



**BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA  
COLEGIO DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**“ACTUALIZACIÓN DEL ANÁLISIS DE RIESGO A LA  
PLANTA DE METANOL II DEL COMPLEJO PETROQUÍMICO  
INDEPENDENCIA”**

**TESIS PROFESIONAL**

Que para obtener el Título de:

**Ingeniero Ambiental**

Presenta:

**RICARDO ULISES REVUELTA CARREÓN**

Asesores:

**ING. RENÉ MARTÍNEZ RÍOS**

**ING. ANTONIO HERRERA BONILLA**

**Puebla, Pue. Abril de 2015**





**BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA  
COLEGIO DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**“ACTUALIZACIÓN DEL ANÁLISIS DE RIESGO A LA  
PLANTA DE METANOL II DEL COMPLEJO PETROQUÍMICO  
INDEPENDENCIA”**

**TESIS PROFESIONAL**

Que para obtener el Título de:

**Ingeniero Ambiental**

Presenta:

**RICARDO ULISES REVUELTA CARREÓN**

Asesores:

**ING. RENÉ MARTÍNEZ RÍOS**

**ING. ANTONIO HERRERA BONILLA**

**Puebla, Pue. Abril de 2015**



**BUAP**

Oficio No. FIQ/AC/094/2015  
Asunto: Registro de Tema de Tesis

**C. RICARDO ULISES REVUELTA CARREÓN  
PASANTE DE LA LICENCIATURA  
EN INGENIERÍA AMBIENTAL  
P R E S E N T E:**

Por medio del presente me permito informarle, de la aprobación del Registro de Tema de Tesis de la Licenciatura en Ingeniería Ambiental cuyo título es el siguiente:

**“ACTUALIZACIÓN DEL ANÁLISIS DE RIESGO A LA PLANTA DE METANOL II DEL COMPLEJO PETROQUÍMICO INDEPENDENCIA”**

Con el siguiente contenido:

**INTRODUCCIÓN**

**CAPÍTULO 1**

**CAPÍTULO 2**

**CAPÍTULO 3**

**ANTECEDENTES**

**METODOLOGÍA**

**RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

**CONCLUSIONES**

**BIBLIOGRAFÍA**

Director de Tesis: Ing. René Martínez Ríos

Lo cual me permito comunicarle para su conocimiento y fines consiguientes aclarando que la vigencia de este tema será **ÚNICAMENTE POR UN AÑO**.

**A T E N T A M E N T E**

**“Pensar Bien, Para Vivir Mejor”**

**H. Puebla de Z., 29 de enero del 2015**

**M.L.C. MA. GPE. TITA VAZQUEZ E. DE LOS MONTEROS**  
**SECRETARIA ACADÉMICA**

C.c.p. Director de Tesis: Ing. René Martínez Ríos  
Minutario Facultad de Ingeniería Química

Facultad  
de Ingeniería  
Química

Av. San Claudio s/n, Col. San  
Manuel, Ciudad Universitaria,  
Puebla, Pue. C.P. 72570  
01 (222) 229 55 00  
Ext. 7250 y 7251



**Benemérita Universidad Autónoma de  
Puebla**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**CIUDAD UNIVERSITARIA**

**C.P. José Juan Morales Rodríguez**  
**Director de la Administración Escolar**  
**De la BUAP.**  
**Presente**

**ASUNTO:**  
**AUTORIZACIÓN**  
**IMPRESIÓN DE TESIS**

Por este conducto me permito presentar a Ud. al C. pasante de la carrera de Ingeniería Ambiental.

**Ricardo Ulises Revuelta Carreón**

Quién presenta como tema de tesis:

**“ACTUALIZACIÓN DEL ANÁLISIS DE RIESGO A LA PLANTA DE  
METANOL II DEL COMPLEJO PETROQUIMICO INDEPENDENCIA”**

La cual ha sido debidamente revisada y se autoriza para su impresión correspondiente.

Sin otro particular y para los fines que se estimen conducentes reitero mi distinción.

ATENTAMENTE

**“Pensar Bien, para Vivir Mejor”**

H. Puebla de Z., a 08 de Abril de 2015

Director de Tesis  
Ing. René Martínez Ríos

## **Agradecimientos**

*A mi familia por brindarme el apoyo requerido para alcanzar esta meta, en especial a mis padres Rosario y Ricardo, por las palabras de aliento incansables y los mejores deseos para mis objetivos, y a mi abuelo Ricardo quien formó parte fundamental de mi educación, ya que son lo que más quiero en la vida y sin ellos nada de esto habría sido posible.*

*A mis asesores internos, el Ing. René Martínez Ríos y el Ing. Antonio Herrera Bonilla por su apoyo y comprensión, por guiarme y por el tiempo invertido para la revisión y corrección de este trabajo, sobre todo por la amistad ofrecida y ser un ejemplo positivo para mi formación como profesionista. Asimismo agradezco el tiempo prestado por parte de mis sinodales al M.I. José Rafael Flores García y a la Ing. María Eugenia Andrade Tirado.*

*A mis compañeros de la universidad por estar siempre en buenos y malos momentos, gracias Israel, David, Ángel, Rafael, Emmanuel, Edson, Elesban, Gerardo, Elena, Iris, Gabriela, Rodolfo, Yudith, Aurora, Priscila con quien he compartido una buena amistad, y en especial a Vania quien es muy importante en mi vida ya que me ha brindado su apoyo, comprensión, tiempo, maravillosos momentos llenos de amor y cariño.*

*Agradezco al Complejo Petroquímico Independencia (CPI) de PEMEX Petroquímica, ya que este trabajo se realizó en dichas instalaciones, en la Superintendencia de Calidad, Seguridad y Protección Ambiental, bajo la coordinación del Ing. Juan Carlos Vázquez Meza, a quien agradezco su apoyo, su tiempo y su dedicación para la adquisición de información, para la actualización del Estudio de Análisis de Riesgos.*

## **Resumen**

En el presente trabajo se realizó la actualización de un Análisis de Riesgos (AR), mediante la metodología HAZOP a la Planta de Metanol II del Complejo Petroquímico Independencia, debido a las actividades de alto riesgo en las que se ve envuelta la empresa se debe contar con un AR que evalúe las mismas. El Análisis de Riesgo es un proceso que debe realizarse en las áreas de proceso, así como su actualización como parte de los procedimientos de calidad que PEMEX debe cumplir, dando seguimiento a la normatividad aplicable de acuerdo a la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente y a la NORMA Oficial Mexicana NOM-028-STPS-2012.

El Análisis de Riesgo es la aplicación de una metodología HAZOP al nodo, que evalúa de manera sistemática cada porción de un proceso, identificando desviaciones respecto a la intención de su diseño, cómo estas pueden ocurrir, medidas de seguridad con las que se cuenta para prevenir las fallas o mitigar las consecuencias, determinando su importancia de acuerdo a su probabilidad de ocurrencia y posibles consecuencias y proponiendo medidas preventivas o de mitigación para reforzar la seguridad. Asimismo, en la actualización del Análisis de Riesgo se recopilaron los resultados de la anterior evaluación de riesgo, donde se dejan de lado todos aquellos eventos que bajo las recomendaciones de la evaluación, ya fueron atendidos, dejando así, los eventos más catastróficos, a los cuales se les realizó una simulación potencial de los eventos no deseados mediante el uso del simulador PHAST. Así, los resultados recopilados de las variables en estudio pueden provocar un accidente, con ayuda de la simulación es posible visualizar, para ver la magnitud y cuantificación de los daños que generaría al CPI, a las comunidades aledañas y al medio ambiente.

## Introducción

Desde un punto de vista específico de las actividades industriales, los riesgos se pueden clasificar:

- Riesgos convencionales, son todos aquellos relacionados con la actividad y el equipo existente en cualquier instalación (electrocución, caídas, etc).
- Riesgos específicos, asociados a la utilización o manipulación de productos que, por su naturaleza, pueden ocasionar daños (productos tóxicos, radiactivos, explosivos).
- Riesgos mayores, relacionados con accidentes y situaciones excepcionales, sus consecuencias pueden presentar una especial gravedad ya que la rápida expulsión de productos peligrosos o energía pueden ocasionar daños considerables.

Los primeros dos, caen dentro del ámbito de la seguridad e higiene del trabajo, su control está basado en una constante capacitación y concientización tanto de los patrones como de los trabajadores. Los riesgos mayores generalmente manifiestan severidades extremas, estos accidentes pueden traspasar los límites de la instalación e incidir sobre la población externa y el medio ambiente. Estos son los que han catalogado a la industria química como peligrosa, y consecuentemente provocan el rechazo de la sociedad. La seguridad de las instalaciones de procesos, es una parte fundamental de las operaciones de las empresas, ya que todas las organizaciones tienen la obligación moral, legal y financiera de salvaguardar la salud y bienestar de sus empleados, del público y del medio ambiente [1].

El Complejo Petroquímico Independencia (CPI) de PEMEX petroquímica, al igual que las demás empresas del petróleo, realiza actividades altamente riesgosas, debido a las sustancias químicas que se manejan en las áreas de procesos, almacenamiento y movimiento de productos, entre otras. Dichas actividades deben contar con procedimientos que cumplan las normas, que se le demandan a la empresa.

La planta de Metanol II del C.P. Independencia sintetiza metanol a partir de gas natural. PEMEX petroquímica (PPQ) emplea el proceso Lurgi para la producción del mismo [2].

El Metanol producido en la Planta de Metanol II, es clasificado como Metanol de grado industrial, debido a su pureza, por la Norma Oficial Mexicana NOM-053-SSA1-1993 [3]. Misma que indica que, también puede emplearse como Reactivo Analítico (R.A.).

El alcohol metílico o alcohol de madera, es un líquido a presión y temperatura ambiente, de sabor ardiente y de olor ligeramente alcohólico cuando esta puro, cuando esta impuro puede tener un olor penetrante que recuerda al del aceite. Al mezclarse con el aire en proporciones volumétricas de 6.0 a 36.5 % forma mezclas explosivas, que se inflaman a temperatura de 12.2 °C; es un poco más ligero que el agua (su densidad relativa respecto al agua es de 0.79), y se disuelve en ella en todas proporciones; sus vapores son ligeramente más densos que el aire (su densidad relativa respecto al aire es de 1.11). Empieza a hervir a 63.8 °C, no es un producto corrosivo excepto para el plomo y el aluminio [4].

