene información.

### **SECCIÓN VIII. INDICACIONES EN CASO DE FUGA O DERRAME**

#### **Generales.**

Llamar primeramente al número telefónico de respuesta en caso de emergencia.

Eliminar las fuentes de ignición.

No tocar ni caminar sobre el producto derramado.

---



---

Detener la fuga en caso de poder hacerlo sin riesgo.

De ser posible, los recipientes que lleguen a fugar deben ser trasladados a una área bien ventilada y alejada del resto de las instalaciones y de fuentes de ignición, el producto deberá trasegarse a otros recipientes que se encuentren en buenas condiciones, observando los procedimientos establecidos para esta actividad.

Mantener alejado al personal que no participa directamente en las acciones de control; aislar el área de riesgo y prohibir el acceso.

Permanecer fuera de las zonas bajas y en un sitio donde el viento sople a favor.

Debe evitarse la introducción de este producto a vías pluviales, alcantarillas, sótanos o espacios confinados, ya que por su volatilidad desprende vapores que forman mezclas explosivas o inflamables, capaces de recorrer grandes distancias hasta encontrar una fuente de ignición.

En caso de fuga o derrames pequeños, cubrir con arena u otro material absorbente no combustible.

En caso de ocurrir una fuga o derrame, aislar inmediatamente una área de por lo menos 50 metros a la redonda.

Cuando se trate de derrames mayores, tratar de confinarlo, recoger el producto y colocarlo en tambores para su disposición posterior. En caso de emplear equipos de bombeo para recuperar el producto derramado, deben ser a prueba de explosión.

Ventile los espacios cerrados antes de entrar.

El agua en forma de rocío puede reducir los vapores, pero no puede prevenir su ignición en espacios cerrados.

Utilizar cortina de agua para reducir los vapores o desviar la nube de vapor. Todo el equipo que se use para el manejo del producto, debe estar conectado eléctricamente a tierra.

El producto residual y material contaminado, debe considerarse residuo peligroso si su temperatura de inflamación es menor que 60°C y por tanto requerirá su disposición en una instalación aprobada para residuo peligroso.

---





---

### **Recomendaciones para evacuación.**

Cuando se trate de un derrame grande, considere una evacuación inicial a favor del viento, de por lo menos 300 metros.

En caso de que un tanque, carrotanque o autotanque esté involucrado en un incendio, considere un aislamiento y evacuación inicial de 800 metros a la redonda.

## **SECCIÓN IX. PROTECCIÓN AL PERSONAL**

### **Equipo de protección personal.-**

La selección del equipo de protección personal dependerá de las condiciones de uso. Donde es probable el contacto con los ojos repetido o prolongado, utilice gafas de seguridad con protección lateral, mangas largas y guantes resistentes a productos químicos.

Donde el contacto es poco probable, pero que puede ocurrir como resultado de exposiciones cortas o periódicas, utilice gafas de seguridad con protección lateral.

Donde la concentración en el aire puede exceder los Límites de Exposición Ocupacional indicados en la sección III, y donde la ingeniería, las prácticas de trabajo u otros medios para reducir la exposición no son adecuados, puede ser necesario el empleo de equipos de protección respiratoria aprobados para prevenir la sobreexposición por inhalación.

No utilizar lentes de contacto cuando se trabaje con esta sustancia.

### **Otros.-**

En el área donde se maneje este producto, debe considerarse la colocación de estaciones de regaderas-lavaojos en sitios estratégicos. Las estaciones deben estar accesibles, operables en todo momento y bien identificadas.

---



---

## **Ventilación.-**

Debe trabajarse en áreas bien ventiladas.

Debe proveerse ventilación mecánica cuando se trate de espacios confinados.

Debe emplearse equipo de ventilación mecánica a prueba de explosión.

Las muestras de laboratorio deben manejarse en una campana de extracción.

## **SECCIÓN X. INFORMACIÓN SOBRE TRANSPORTACIÓN**

1.-Las unidades de arrastre de autotransporte y ferroviarias empleadas en el transporte de sustancias peligrosas, deben cumplir lo dispuesto en las Normas Oficiales Mexicanas aplicables, emitidas por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

2.-Las unidades de autotransporte y ferroviarias empleadas en el transporte de sustancias peligrosas, deben usar carteles de identificación; y deben portar el número con el que las Naciones Unidas clasifica al producto que se transporta. Estas indicaciones deben apearse a los modelos que se indican en la NOM-003-SCT2-1994.

3.-Antes de iniciar las operaciones de llenado, debe verificarse que el contenedor esté limpio, seco y en condiciones apropiadas para la recepción del producto.

4.-Todos los envases y embalajes; así como las unidades destinadas al transporte terrestre de productos peligrosos, deben inspeccionarse periódicamente para garantizar sus condiciones óptimas. Para fines de esta inspección, deben emplearse como referencia las Normas Oficiales Mexicanas aplicables de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, entre las que se pueden citar las siguientes: NOM-006-SCT2-1994; NOM-020-SCT2-1995; NOM-032.SCT2-1995; y NOM-045-SCT2-1996.

5.-Esta Hoja de Datos de Seguridad de Substancias, debe portarse siempre en la unidad de arrastre.

---



---

## **SECCIÓN XI. INFORMACIÓN SOBRE ECOLOGIA**

El producto residual y material contaminado, debe considerarse residuo peligroso si su temperatura de inflamación es menor que 60 °C y por tanto requerirá su disposición en una instalación aprobada para residuo peligroso. Disponer apropiadamente de los productos y materiales contaminados usados en las maniobras de limpieza de fugas o derrames.

Consultar a las agencias locales reguladoras en materia ambiental, para determinar los procedimientos de disposición apropiados.

El personal no debe ingerir alimentos, beber o fumar durante el manejo de este producto.

El personal no debe emplear lentes de contacto cuando maneja este producto.

Las gasolinas son líquidos inflamables, por lo que existe el riesgo de incendio donde se almacenan, manejan o emplean. Deben tomarse precauciones para evitar que sus vapores formen mezclas explosivas.

Deben evitarse temperaturas extremas en su almacenamiento; almacenar en contenedores cerrados, fríos, secos, aislados, en áreas bien ventiladas y alejados del calor, fuentes de ignición y productos incompatibles como ácidos y materiales oxidantes.

No almacenar en contenedores sin etiquetas; los recipientes que contengan gasolina, deben almacenarse separados de los vacíos y de los parcialmente vacíos.

No debe emplearse este producto para limpiar equipos, ropa o la piel. El almacenamiento de pequeñas cantidades de este producto, debe hacerse en contenedores de seguridad.

---



---

La ropa y trapos contaminados, deben estar libres de este producto antes de almacenarlos o reusarlos. Trabajar a favor del viento durante la limpieza de derrames.

Los equipos empleados para el manejo de esta substancia, deben estar debidamente aterrizados.

---



---

---

### **Accidente**

En el ámbito de la industria química, evento no premeditado aunque muchas veces previsible, que se presenta de forma súbita, que altera las condiciones de diseño de un sistema en menor o mayor grado, causando daño a las personas, al equipo, a los materiales y al medio ambiente de acuerdo a la gravedad del evento.

### **Accidente mayor**

Suceso inesperado y súbito (en particular, emisión, incendio o explosión importante), resultante de acontecimientos anormales durante una actividad industrial, que supone un peligro grave para los trabajadores, la población o el medio ambiente, sea inminente o no, dentro o fuera de la instalación, y en el que intervienen una o más sustancias peligrosas.

### **Análisis de riesgos**

Determinación de los acontecimientos no deseados que conducen a la materialización del riesgo; análisis de los mecanismos por los que esos acontecimientos no deseados podrían sobrevenir y, generalmente, estimación del alcance, magnitud y probabilidad relativa de cualesquiera efectos nocivos.

### **Aterrizamiento**

Es la acción y efecto de unir eléctricamente ciertos elementos de un equipo o circuito a un electrodo o a una red de tierras.

---

---



---

---

### **Combustible**

Es todo aquel material susceptible de arder al mezclarse con un comburente y ser sometido a una fuente de calor.

### **Combustión**

Es la reacción química de un combustible con un oxidante llamado comburente; este fenómeno viene acompañado generalmente por una emisión lumínica y exotérmica (liberación de energía) en forma de llamas o incandescencias, con desprendimiento de productos volátiles o humos, y que puede dejar un residuo de cenizas.

### **Daño máximo probable a la propiedad**

Es el costo máximo esperado de pérdida de las instalaciones como consecuencia de un incendio o una explosión.

### **Deflagración**

Es una explosión en la que la velocidad de la onda de sobrepresión en el medio sin reaccionar es menor a la velocidad del sonido.

### **Detonación**

Es una explosión en la que la velocidad de la onda de sobrepresión en el medio sin reaccionar es mayor a la velocidad del sonido.