El metanol al ser inhalado, ingerido o al tener contacto con la piel puede causar ceguera o muerte. Los efectos de dosis inframortales pueden ser náuseas, dolores de cabeza, dolor abdominal, vómitos y perturbaciones visuales que van desde visión borrosa a sensibilidad a la luz. La inhalación de concentraciones gaseosas elevadas también puede irritar las membranas mucosas, causar dolores de cabeza, sueño, náusea, confusión, pérdida de conocimiento, perturbaciones digestivas y visuales, y muerte [5].

En base a lo anterior, en este trabajo se realizó la actualización para la evaluación de riesgos por la operación de la Planta Metanol II, mediante la aplicación de la metodología HAZOP. Para el análisis, el área se dividió en nodos debido a la complejidad del escenario para facilitar la detección, análisis y evaluación, de una

manera más específica. Se evaluaron las variables que pueden ocasionar un accidente, en donde se aplicaron las palabras guía para realizar el Análisis de Riesgo, contemplándose los eventos surgidos en la evaluación de riesgos anterior realizado a dicha planta, para la actualización de los mismos. Una vez obtenidos los resultados del análisis, se procedió a realizar una simulación con el programa de software PHAST para visualizar los daños potenciales y los efectos que estos pueden ocasionar a la salud de los trabajadores, daños a la infraestructura, comunidades aledañas y al medio ambiente. Con esta información, fue posible generar una lista de recomendaciones para evitar el suceso de un evento no deseado, por lo que deberán ser llevadas a cabo.

## **Planteamiento del problema**

De acuerdo a lo especificado por la Estructura de la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente en su Título Primero (Disposiciones Generales), Sección V (Evaluación del impacto ambiental), Artículo 30 y en su Título Cuarto (Protección al Ambiente), Capítulo V (Actividades consideradas como altamente riesgosas), Artículo 147 [6,7], los centros de trabajo en donde se manejen sustancias peligrosas, deben cumplir con una evaluación de riesgos en todas sus áreas de producción y servicios auxiliares. En el Complejo Petroquímico Independencia (CPI) es necesario realizar los análisis de riesgo dispuesto por dicha normatividad, así como su actualización, de acuerdo a la NORMA Oficial Mexicana NOM-028-STPS-2012, Sistema para la administración del trabajo-Seguridad en los procesos y equipos críticos que manejen sustancias químicas peligrosas [8].

Motivo por el cual se realizará la actualización del Análisis de Riesgo en la Planta de Metanol II. Utilizando las metodologías más comunes para evaluar riesgos. Así mismo, se realizará un análisis de consecuencias, utilizando un simulador de fugas, derrames, incendios y explosiones.

## **Justificación**

El manejo en las instalaciones y transporte de hidrocarburos por ducto en los diferentes organismos Subsidiarios de Petróleos Mexicanos, conlleva riesgos de fugas y derrames que pueden derivar en accidentes que afecten al personal, la población, al medio ambiente y/o al negocio (instalaciones – producción). Para determinar medidas que prevengan su ocurrencia o mitiguen sus posibles consecuencias, se realiza los análisis de riesgo de proceso.

La planta de metanol II, produce metanol a partir de gas natural. Durante el proceso para la obtención de metanol se manejan sustancias altamente peligrosas, mismas que pueden dar origen a un evento no deseado, motivo por el cual se realizará la actualización del análisis de riesgo en esta área. Asimismo por cumplimiento de normatividad y como requisito legal y fundamental para el reaseguro de la empresa, es necesaria la actualización del análisis de riesgos del C.P. Independencia, lo cual permitirá detectar los riesgos a los cuales se encuentra expuesto dicho complejo, así como proponer estrategias para mejorar el plan de respuesta a emergencias.

El análisis de riesgo a realizar en el C.P. Independencia se presentará a la autoridad en la próxima revisión. Dando seguimiento y cumplimiento a lo dispuesto por la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente [6,7] y a la NOM-028-STPS-2012 [8].

## **Objetivo General**

Realizar la actualización del estudio de Análisis de Riesgo en la Planta de Metanol II para la identificación y evaluación de sus riesgos potenciales.

## **Objetivos Particulares**

- Establecer las metodologías para la identificación de riesgos.
- Identificar los riesgos y las condiciones inseguras.
- Realizar un análisis de consecuencias.
- Estimar el parámetro de frecuencia.
- Caracterizar los riesgos.

## **Hipótesis**

De no llevar a cabo la actualización del estudio de Análisis de Riesgos, la probabilidad de ocurrencia de un evento no deseado es latente, generando impactos negativos al recurso humano, a la infraestructura y al medio ambiente.

## Índice

Página

### Capítulo I: Antecedentes

1.1 - Antecedentes	2
1.1.1 - Producción de Metanol	4
1.1.2 - Datos históricos	6
1.2 - Peligro	7
1.3 - Riesgo	7
1.4 - Accidentes químicos a nivel mundial	8
1.5 - Análisis de Riesgo	11
1.6 - Guías técnicas para realizar Análisis de Riesgos de Proceso	12
1.6.1 - Conceptos de Análisis de Riesgos	12
1.6.2 - Proceso de Análisis de Riesgo	14
1.6.2.1 - Proceso de Gestión de Riesgo	14
1.6.2.2 - Proceso de Identificación, Análisis y Evaluación de Riesgos	17
1.6.3 - Metodologías del Análisis de Riesgos	23
1.6.3.1 - Identificación de peligros	23
1.6.3.2 - Jerarquización de los riesgos	23
1.6.3.3 - Selección de las metodologías	24
1.6.3.4 - Listas de verificación	25
1.6.3.5 - ¿Qué pasa si?	26

1.6.3.6 - Combinación Lista de Verificación y ¿Qué pasa sí?	27
1.6.3.7 - Análisis de modos de fallas y sus efectos (FMEA)	28
1.6.3.8 - Análisis de Arboles de Eventos (AAE)	29
1.6.3.9 - Análisis de Arboles de Fallas (AAF)	29
1.6.3.10 - Análisis de peligros y operabilidad (HAZOP)	30
1.6.3.10.1 - Determinación de desviaciones	34
1.6.3.10.2 - Identificación de causas	34
1.6.3.10.3 - Identificación de consecuencias	34
1.6.3.11 - Análisis de Consecuencias (AC)	34
1.6.3.11.1 - Modelos de fuente	35
1.6.3.11.2 - Modelos de dispersión	36
1.6.3.11.3 - Modelos para explosión e incendio	36
<b>Capítulo II: Metodología</b>	
2.1 - Nombre de la instalación, haciendo una breve descripción de la actividad	41
2.1.2 - Fecha de inicio de operaciones	41
2.2 - Ubicación de la instalación	41
2.2.1 - Coordenadas Geográficas de la instalación	41

2.2.2 - Superficie total de la instalación y superficie requerida para el desarrollo de la actividad (m <sup>2</sup> o Ha)	42
2.2.3 - Infraestructura necesaria	42
2.3 - Descripción de las reacciones con sustancias o materiales considerados de alto riesgo	42
2.4 - Listado de las materias primas, productos y subproductos manejados en el proceso, señalando aquellas que se encuentren en los Listados de Actividades Altamente Riesgosas	43
2.5 - Hojas de datos de seguridad (MSD)	45
2.6 - Equipos de proceso y auxiliares	45
2.6.1 - Tipo de recipientes y/o envases de almacenamiento	45
2.6.2 - Descripción de equipos de proceso y auxiliares	47
2.7 - Análisis y evaluación de riesgos	54
2.7.1 - Antecedentes de incidentes y accidentes ocurridos	54
2.7.2 - Identificación de los riesgos en áreas de proceso, almacenamiento y transporte	55
2.8 - Descripción de las metodologías de identificación	58
2.8.1 - Análisis de Riesgos Operativos (HazOp)	58

2.8.2 - Análisis de Árbol de Fallas	59
2.9 - Descripción de las metodologías de jerarquización	60
2.9.1 - Jerarquización de eventos	60
2.9.2 - Ponderación de la frecuencia	60
2.9.3 - Ponderación de la consecuencia	60
2.9.4 - Determinación del grado de riesgo	61
2.9.5 - Jerarquización de recomendaciones	62

### **Capítulo III: Resultados y recomendaciones**

3.1 - Resultados de la identificación de riesgos	65
3.1.1 - Metodología HazOp	65
3.1.2 - Árboles de Fallos	67
3.2 - Jerarquización de riesgos	67
3.3 - Determinar los radios potenciales de afectación	70
3.3.1 - Consideraciones para la simulación de eventos de riesgo	73
3.4 - Descripción de escenarios de riesgo	76
3.4.1 - Escenario 1 Ruptura de colas de cochinos (Tubería espiral) a la salida del BA-101 por sobrepresión o alta temperatura	76
3.4.2 - Escenario 2 Fuga por los niples de conexión del LG por alto nivel en el FA-201	77

3.4.3 - Escenario 3 Fuga en línea de salida del Turbocompresor GTB-201	78
3.4.4 - Escenario 4 Fuga de Cloro por ruptura del niple de unión del tanque de cloro con la válvula de vacío	79
3.5 - Datos climatológicos	79
3.6 - Resultados de las simulaciones	81
3.6.1 - Escenario 1	81
3.6.2 - Escenario 2	83
3.6.3 - Escenario 3	85
3.6.4 - Escenario 4	87
3.7 - Análisis y evaluación de posibles interacciones de riesgo con otras áreas, equipos o instalaciones próximas a la instalación que se encuentren dentro de la Zona de Alto Riesgo	88
3.7.1 - Escenario 1	88
3.7.2 - Escenario 2	90
3.7.3 - Escenario 3	92
3.7.4 - Escenario 4	94
3.8 - Recomendaciones técnico-operativas resultantes de la aplicación de las metodologías para la identificación de riesgos	98

3.9 - Medidas, equipos, dispositivos y sistemas de seguridad con que cuenta o contará la instalación, consideradas para la prevención, control y atención de eventos extraordinarios	99
3.9.1 - Dispositivos de medición de velocidad de viento y para determinar su dirección	99
3.9.2 - Equipo, sistemas y red contra incendio	100
3.9.3 - Equipo Personal de Emergencias	100
3.9.4 - Sustancias que se manejan en la Planta Metanol II y el equipo de seguridad que se debe emplear para su manejo (Actualizado)	103
<b>Conclusiones</b>	104
<b>Bibliografía</b>	105

# Capítulo I

## Antecedentes

Pemex Petroquímica cuenta con ocho centros de trabajo que son: el Complejo Petroquímico Cangrejera, el Complejo Petroquímico Cosoleacaque, el Complejo Petroquímico Morelos, el Complejo Petroquímico Pajaritos, ubicados al sur del estado de Veracruz, asimismo, el Complejo Petroquímico Independencia, el Complejo Petroquímico Tula, el Complejo Petroquímico Escolín y la Unidad Petroquímica Camargo, se localizan al centro y norte del país. Estos se dedican a la elaboración, comercialización y distribución de productos, tales como: Acetaldehído, Amoníaco, Benceno, Etileno, Óxido de Etileno, Glicoles, Ortóxileno, Paraxileno, Propileno, Tolueno, Xilenos, Acetonitrilo, Ácido Cianhídrico, Acrilonitrilo, Polietileno de baja y alta densidad, Metanol y Cloruro de Vinilo, para satisfacer la demanda del mercado nacional y una parte del mercado Internacional.