---

---



---

---

### **Disponibilidad**

En términos del análisis de árbol de fallas, la disponibilidad es la probabilidad de que no se presente la falla de un componente del árbol de fallas, es decir, que el componente en cuestión del sistema esté en funcionamiento satisfactorio.

### **Electricidad estática**

Tipo de electricidad que se genera por el almacenamiento de cargas eléctricas en los cuerpos.

### **Escenario de riesgo**

Determinación de un evento hipotético en el cual se toma en consideración la ocurrencia de un accidente bajo condiciones determinadas, definiendo mediante la aplicación de modelos matemáticos y criterios acordes a las características de los procesos y/o materiales, las zonas potencialmente afectadas.

### **Evento tope**

Es aquella falla de sistema que se considera de gran importancia como para hacer un análisis de árbol de fallas de ella.

### **Explosión**

Es una liberación repentina de energía, que genera una onda de presión que se desplaza alejándose de la fuente mientras se va disipando su energía. Esta liberación tiene que ser, no obstante, bastante rápida y concentrada para que la onda que se genere sea audible.

---

---



---

---

### **Explosivos**

Son los componentes químicos que en estado líquido o sólido reaccionan con calor, golpe o fricción, provocándose un cambio inmediato a gas el cual se desplaza uniformemente en todas direcciones, que provoca un aumento de presión y desarrolla altas temperaturas.

### **Fuentes de ignición**

Se llama así a los focos iniciadores de una ignición.

### **Gasolina**

La gasolina es una mezcla de compuestos orgánicos que procede de una fracción del petróleo. Esta mezcla de compuestos comprende cuatro tipos diferentes de hidrocarburos, todos ellos con un número de carbonos de entre 4 y 11, y que son los siguientes: parafínicos o saturados (cadenas en las que el enlace C-C es siempre sencillo), olefínicos (en los existe algún enlace C-C múltiple), nafténicos o cíclicos (las cadenas de enlaces C-C se cierran formando anillos) y aromáticos (formadas básicamente por anillos de enlaces C-C entre los cuales se conforma una estructura electrónica compleja que se extiende por todo el anillo. Un ejemplo de este tipo de compuestos es el benceno C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>).

### **Gravedad**

En términos del análisis HazOp, es el nivel de daño originado por las consecuencias de un accidente.

---

---





---

---

### **Ignición**

Constituye el fenómeno del encendido de una mezcla inflamable.

### **Incendio**

Es el fuego que se desarrolla sin control en el tiempo y el espacio.

### **Inflamabilidad**

Es la propiedad que tienen las sustancias de arder en presencia de un comburente, en especial de oxígeno.

Interrupción de negocios. En términos del índice DOW, es el costo que se tiene por el paro de actividades como consecuencia de un incendio o una explosión de la unidad de proceso y que afecta a la instalación en la que se encuentra.

### **Ingeniería de Proyecto**

Son las actividades necesarias para la planeación, ejecución y control de cualquier proyecto. Abarca todos los tipos de servicios de ingeniería, administración, financiero, etc, que se conjuntan para lograr el propósito del proyecto.

### **Ingeniería Básica**

Es la aplicación de las investigaciones en el ámbito de la tecnología para la producción de un producto. En la ingeniería básica se sientan los fundamentos técnicos de un proceso.

---

---



---

---

### **Límites de inflamabilidad**

Esta propiedad se utiliza en combustibles gaseosos o vapores de líquidos inflamables. Establece la proporción de gas y aire necesaria para que se produzca la combustión, mediante un límite inferior y un límite superior. Por debajo del límite inferior o por encima del encima superior no hay posibilidad de ignición.

### **Límite máximo permisible de exposición**

Es la concentración de un contaminante del medio ambiente laboral, que no debe superarse durante la exposición de los trabajadores en una jornada de trabajo en cualquiera de sus tres tipos y que son el límite máximo permisible de exposición de corto tiempo (TLV-STEL), el límite máximo permisible de exposición pico (TLV-C) y el límite máximo permisible de exposición promedio ponderado en tiempo (TLV-TWA). El límite máximo permisible de exposición se expresa en mg/m<sup>3</sup> o ppm, bajo condiciones normales de temperatura y presión.

### **Límite máximo permisible de exposición de corto tiempo**

Es la concentración máxima del contaminante del medio ambiente laboral, a la cual los trabajadores pueden estar expuestos de manera continua durante un periodo máximo de quince minutos, con intervalos de al menos una hora de no exposición entre cada periodo de exposición y un máximo de cuatro exposiciones en una jornada de trabajo y que no sobrepase el TLV-TWA.