Su actividad fundamental son los procesos petroquímicos no básicos derivados de la primera transformación del gas natural, metano, etano, propano y naftas de Petróleos Mexicanos. PEMEX Petroquímica guarda una estrecha relación comercial con empresas privadas nacionales dedicadas a la elaboración de plásticos, fibras y hules sintéticos, fármacos, refrigerantes y aditivos, entre otros [2].

El Complejo Petroquímico Independencia se encuentra ubicado a la altura del kilómetro 76.5 de la Carretera Federal México - Puebla, en el poblado de Santa María Moyotzingo, perteneciente al municipio de San Martín Texmelucan, Estado de Puebla.

El Complejo Petroquímico Independencia, de PEMEX Petroquímica es un centro productor de petroquímicos no básicos principalmente Metanol. La Planta de Metanol II cuenta con un cuarto de control de aproximadamente 160 m<sup>2</sup>, en donde se encuentran los tableros de control de los diferentes instrumentos de la planta y el sistema de control.

Entre los equipos instalados para la operación de la planta se encuentran las torres de destilación, turbo compresor, reformador y torres de purificación de producto, como se muestra en la Figura 1.1

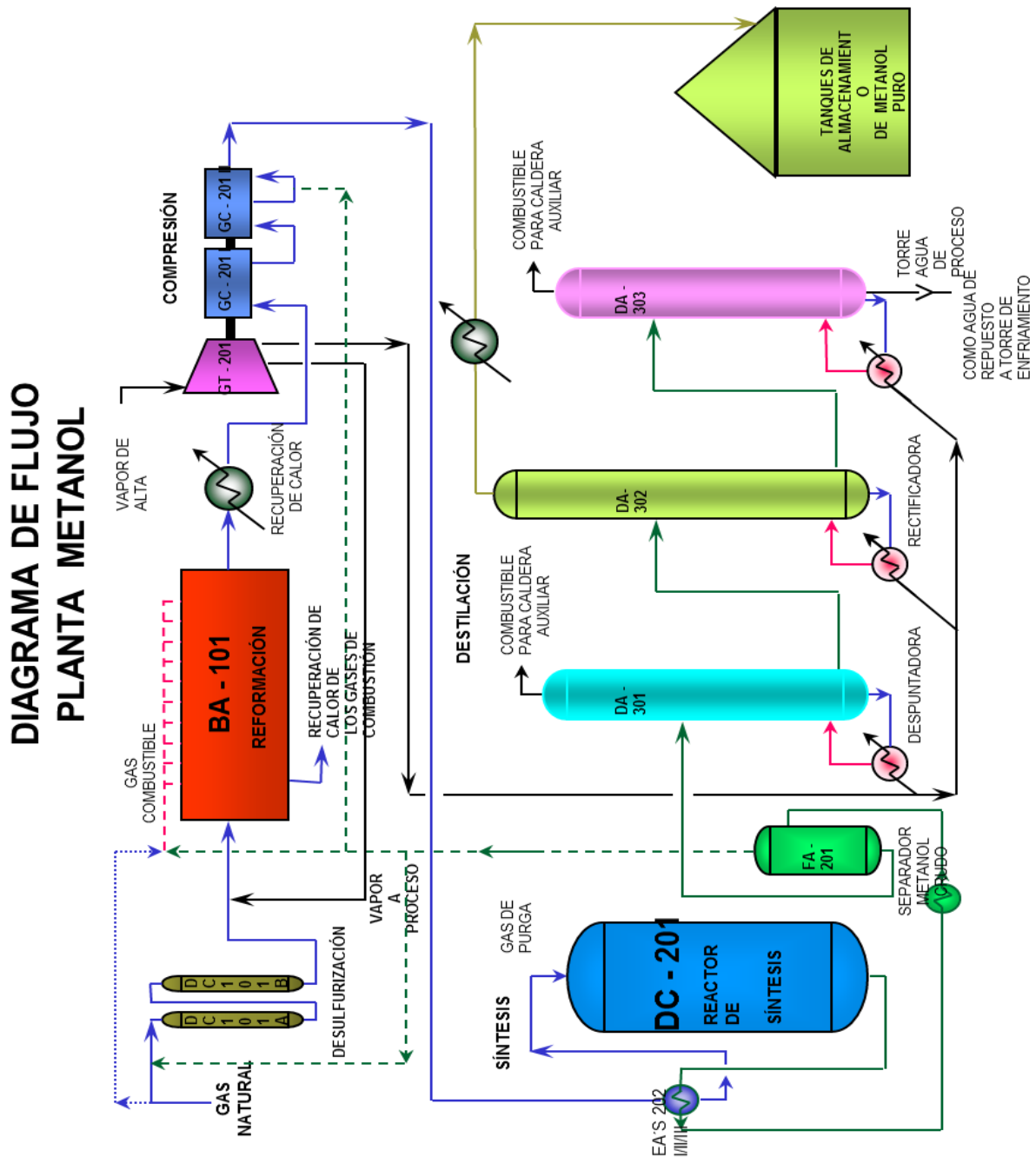


Figura 1.1 Diagrama de flujo simplificado Planta de Metanol II [4].

### 1.1.1 - Producción de Metanol

El metanol como todo producto químico es peligroso durante su manejo, sin embargo puede manipularse minimizando riesgos cuando para ello se siguen las reglas de seguridad apropiadas. El Metanol es una sustancia inflamable, que forma

mezclas explosivas con el aire y que puede producir intoxicación cuando es inhalado, ingerido o cuando entra en contacto con la piel [4].

La Planta de Metanol II del Complejo Petroquímico Independencia, se divide en cuatro secciones:

- Unidad de Reformación.
- Unidad de Síntesis de Metanol.
- Unidad de Destilación, y
- Unidad de Servicios Auxiliares.

## **Unidad de Reformación**

### Pre calentamiento de gas natural y desulfurización

El metanol sintetizado por dicha planta, es a base de gas natural, implementando el proceso Lurgi. En donde el gas natural se mezcla con gas de purga proveniente de la unidad de síntesis, con la finalidad de hidrogenar los compuestos orgánicos de azufre (Mercaptanos o Tioles). La mezcla es enviada a un precalentador para aumentar su temperatura antes de que entre a las torres desulfuradoras. Posteriormente a la desulfurización del gas natural se le une una corriente de vapor de proceso y el gas natural se sobrecalienta a temperaturas cercanas a los 500°C.

### Reformador tubular y sistema de calentamiento

La mezcla de gas natural y vapor de proceso de la salida del sobrecalentador pasa al reformador tubular, en donde se distribuye a cuatro cabezales, colocados en la parte superior y de esta a los tubos catalíticos. El gas natural y vapor de proceso al pasar por los tubos empacados se convierte en otros productos.

El gas que sale de los tubos se llama Gas reformado y contiene los siguientes compuestos: Hidrogeno, Monóxido de Carbono, Bióxido de carbono, Nitrógeno, Metano no convertido y vapor de agua, se recolecta en cuatro cabezales y de estos pasa a la línea de transfer y hacia el generador de vapor [4].

## Unidad de Síntesis de Metanol

El gas reformado que viene de la unidad anterior, pasa por un separador de líquidos para luego entrar a la primera etapa de succión del compresor centrífugo. Después de la separación de condensables el gas entra a la segunda etapa de compresión, esta corriente se une con los gases no reaccionantes que vienen del separador, llamado gas de recirculación.

Esta mezcla entra al recirculador, en él se comprime la mezcla a la presión de síntesis, para luego entrar a una batería de cambiadores de calor, donde se calienta el gas a la temperatura de reacción, absorbiendo el calor de los gases de la salida del reactor de síntesis. La mezcla a la temperatura de reacción entra por la parte superior del reactor de síntesis, este reactor asemeja un enorme cambiador de calor del tipo de tubo (tubo y coraza), en posición vertical donde los tubos están empacados con catalizador. Por estos tubos pasa el gas del cual se obtendrá el metanol [4].

## Unidad de Destilación

El metanol crudo es enviado a control de nivel del separador, hacia el tanque de expansión. En este tanque de expansión se elimina gran parte de los gases ligeros ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$ ) y algunos compuestos de bajos puntos de ebullición como la acetona, dimetil-eter, formaldehído, etc. Estos gases se envían al recalentador de subproductos y de aquí son enviados hacia la caldera.

Del tanque de expansión y por diferencia de presiones, el metanol es enviado a la columna de despunte. En esta torre se obtienen nuevamente gases ligeros los cuales se mezclan con los obtenidos anteriormente y son enviados al recalentador de subproductos, para luego ser quemados en la caldera.

En la torre rectificadora los vapores de metanol son condensados, posteriormente el metanol pasa a través de los enfriadores. El metanol llega entonces al acumulador de flujo, donde mediante bombas, es regresada una parte al domo de la torre como reflujo y otra a control de nivel de acumulador, es enviada hacia los tanques de almacenamiento con una pureza de 99.99% de metanol [4].

## **Unidad de Servicios Auxiliares**

La función de esta unidad es el suministro de agua de pozo, suministro de agua tratada, suministro y tratamiento del agua de enfriamiento, suministro de energía eléctrica, suministro de energía eléctrica de emergencia y suministro de aire [4].