---

---



---

---

### **Límite máximo permisible de exposición pico**

Es la concentración de un contaminante del medio ambiente laboral que no debe rebasarse en ningún momento durante la exposición del trabajador.

### **Límite máximo permisible de exposición ponderado en tiempo**

Es la concentración promedio ponderada en tiempo de un contaminante del medio ambiente laboral para una jornada de ocho horas diarias y una semana laboral de cuarenta horas, a la cual se pueden exponer la mayoría de los trabajadores sin sufrir daños a su salud.

### **Máximos días probables de indisponibilidad**

Es el número de días máximo en los que la actividad en la unidad de proceso será inexistente debido a un incendio o explosión.

### **Octanaje**

Es una medida de la calidad y capacidad antidetonante de las gasolinas para evitar las detonaciones y explosiones en las máquinas de combustión interna, de tal manera que se libere o se produzca la máxima cantidad de energía útil.

### **Peligro inmediato para la salud o la vida**

Concentración máxima a la cual puede escaparse de un lugar en los 30 minutos siguientes sin que se presenten síntomas irreversibles a la salud. Se usa para determinar el tipo de respirador. No se consideran efectos cancerígenos.

---

---



---

---

### **Presión de alivio**

Es la presión a la cual un dispositivo de seguridad desahoga la sobrepresión que haya en algún recipiente.

### **Probabilidad**

Es la posibilidad matemática de que un evento ocurra y se expresa en fracciones entre 0 y 1. La absoluta imposibilidad es de 0 y la absoluta certeza es de 1.

### **Protección**

En términos del análisis HazOp, es cualquier dispositivo protector, ya sea que prevenga la causa o salvaguarde contra consecuencias adversas. También se incluyen procedimientos, tales como inspecciones regulares de la planta siempre y cuando haya seguridad de que se estén llevando a cabo.

### **Radio de exposición**

Se refiere al alcance hipotético del incendio o la explosión de la unidad de proceso que se esté estudiando.

### **Recomendación**

En términos del análisis HazOp, es la acción o medida que se puede implementar para reducir o mitigar la probabilidad de que ocurra una desviación o un accidente.

### **Recomendación correctiva**

En términos del análisis HazOp, es aquella recomendación que busca reducir o mitigar las

---

---



---

consecuencias de los posibles accidentes o desviaciones.

### **Recomendación preventiva**

En términos del análisis HazOp, es aquella recomendación que busca reducir la frecuencia o la probabilidad de las causas de los posibles accidentes o desviaciones.

### **Refinación**

Es el proceso de separar por destilación fraccionada los distintos componentes del petróleo: combustibles, aceites, asfaltos, etc., para facilitar su comercialización o su posterior fraccionamiento.

### **Sistema de tierra**

Es un conjunto de conductores, electrodos, accesorios y otros elementos que interconectados eficazmente entre sí, tienen por objeto conectar a tierra a elementos que pueden generar o acumular electricidad estática.

### **Temperatura de autoignición**

Es la temperatura mínima a la que una sustancia química entra en combustión en ausencia de chispa o llama.

### **Temperatura de inflamación**

Es la temperatura mínima a la cual los materiales combustibles o inflamables desprenden una cantidad suficiente de vapores para formar una mezcla inflamable, la cual se enciende aplicando una fuente de

---



---

ignición, pero que no es suficiente para sostener una combustión.

### **Tiempo de contacto**

Es el tiempo necesario que deben permanecer juntos los reactivos y el catalizador para que así se lleve a cabo la reacción.

### **Tiempo de residencia**

Es el tiempo que permanece en recirculación un componente o una corriente dentro de un circuito del proceso.

### **Toxicidad**

Es la capacidad de una sustancia para causar daño a la salud de un organismo vivo.

### **Unidad de proceso**

Puede consistir en equipos individuales de proceso (columnas, reactores, tanques, etc.) o líneas de proceso que presenten condiciones operatorias semejantes y con implicación de las mismas sustancias.

### **Volátil**

Término que describe sustancias de bajo peso molecular que se evaporan a temperaturas y presiones atmosféricas normales.

### **Zona de alerta**

Es la zona donde las consecuencias de los accidentes provocan efectos que, a pesar de que no son

---



---

perceptibles por la población, no justifican la intervención, a excepción de grupos críticos.

**Zona de intervención**

Es la zona en donde las consecuencias de los accidentes producen un nivel de daños que justifican la aplicación inmediata de medidas de protección.

---