### **1.1.2 - Datos históricos**

Las actividades industriales, comerciales y de servicio involucran la producción, almacenamiento y transporte de sustancias y materiales peligrosos, por lo que existe el riesgo potencial de que ocurra algún accidente en algunas de las etapas, y como consecuencia una liberación no controlada de una sustancia química peligrosa o la presencia de un incendio o explosión que pueda dañar a la población, al ambiente o a las propiedades. Por lo cual, es indispensable que estas actividades se realicen de manera segura, siendo importante conocer las propiedades y características de las sustancias y materiales, con el fin de prevenir y en su caso, mitigar el impacto de cualquier accidente. Los principales accidentes tecnológicos a nivel mundial ocurren en su gran mayoría por la falta de mantenimiento de los equipos empleados o por factor de errores humanos. A lo largo de la historia y del desarrollo tecnológico que ha experimentado la humanidad, han estado presentes las sustancias químicas en su estado líquido, sólido o gaseoso, en un principio utilizadas para una serie de descubrimientos fortuitos y posteriormente, en búsqueda de nuevos desarrollos tecnológicos para incrementar la calidad de vida de la sociedad. La manipulación de todas estas sustancias químicas estuvo acompañada de los primeros incendios y explosiones de los cuales se tienen registro, situaciones que se repitieron una y otra vez, hasta que se lograron conocer con detalle las propiedades físicas y químicas de las sustancias. Aun cuando el almacenamiento de sustancias químicas peligrosas se realiza conforme a la normatividad nacional y a los estándares internacionales de seguridad, los accidentes han estado presentes en casi todos los países del mundo, tanto los industrializados como los que se encuentran en vías de desarrollo. Los criterios que han sido tomados como base para realizar una clasificación de los accidentes tecnológicos más críticos a nivel mundial, están basados en el número de

personas muertas o afectadas por este tipo de eventos, por los ecosistemas que resultan dañados o por el impacto adverso que causan a ríos, lagos, mares, la contaminación en el suelo y subsuelo y el incremento de los contaminantes en el ambiente [9].

## **1.2 - Peligro**

El peligro es una condición física o química que tiene el potencial de causar daño a personas, el ambiente o al negocio [10].

## **1.3 - Riesgo**

El riesgo es la medida cuantitativa de la combinación de la frecuencia, o probabilidad, de ocurrencia de un evento no deseado (pérdida de control de un peligro) y la magnitud de sus consecuencias. El riesgo es engendrado por los peligros [10].

En términos generales, el riesgo es la probabilidad de que ocurra algo con consecuencias negativas. Una definición completa de riesgo tiene que comprender el concepto de la exposición a un peligro, la cual puede ser voluntaria o involuntaria. En el campo de la salud y del medio ambiente, el riesgo se identifica como la probabilidad de que un individuo o población presente una mayor incidencia de efectos adversos por exposición a un peligro [11].

## **1.4 - Accidentes químicos a nivel mundial**

Los accidentes mayores relacionados con el manejo de sustancias y materiales peligrosos, se presentan con poca ocurrencia, sin embargo el costo social, ambiental y económico suele ser elevado. La principal herramienta para combatir estos accidentes es la prevención y el primer paso es la adecuada identificación de los peligros asociados al almacenamiento, transporte, uso y distribución de sustancias y materiales peligrosos. Con el proceso de industrialización en todos los países, el almacenamiento, distribución y manejo de grandes volúmenes de diferentes

sustancias químicas, algunas de ellas demasiado peligrosas, han estado presentes en los grandes desastres tecnológicos [9].

En la siguiente tabla se muestra un listado con los accidentes tecnológicos más importantes que han ocurrido a lo largo de casi 100 años de actividad industrial.

**Tabla 1.1** Principales accidentes químicos a nivel mundial [12,13].

<b>País</b>	<b>Tipo de evento</b>	<b>Consecuencias</b>
<b>Oppau (Alemania) 1921.</b>	Explosión de 4,500 toneladas de sulfato de amonio y nitrato de amonio.	La explosión forma un cráter de 105 metros de diámetro y 14 metros de profundidad. 561 muertos.
<b>Cleveland, Ohio (USA) 1929.</b>	Incendio en un hospital al quemarse placas de rayos X de nitrocelulosa.	125 muertos. La mayoría de las muertes por la inhalación de vapores tóxicos.
<b>Lakehurst, New Jersey (USA), 1937.</b>	Incendio de 198,221 metros cúbicos de hidrógeno en el zepelín Hindenburg.	35 muertos.
<b>Lagunillas (Venezuela), 1939.</b>	Incendio en una refinería.	Dstrucción de una población, 500 muertos.
<b>Bombay Harbor (India), 1944</b>	Explosión en un almacén de municiones.	700 muertos y 1,000 a 2,000 afectados.
<b>Cleveland, Ohio (USA), 1944.</b>	Explosión e incendio en una planta de Gas LP.	135 muertos y 200 a 400 afectados.
<b>Texas City, Texas (USA), 1947.</b>	Explosión de 50 contenedores con nitrato de amonio.	561 muertos y 3,000 afectados.
<b>Ludwigshafen (Alemania), 1948.</b>	Fuga de dimetil-éter de un carrotanque de ferrocarril.	Explosión de una nube de vapor, 245 muertos y 2,500 afectados.
<b>New York City (USA), 1949.</b>	Fuga y explosión de disulfuro de carbono en un paso a desnivel.	23 autos destruidos. Dstrucción en 150 metros a la redonda.
<b>Cali (Colombia), 1956.</b>	Explosión de un camión militar con dinamita.	1,100 muertos y 2,000 edificios destruidos.

<b>Habana (Cuba), 1960.</b>	Explosión de un barco con dinamita.	100 muertos.
<b>Islas Cornwall (Inglaterra), 1967.</b>	Derrame al mar de 120,000 toneladas de crudo del buque Torrey Canyon.	Contaminación a flora y fauna marina 20,000 aves muertas. Mancha de 70 km x 40 km.
<b>Staten Island, New York (USA), 1973.</b>	Explosión en almacén de Gas LP.	40 muertos.
<b>Flixborough (Inglaterra), 1974.</b>	Explosión por fuga de 36 toneladas de ciclohexano.	28 muertos y cientos de heridos. Destrucción completa de las instalaciones.
<b>Cubatao (Brasil), 1974.</b>	Bola de fuego de gasolina por fuga de un ducto.	Al menos 500 muertos. Graves daños al medio ambiente.
<b>Estrecho de Magallanes (chile), 1974.</b>	Derrame al mar de 53,000 toneladas de crudo del buque tanque metula.	Contaminación de flora y fauna marina.
<b>Beek (Países Bajos), 1975.</b>	Explosión de una nube de vapor con 5.5 toneladas de propileno.	14 muertos.
<b>Seveso (Italia), 1976.</b>	Reacción química fuera de control que provoca el venteo de un reactor. Liberación de dioxina a la atmósfera	Más de 1,000 evacuados, Abortos espontáneos y Contaminación de suelo.
<b>Coruña (España), 1976.</b>	Derrame al mar de 100,000 toneladas de crudo del buque Urquiola.	Daños a la flora y fauna marina.
<b>San Carlos de la Rápita (España), 1978.</b>	Explosión BLEVE de un camión cargado con 42 metros cúbicos de propileno al chocar contra un campamento.	215 muertos, Cráter de 20 metros. Destrucción completa del campamento
<b>Portsall (Canal de la Mancha), 1978.</b>	Derrame al mar de 200,000 toneladas de crudo por el buque Amoco Cádiz.	Daños a la flora y fauna marina.
<b>Campeche (México), 1979.</b>	Derrame al mar de 530,000 toneladas de hidrocarburos de la plataforma marina Ixtoc I.	Daños severos a la flora y fauna marina.

<b>Ortuella (España), 1980.</b>	Fuga de gas en una escuela	64 niños muertos.
<b>Salang Pass (Afganistán), 1982.</b>	Choque y explosión de un contenedor militar en un túnel de 2.5 km.	1,000 a 2,500 muertos.
<b>Cubatao, Sao Paulo (Brasil), 1984.</b>	Derrame de 700 toneladas de gasolina de un ducto de 24 pulgadas.	508 muertos.
<b>San Juan Ixhuatepec (México), 1984.</b>	Numerosas explosiones (15 BLEVE´s) de esferas y tanques de Gas L.P.	Más de 500 muertos, Más de 4,500 heridos, Más de 1,000 desaparecidos y Destrucción masiva de viviendas
<b>Bhopal (India), 1984.</b>	Escape de isocianato de metilo en una planta de fabricación de insecticidas.	3,500 muertos, 3,500 afectados y 150,000 personas requirieron tratamiento médico. Efectos a largo plazo.
<b>Basel (Suiza), 1986.</b>	Incendio de una planta química y contaminación del Río Rhine con insecticidas y dioxinas.	Contaminación del Río Rhine, Miles de peces muertos. Afectación a los ecosistemas.
<b>Alpha Plataforma (Mar del Norte), 1988.</b>	Fuego y explosión en plataforma marina.	165 muertes.
<b>Pasadena Texas (USA), 1989.</b>	Fuego y explosión en una refinería de Phillips Petroleum.	Escape de 39 toneladas de isoetileno y 23 muertos.
<b>Ufa (Rusia), 1989.</b>	Explosión de un gasoducto.	650 muertos.
<b>Alaska (USA), 1989.</b>	Derrame al mar de 41,600 toneladas de hidrocarburos del buquetanque Exxon Valdez.	Daños graves a la flora y fauna marina y 2,000 Km. de costa dañada.
<b>Galvelstone (USA), 1990.</b>	Derrame al mar de 20.5 millones de litros de crudo del buque tanque Mega Borg.	Graves daños a la flora y fauna marina.
<b>Guadalajara (México), 1992.</b>	Serie de explosiones en la red de alcantarillado de la ciudad de Guadalajara por vertidos incontrolados de combustible procedente de la planta de Petróleos Mexicanos, PEMEX.	190 muertos, 470 heridos, 6,500 damnificados, 1,547 edificios dañados, 600 vehículos dañados y 13 kilómetros de calles destruidas.

<b>Coruña (España), 1992.</b>	Derrame al mar de 80,000 toneladas de crudo del buque tanque Mar Egeo.	Graves daños a la flora y fauna marina
<b>Baku (Azerbaijan), 1994.</b>	Incendio de un tren con sustancias químicas en un túnel.	300 muertos y 200 afectados.
<b>Taege (Sur Corea), 1995.</b>	Explosión de gas en tren.	110 muertos.
<b>Hyderabad (India), 1997.</b>	Incendio y explosión en una refinería.	28 muertos y 100 afectados.
<b>Lagos (Nigeria), 1998.</b>	Ruptura y explosión de un gasoducto.	500 muertos.
<b>San Cristóbal (Islas Galápagos), 2001.</b>	Derrame al mar de 919,828 litros de combustible del buquetanque Jessica.	Graves daños a flora y fauna marina.
<b>Galicia (España), 2002.</b>	Derrame al mar de 77,127 toneladas de crudo del buque tanque Prestige.	Graves daños a flora y fauna marina 115,000 y aves muertas.

Fuente: Dennis P. Nolan y PNUMA.

## 1.5 - Análisis de Riesgo

El análisis de riesgo permite caracterizar de manera cualitativa y cuantitativa los riesgos, abarcando desde eventos frecuentes de bajo impacto, a eventos mayores poco frecuentes. Los componentes o técnicas del proceso de análisis de riesgos, permiten identificar los mayores factores que contribuyen al riesgo y, por lo tanto, se pueden hacer recomendaciones y ayudar en la toma de decisiones y en la aplicación de medidas para su disminución. El análisis de riesgo puede variar en profundidad, desde un estudio elemental hasta uno de gran detalle, que tome en cuenta el número de incidentes considerados, a la manera en que se obtienen las frecuencias y probabilidades, así como los modelos empleados para la determinación de consecuencias. El número de incidentes considerados puede variar de acuerdo con las clases de éstos: incidente menor (zona de afectación limitada), incidente mayor (zona de afectación media) o incidente catastrófico (zona de afectación extensa) [9].

## 1.6 - Guías técnicas para realizar Análisis de Riesgos de Proceso

### 1.6.1 - Conceptos de Análisis de Riesgos

El riesgo está presente en toda actividad humana. El riesgo, en términos prácticos, está relacionado con la salud de las personas (ej. Muerte, lesiones o daños a largo, mediano y corto plazo), con el negocio (ej. Daño a equipos, pérdida de producción, imagen) y con el medio ambiente. El objetivo de realizar análisis de riesgos es identificar peligros y riesgos para emitir recomendaciones tendientes a controlar y prevenir incidentes/accidentes, mitigar las consecuencias para evitar pérdidas humanas, daños a la salud, a la propiedad, instalaciones y medio ambiente [14].

El análisis de riesgos es una herramienta útil para:

- Identificar peligros, riesgos y estrategias para su manejo y control.
- Proveer información objetiva para la toma de decisiones.
- Cumplir con requisitos normativos y legales.

Los resultados del análisis de riesgos se emplean para evaluar el nivel de tolerabilidad del riesgo, así como para la toma de decisiones en cuanto a seleccionar la mejor o mejores opciones para su administración y control. Algunos otros beneficios del análisis de riesgo son:

- Identificación sistemática de peligros potenciales en los procesos.
- Identificación sistemática de los modos de fallas de sistemas o sus componentes y equipos.
- Evaluación cuantitativa del riesgo o estimación del rango de los riesgos.
- Evaluación de posibles modificaciones en instalaciones, proceso y/o controles administrativos para reducir el riesgo.
- Identificación de los mayores contribuyentes al riesgo y puntos débiles de un sistema, proceso y/o control administrativo.
- Mejor entendimiento del funcionamiento de los sistemas e instalaciones.
- Comparación del riesgo entre tecnologías y sistemas alternativos.

- Identificación y comunicación de riesgos e incertidumbres asociadas a ellos.
- Ayuda en el establecimiento de prioridades para mejorar la salud y operar de manera segura, bajo un nivel de riesgo tolerable.
- Ayuda en la revisión de programas de mantenimiento e inspección.
- Elaboración o actualización de planes de respuesta a emergencias.

El análisis de riesgo a menudo requiere de un enfoque multidisciplinario ya que puede involucrar las siguientes áreas:

- Análisis de sistemas.
- Probabilidad y estadística.
- Ingeniería química, mecánica, eléctrica, estructural o instrumental.
- Ciencias físicas, químicas o biológicas.
- Ciencias de salud, incluyendo la toxicología y la epidemiología.
- Ciencias de los factores humanos, ergonómicos y administrativos.

El riesgo también se puede presentar como consecuencia de los siguientes peligros:

- Peligros naturales (inundaciones, sismos, huracanes, etc.).
- Peligros tecnológicos (instalaciones industriales, estructuras, sistemas de transporte, sustancias peligrosas, pesticidas, herbicidas, medicamentos, etc.).
- Peligros sociales (terrorismo, sabotaje, ataque armado, robo, secuestros, intentos de toma de instalaciones, bloqueo de instalación, amenaza de bomba).

### **1.6.2 - Proceso de Análisis de Riesgo**

El riesgo es inherente a todo lo que se hace, se enfrentan riesgos cotidianamente, a veces conscientemente y a veces sin darse cuenta. La necesidad de administrar el riesgo de forma sistémica aplica a todas las organizaciones e individuos y a todas las funciones y actividades dentro de una organización. Esta necesidad debe ser reconocida como de importancia fundamental [14].

### 1.6.2.1 - Proceso de Gestión de Riesgo

La gestión de riesgo es una parte integral de una buena administración. Es un proceso iterativo de mejora continua que esta embebido dentro de las prácticas existentes o procesos del negocio. La gestión del riesgo es la aplicación sistémica de políticas de administración, procedimientos y prácticas de ingeniería a las tareas de identificar, analizar, evaluar y controlar riesgos [14]. En la Figura 1.2 se muestran sus principales elementos.

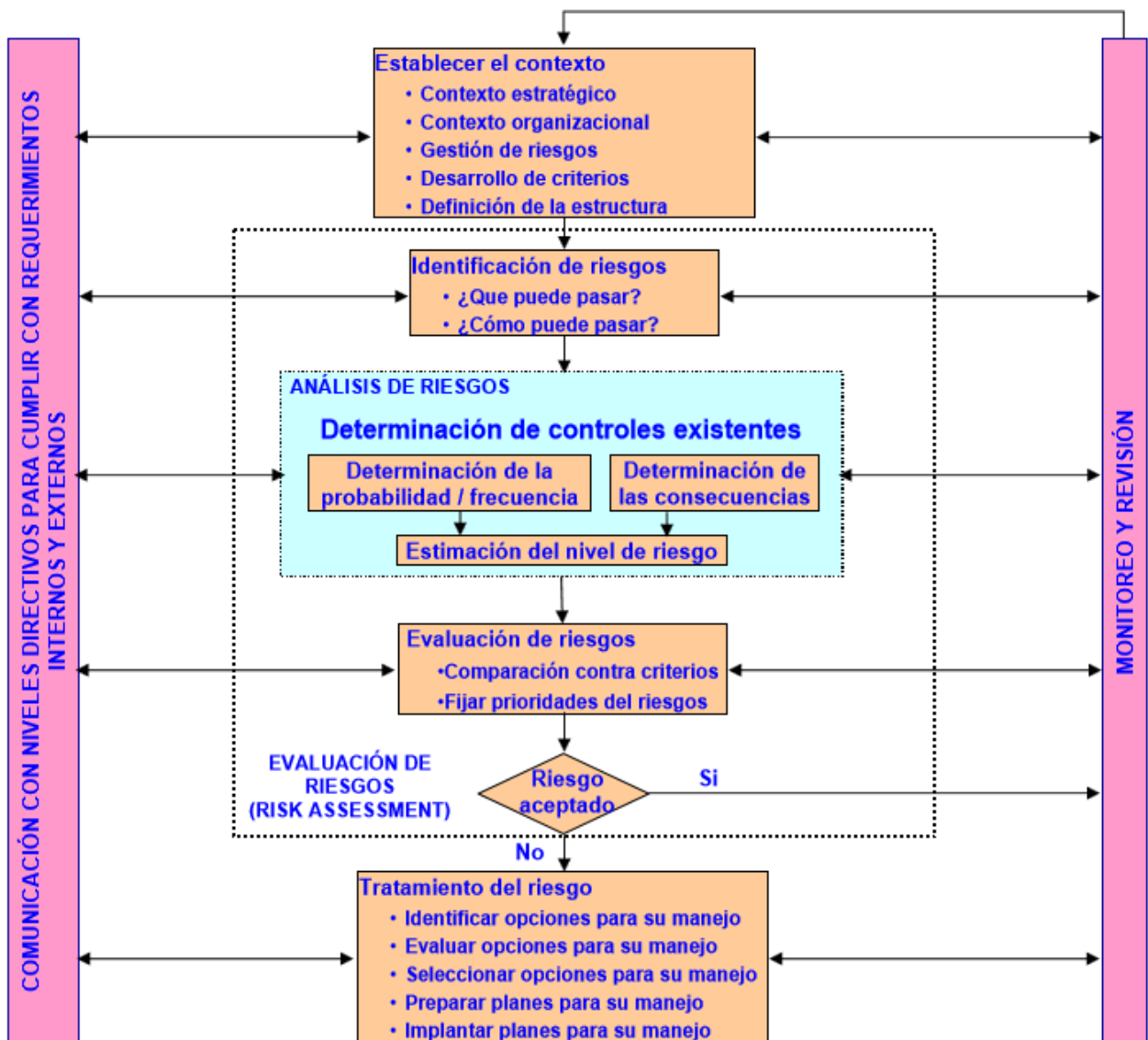


Figura 1.2 Proceso de Gestión de Riesgo [1].

**a) Comunicación y consulta**

En cada etapa de la gestión del riesgo se deben establecer canales de comunicación y consulta con niveles directivos.

**b) Definición del contexto**

Definir el contexto externo e interno en donde el proceso de gestión de riesgos tiene lugar. Se deben establecer y estructurar los criterios contra los cuales se evalúa el riesgo.

**c) Identificación de los peligros y riesgos**

Identificar todas las posibles fuentes de peligros, así como las formas en las que dichos peligros pueden salirse de control, identificando escenarios de riesgo o de posibles accidentes, así como para el control y administración del riesgo evaluado.

**d) Identificación y evaluación de controles existentes**

Determinar la probabilidad de ocurrencia del escenario de riesgo y sus posibles consecuencias, así como estimar si los controles existentes, incluyendo todos los sistemas de seguridad, son suficientes para el control y administración del riesgo evaluado.

**e) Jerarquización de riesgos**

Comparar los niveles estimados de riesgo contra los criterios preestablecidos y considerar el balance entre los beneficios potenciales y los resultados adversos. Esto permite tomar decisiones sobre las recomendaciones requeridas y sus prioridades de atención.

**f) Administración de los riesgos**

Desarrollar e implantar medidas o estrategias eficaces, así como planes de acción para mantener los riesgos en niveles tolerables.

#### **g) Monitoreo y revisión de riesgos**

Con objeto de mantener la mejora continua, es necesario monitorear la efectividad de cada paso del proceso de gestión de riesgo, considerando la definición y supervisión de cumplimiento, en base a responsables y fechas compromiso, de las recomendaciones surgidas del análisis de riesgos.

Aun cuando el proceso de gestión de riesgos contempla todas estas etapas, el presente trabajo se enfoca únicamente a las etapas c), d), y e), las cuales engloban el proceso de identificación, análisis y evaluación de riesgos.

#### **1.6.2.2 - Proceso de Identificación, Análisis y Evaluación de Riesgos**

Este proceso debe realizarse de acuerdo con la secuencia de las siguientes etapas:

1. Definición del alcance.
2. Identificación de peligros y riesgos.
3. Estimación del nivel de riesgo.
4. Verificación del análisis.
5. Documentación del análisis, y
6. Actualización del análisis.

Contar con la información actualizada, completa y vigente sobre la tecnología del proceso a analizar, una persona que dirija el Análisis de Riesgos (Líder) y la aplicación de la metodología de Análisis de Riesgos seleccionada, la participación de un grupo multidisciplinario de especialistas con amplia experiencia y conocimientos sobre disciplinas como operación, mantenimiento, seguridad, ingeniería y diseño, salud en el trabajo, etc. [14].

#### **a) Definición del alcance**

Se debe definir y documentar el alcance del análisis de riesgos para crear un plan al inicio del proyecto. Esta actividad implica:

- a. Describir las razones y/o problemas que motivaron el análisis de riesgos.
  1. Formular los objetivos del análisis de riesgos con base en los requerimientos identificados.
  2. Definir los criterios de éxito/falla del sistema.
- b. Definir el sistema a analizar, que incluye:
  1. Descripción general del sistema.
  2. Definición de fronteras e interfaces con los sistemas relacionados tanto físicas como funcionales.
  3. Descripción del entorno del sistema.
  4. Identificación de entradas y salidas a través de las fronteras del sistema de materiales y energía.
  5. Definición de condiciones operativas consideradas en la evaluación y cualquier limitante importante.
- c. Identificar circunstancias técnicas, ambientales, legales, organizacionales y humanas, relevantes a la actividad o problema analizado.
- d. Definir las limitantes y suposiciones bajo las que se realiza el análisis.
- e. Identificar las decisiones que se deban tomar con base en los resultados obtenidos.

Dentro de las actividades de definición del alcance también se deben considerar la familiarización con el sistema en estudio.

## **b) Identificación de peligros y riesgos**

Se deben identificar todos los peligros junto con las formas en las que estos pueden salirse de control y, dar lugar a la ocurrencia de los riesgos. Esta identificación también incluye aquellos peligros registrados en el historial de incidentes/accidentes tanto propios como de instalaciones y/o procesos similares, así como los que resulten del empleo de la(s) metodología(s) formal(es) para el desarrollo de los análisis de riesgos de proceso [14].

Debe llevarse a cabo una identificación, análisis y evaluación inicial de los riesgos, considerando la importancia de los peligros identificados. Esto implica alguna o algunas de las siguientes acciones:

- Tomar acciones correctivas inmediatas para eliminar o reducir los riesgos ocasionados por los peligros.
- Después de la acción anterior, detener el análisis de riesgos debido a que los peligros y sus riesgos son insignificantes, o
- Continuar con el análisis y con la estimación del nivel de riesgo.

### **c) Estimación del nivel de riesgo**

En esta etapa, se deben considerar los eventos iniciadores y su probabilidad de ocurrencia, la combinación de eventos que son de interés: errores humano, fallas de equipos, dispositivos de seguridad, sistemas de mitigación activos y pasivos, así como sus posibles consecuencias, para obtener una estimación del riesgo analizado. En esta estimación debe considerarse la reducción al máximo, del grado de incertidumbre involucrado. Las metodologías usadas en la estimación del riesgo son a menudo cuantitativas aunque el grado de detalle requerido depende de cada aplicación en particular. El análisis totalmente cuantitativo no siempre es posible debido a que normalmente no se dispone de suficientes datos e información sobre el sistema, proceso o actividad analizada. En tales circunstancias se puede emplear una categorización comparativa ya sea cualitativa o cuantitativa de riesgos realizada por especialistas, En el caso de que la categorización sea cualitativa, se debe proporcionar una explicación clara y detallada de todos los criterios y términos empleados, así como documentar las bases para la asignación de las categorías de frecuencia y consecuencias. Para la estimación del riesgo, primero se analizan las posibles causas mediante las cuales los peligros se salen de control y se determina su probabilidad de ocurrencia o frecuencia (para el caso de las sustancias peligrosas, considerar la duración y naturaleza de su liberación: Inventario, composición, características de la descarga, etc.). Luego, se analizan las consecuencias derivadas de la pérdida de control del peligro. El análisis de consecuencias implica estimar la severidad de las consecuencias asociadas con el peligro. El análisis también puede requerir la

estimación de la probabilidad de que el peligro cause la(s) consecuencia(s) y por lo tanto puede involucrar el análisis de la secuencia de eventos mediante el cual el peligro puede resultar en esa consecuencia [14].

#### **d) Análisis de frecuencia**

El análisis de frecuencia, se emplea para estimar la probabilidad de ocurrencia de cada evento no deseado, identificado en la tercera etapa del proceso de gestión del riesgo. Generalmente se emplean tres enfoques para la estimación de dicha frecuencia:

- El uso de datos históricos
- Obtener frecuencias a través del uso de metodologías analíticas o simulaciones
- Empleando juicios y experiencia del personal operativo familiarizado con los procesos y/o de expertos.

El uso de estos puede ser particular o combinado, Generalmente se combinan el primero y el segundo con el objetivo de obtener datos más confiables. En caso de que por alguna razón no sea esto posible, se recurre al juicio de personal operativo familiarizado con los procesos y/o al de expertos [14].

#### **e) Análisis de consecuencias**

El análisis de consecuencias se emplea para estimar el impacto o daño que tendría el escenario de riesgo del evento no deseado, sobre el personal, la población, el medio ambiente y las instalaciones – producción [14].

El análisis de consecuencias debe:

- Estar basado en eventos no deseados previamente seleccionados
- Evaluar y describir los daños de cualquier consecuencia resultante de los escenarios de riesgo simulados, sobre el personal, la población, el medio ambiente y las instalaciones – producción

- Tomar en cuenta las medidas de seguridad y sistemas existentes para mitigar las consecuencias, así como todo los controles administrativos y condiciones relevantes que pudieran tener un efecto mitigador sobre estas
- Documentar los criterios empleados para identificar y evaluar los efectos de las consecuencias
- Considerar las consecuencias inmediatas y aquellas resultantes después de cierto tiempo, si así lo considera el alcance del estudio.

#### **f) Calculo del riesgo**

Es necesario que el riesgo se exprese en términos adecuados. Algunas formas de expresarlo son:

- Frecuencia de muerte para un individuo (riesgo individual).
- Gráficas de frecuencia versus consecuencia para riesgo social (estas se conocen como curvas F-N, donde F expresa la frecuencia y N el número de personas que sufren cierto grado de daño específico).
- La tasa de pérdidas esperadas estadísticamente en términos de fatalidades, daños económicos o ambientales.
- La distribución del riesgo de un cierto grado de daño específico.

Los datos para los cálculos deben ser recolectados, documentados y organizados, en tal forma que facilite su manejo durante el desarrollo del análisis de riesgos, permitiendo su trazabilidad [14].

#### **g) Incertidumbre**

Dado a que hay muchas incertidumbres en la estimación del riesgo, se requiere entender las causas que las originan, con objeto de interpretar efectivamente los niveles de riesgo estimados o calculados. Siempre se debe tener en cuenta que las incertidumbres están asociadas con los datos, las metodologías y los modelos empleados en la estimación del riesgo [14].

#### **h) Verificación del análisis**

El análisis se debe someter a un proceso formal de verificación por personal no involucrado en su elaboración, de tal forma que la integridad y calidad del análisis quede asegurada [14].

La verificación debe incluir las siguientes etapas:

- a. Verificar que el alcance sea consistente con los objetivos establecidos.
- b. Revisar todas las suposiciones críticas y asegurar que éstas son creíbles con base en la información disponible.
- c. Asegurar que el analista empleó las metodologías, métodos, modelos y datos apropiados.
- d. Verificar que el análisis puede ser repetible por otros analistas.
- e. Verificar que los resultados del análisis no dependen de la forma en la que se presentan los datos o resultados.

Así mismo, revisar la viabilidad técnica y económica de las recomendaciones resultantes del análisis de riesgos. Este paso se debe dar bajo las siguientes consideraciones:

- Generar las diferentes opciones para la administración del riesgo.
- Evaluar técnica y económicamente cada opción con el enfoque de costo/beneficio.
- Presentar las conclusiones de la evaluación del costo/beneficio, considerando aspectos como:
  - Grado de riesgo remanente.
  - Cumplimiento de la legislación.
  - Costo de la retención del riesgo.

### **i) Actualización del análisis**

Dado que el análisis de riesgos se requiere para soportar un proceso de administración de riesgos continuo, se debe realizar y documentar de tal forma que este puede ser actualizado a través del ciclo de vida del proceso, sistema, instalación o actividad. Los analistas deben actualizarlo cada cinco años, o bien antes en caso de

que se presenten cambios en las condiciones de diseño, en la tecnología de proceso, o bien, como resultado de incidentes/accidentes mayores o, de acuerdo con las necesidades del proceso de gestión, como lo estipula la NOM-028-STPS-2012 “Sistema para la administración del trabajo-Seguridad en los procesos y equipos críticos que manejen sustancias químicas peligrosas” [14, 8].

### **1.6.3 - Metodologías del Análisis de Riesgos**

El análisis de riesgos involucra la identificación de los peligros presentes en el proceso bajo estudio y posteriormente, el análisis y la evaluación de los riesgos asociados a esos peligros.

#### **1.6.3.1 - Identificación de peligros**

Implica la revisión sistemática del sistema bajo estudio con el objetivo de identificar los peligros que se encuentran presentes, así como las formas en las que esos peligros pueden salirse de control, dando lugar a posibles escenarios de riesgo [14]. Las metodologías empleadas para identificar peligros se pueden agrupar en tres clases:

- Metodologías comparativas, como las Listas de Verificación.
- Metodologías fundamentales, consistentes en métodos estructurados para estimular a un grupo multidisciplinario que aplican sus conocimientos sobre el sistema analizado, para identificar peligros y prever la forma en la que se puede perder control sobre ellos. Ejemplos de estas metodologías son: ¿Qué pasa si?, Análisis de Modos de Falla y sus Efectos (FMEA) y Análisis de Peligros y Operabilidad (HazOp-).
- Razonamiento inductivo / deductivo, tal como el Análisis de Arboles de Eventos (AAE) / y el Análisis de Arboles de Falla (AAF).

#### **1.6.3.2 - Jerarquización de los riesgos**

La identificación de peligros en un proceso en particular puede dar origen a una gran cantidad de escenarios de riesgo potenciales. Durante la aplicación de alguna

metodología cualitativa (Lista de verificación, ¿Qué pasa si?, FMEA o HAZOP) se deben identificar tanto su frecuencia de ocurrencia como cada una de las posibles consecuencias (daño al personal, a la población, al medio ambiente, a las instalaciones y/o a la producción), las cuales deben ser documentadas en la columna correspondiente y valoradas de acuerdo con los criterios señalados en las matrices de riesgo. La aplicación de metodologías para realizar análisis cuantitativo de riesgo (AAE, AAF y AC) se reserva para sistemas complejos o bien para aquellos casos, en lo que a juicio de los analistas, por el elevado nivel de riesgo obtenido, así lo requieren [14].

El análisis cuantitativo de riesgos requiere del cálculo de la frecuencia (F), o probabilidad de ocurrencia, y de la severidad de las consecuencias (C).

#### **1.6.3.3 - Selección de las metodologías**

Los elementos que influyen sobre la selección de las metodologías a emplear son:

- Normatividad aplicable o compromisos contractuales.
- Los objetivos del estudio (si se desea identificar desviaciones con respecto a determinada normatividad o prácticas recomendadas, una lista de verificación puede ser suficiente).
- La fase del desarrollo del sistema (fases tempranas requieren análisis menos detallados, pues no se cuenta con toda la información técnica requerida para aplicar otro tipo de evaluación).
- El tipo de sistema y peligro analizado (algunos sistemas implican un grado de complejidad que pueden exceder las capacidades de algunas metodologías).
- El nivel potencial de severidad (escenarios con niveles de severidad de consecuencias altos, requieren de metodologías más detalladas).
- Los requisitos de experiencia, entrenamiento y horas dedicadas (una metodología un poco más sencilla bien aplicada puede dar origen a mejores resultados que una metodología más compleja deficientemente aplicada, siempre y cuando cumpla con el objetivo del estudio).

- La disponibilidad de información (algunas metodologías requieren de mayor cantidad de datos).
- La necesidad de modificación – actualización de los análisis (algunas metodologías permiten una actualización o modificación más sencilla que otras).

En términos generales, la metodología empleada para realizar el análisis de riesgos deber ser la adecuada para cumplir con las siguientes características:

- Deber ser técnicamente definible.
- Debe permitir identificar el peligro que lo origina y valorar la importancia del riesgo, así como la forma en la que este debe ser controlado.
- Debe ser trazable, reproducible y verificable.

En la Tabla 1.2 se muestra el uso típico de las metodologías de acuerdo con la etapa de vida del proceso, aunque en ocasiones en alguna de estas etapas se puede utilizar más de una metodología.

**Tabla 1.2** Metodologías de acuerdo a la etapa de vida del proceso [14].

Etapa	Lista de verificación	¿Qué pasa si?	FMEA	HAZOP	AAE	AAF	AC Análisis
-------	-----------------------	---------------	------	-------	-----	-----	----------------

				Análisis de Modelos de Falla y sus Efectos	Análisis de Peligros y Operabilidad	Análisis de Árbol de Eventos	Análisis de Árbol de Fallas	de Consecuencias
Investigación y desarrollo	✓	✓						
Diseño conceptual	✓	✓	✓					
Operación de planta piloto	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Ingeniería de detalle	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Construcción y arranque	✓	✓	✓					
Operación rutinaria	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Expansión o modificación	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Desmantelamiento	✓	✓	✓					

#### 1.6.3.4 - Listas de verificación

Deben ser elaboradas a partir de códigos, regulaciones y estándares aplicables y deber ser aprobadas por el personal designado por PEMEX antes de ser aplicadas. El alcance debe cubrir Factores Humanos, Sistemas e Instalaciones. Deben ser tan extensas como sea necesario para satisfacer la situación específica que se analiza, debe ser aplicada en forma que permita identificar y evaluar los problemas que requieren mayor atención. Los resultados deben contener una lista de recomendaciones (alternativas) de mejoras de la seguridad (reducción del riesgo) a ser consideradas por PEMEX [14].

Esta metodología es la más simple para realizar un análisis de riesgos. De hecho una lista de verificación no es un verdadero análisis como los otros. Más bien, es una colección de temas basados en la experiencia pasada, que el grupo de revisión pregunta para confirmar si están manejados correctamente [15].

Un análisis de lista de verificación usa una lista de punto de un procedimiento para verificar el estado de un sistema. Las listas de verificación varían ampliamente su nivel de detalle y son frecuentemente usadas para indicar el cumplimiento con estándares y políticas. El análisis lista de verificación es fácil de usar y poder ser aplicado a cualquier etapa del tiempo de vida de un proceso. Las listas de verificación

pueden ser usadas para familiarizar al personal inexperto con el proceso por comparación de los atributos del proceso con varios requerimientos de la lista de verificación. Las listas de verificación además de proveen una base común para la revisión por parte de la dirección de las evaluaciones del analista de un proceso y operación [14].

Sin embargo, no es muy útil en la determinación de una solución eficaz algún problema específico, y no es efectiva para detectar o identificar nuevos riesgos o diferentes. Esta metodología se usa para generar documentos de orientación preliminar o para garantizar la conformidad con las normas de seguridad, más que para prevenir un riesgo [15].

#### **1.6.3.5 - ¿Qué pasa sí?**

Esta metodología debe involucrar el análisis de las desviaciones posibles del diseño, construcción, modificación u operación, así como cualquier preocupación acerca de la seguridad del proceso. Debe promover la lluvia de ideas acerca de los escenarios hipotéticos con el potencial de causar consecuencias de interés (eventos no deseados con impactos negativos). Debe ser aplicada con el apoyo de un grupo multidisciplinario de la instalación. El resultado debe ser una lista en forma de tabla de las situaciones peligrosas, sus consecuencias, salvaguardas y opciones posibles para la prevención y/o mitigación de consecuencias [14]. Requiere un conocimiento básico del sistema y cierta disposición mental para combinar o sintetizar las desviaciones posibles. Algunas ventajas son:

- Método ampliamente reconocido y, generalmente aceptado como una fuerte herramienta para el análisis de seguridad.
- Es sencillo y fácil de aprender, poder ser empleado por personal nuevo o inexperto, esto lo hace una herramienta muy útil para organizaciones pequeñas o sin experiencia.

La metodología puede ser individualmente estructurada de acuerdo a las necesidades de cada organización, y puede ser tan amplia o tan detallada como se

quiera. El resultado es un listado de posibles escenarios o sucesos incidentales, sus consecuencias y las posibles soluciones para la reducción o eliminación del riesgo. El problema que presenta esta metodología es que puede ser abordada de una manera no estructurada [15]. Para evitar esto, se tiene que seguir los siguientes pasos:

- Determinar el alcance y los límites de la revisión.
- El análisis está diseñado para identificar, más no para resolver procesos de riesgo.
- Se tiene que analizar cada parte del proceso, proyecto u organización, para poder hacer la revisión en secciones.

#### **1.6.3.6 - Combinación Lista de Verificación y ¿Qué pasa sí?**

Al aplicar esta combinación de metodologías, se den considerar los criterios antes descritos en particular para cada una de ellas. En base a las listas de verificación, se debe promover la lluvia de ideas acerca de escenarios hipotéticos. Deben anexarse preguntas relacionadas con cualquier preocupación acerca de la seguridad del proceso, que el grupo considere pertinentes. El resultado deber ser una lista en forma de tabla de las situaciones peligrosas, sus consecuencias, salvaguardas y opciones posibles para la prevención y/o mitigación de consecuencias [14].

#### **1.6.3.7 - Análisis de modos de fallas y sus efectos (FMEA)**

Los resultados deben ser una lista de referencia sistemática y cualitativa de equipo, modos de falla y efectos, que incluya un estimado de los peores casos de acuerdo a las consecuencias que resulten de las fallas particulares. Se deben incluir recomendaciones orientadas a incrementar la confiabilidad de los equipos para mejorar la seguridad del proceso. Todos los analistas involucrados en el estudio FMEA deben estar familiarizados con las funciones y los modos de falla del equipo, y con el impacto que estas fallas pueden tener en otras secciones del sistema o la instalación [14].

Esta metodología generalmente es aplicada a una pieza específica de un equipo en un proceso o a partes particularmente peligrosas en un proceso largo. El primer

propósito es evaluar la frecuencia y las consecuencias de fallos de los componentes de un proceso y sus alrededores. Su principal defecto es que se centra en los fallos de los componentes y no considera los errores en los procedimientos operativos o los cometidos por los operadores. Como resultado tiene un solo alcance en los procesos químicos industriales [16]. Los requerimientos de información para realizar un AMEF son:

- Un equipo de personas con el compromiso de mejorar la capacidad de diseño para satisfacer las necesidades del cliente.
- Diagramas esquemáticos y de bloque de cada nivel del sistema, desde subensambles hasta el sistema más completo.
- Especificaciones de los componentes, lista de piezas y datos del diseño.
- Especificaciones funcionales de módulos, subensambles, etc.
- Requerimientos de manufactura y detalles de los procesos que se van a utilizar.
- Formas de AMEF, en papel o electrónicas, y una lista de consideraciones especiales que se apliquen al producto.

#### **1.6.3.8 - Análisis de Árboles de Eventos (AAE)**

En esta metodología se explora de manera sistemática la progresión de un evento iniciador y a partir de la actuación (éxito o falla) de las medidas de seguridad con las que cuenta un sistema, para evitar o mitigar resultados indeseables, se identifican todos los posibles resultados y se cuantifica la probabilidad de ocurrencia de estos. Es un método inductivo [14].

#### **1.6.3.9 - Análisis de Árboles de Fallas (AAF)**

Es una técnica deductiva que se aplica a un sistema técnico o proceso para la identificación de los sucesos y las cadenas de sucesos que pueden conducir a un incidente no deseado, en general a un accidente o un fallo global de un sistema. Esta técnica permite asimismo, la cuantificación de la probabilidad o frecuencia con que puede producirse un suceso. Es decir, permite el cálculo de la no fiabilidad o no disponibilidad del sistema [17].

Para la aplicación de esta técnica se debe tener un entendimiento detallado acerca del funcionamiento de la instalación y del sistema, de los diagramas detallados y los procedimientos y de los modos de falla de los componentes y sus efectos. Los resultados obtenidos deben ser revisados y validados por personal de PEMEX. El contratista debe fundamentar y documentar cada uno de los valores de las tasas de falla de los equipos y dispositivos que aparezcan en el árbol de fallas, así como explicar las suposiciones, implicaciones y limitaciones del método que usa para la solución numérica (métodos rigurosos o aproximados) de los árboles de fallas analizados. La documentación de esta técnica debe contener como mínimo:

- La definición del problema.
- La construcción del árbol de fallas.
- El análisis del modelo de árbol de fallas.
- Análisis de los resultados.

El evento topo objeto de análisis debe ser identificado previamente durante la etapa de identificación de riesgos y debe especificar el “qué”, “dónde” y “cuándo” ocurre el evento. Esta metodología se identifica de manera sistemática las distintas combinaciones de eventos (conjuntos mínimos de corte) que pueden dar origen a un evento indeseado (evento tope), puede evaluar la actuación de las medidas de seguridad con las que cuenta un sistema ya sean errores humanos, fallas en el equipo o eventos externos al sistema [14].

#### **1.6.3.10 - Análisis de peligros y operabilidad (HAZOP)**

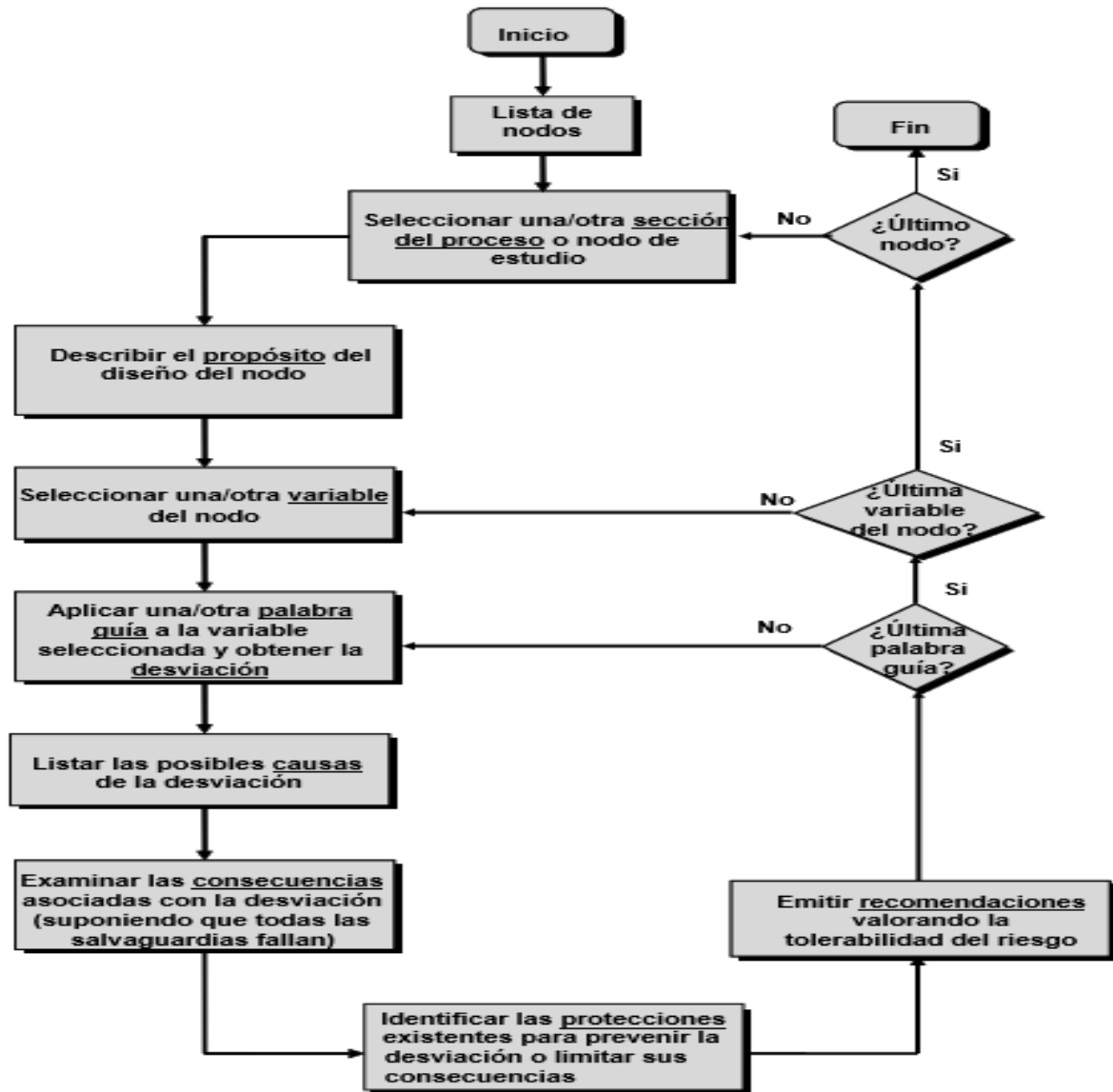
Debe identificar y evaluar riesgos en instalaciones de procesos, así como identificar problemas operativos, que a pesar de no ser peligrosos, podrían comprometer la capacidad de producción de la instalación (cantidad, calidad y tiempo). Debe ser aplicada con el apoyo de un grupo multidisciplinario de la instalación. La definición de los nodos debe ser conciliada con el grupo multidisciplinario. Las palabras guías deben aplicarse a los parámetros o variables de acuerdo a la intención de diseño del nodo bajo estudio, para identificar y evaluar las desviaciones potenciales de la operación de la instalación. Si las causas y las consecuencias son significativas y las

salvaguardas son inadecuadas o insuficientes, se deben recomendar acciones para reducir el riesgo. Los resultados deben ser una lista en forma de tabla que contenga los hallazgos del equipo con la identificación de los riesgos del proceso, los problemas operativos, las causas, las consecuencias, las salvaguardas y las recomendaciones. En aquellos casos en que no se llegue a una conclusión debido a la falta de información se recomendará la realización de estudios posteriores.

En esta metodología se evalúa de manera sistemática cada porción de un proceso, identificando desviaciones respecto a la intención de diseño, cómo éstas pueden ocurrir, medidas de seguridad con las que se cuenta para prevenir fallas o mitigar sus consecuencias, determinando su importancia de acuerdo a su probabilidad de ocurrencia y posibles consecuencias y proponiendo medidas preventivas o de mitigación para reforzar la seguridad [14].

Una vez que se han identificado los eventos no deseados, se procede a su cuantificación de efectos y consecuencias para poder establecer la estimación de la frecuencia [18]. El estudio de las desviaciones conduce a las posibles causas con las que se determina el grado de consecuencias y frecuencia, las cuales establecen el riesgo potencial. Así, es posible emitir las recomendaciones pertinentes paralelamente [19].

A continuación se muestra un esquema del protocolo de realización de un análisis de riesgo empleando la metodología HAZOP.



**Figura 1.3** Protocolo del análisis de riesgo mediante la metodología HAZOP [20].

Durante la realización del análisis empleando la metodología HAZOP, se deben identificar los variables y/o parámetros del proceso, donde el equipo examina cada nodo e identifica las variables y parámetros que sean relevantes en la búsqueda de desviaciones del propósito por diseño y que puedan concluir a consecuencias indeseables [14]. En las Tablas 1.3 y 1.4 se muestran los ejemplos de variables y parámetros.

**Tabla 1.3** Ejemplos de variables [14].

- <b>Flujo</b>	- <b>Tiempo</b>
- <b>Presión</b>	- Fase
- <b>Temperatura</b>	- Velocidad
- <b>Mezclado</b>	- Medida
- <b>Agitación</b>	- Control
- <b>Transferencia</b>	- pH
- <b>Nivel</b>	- Señal
- <b>Viscosidad</b>	- Inicio/paro
- <b>Reacción</b>	- Secuencia
- <b>Composición</b>	- Operar
- <b>Adición</b>	- Tamaño de partícula
- <b>Separación</b>	

**Tabla 1.4** Ejemplos de parámetros [14].

- <b>Espesor</b>
- <b>Diámetro</b>
- <b>Longitud</b>
- <b>Altura</b>
- <b>Composición de materiales</b>
- <b>Capacidad</b>
- <b>Rugosidad</b>

Para cada variable o parámetro seleccionado, el equipo identifica las palabras guía que generen desviaciones lógicas. Cada palabra guía se aplica a cada variable relevante que caracteriza el nodo analizado. Para realizar una identificación detallada de riesgos es necesario que los nodos y las variables que los caracterizan cubran todo los aspectos relevantes del propósito por diseño y que la combinación de las variables con palabras guías cubran todas las desviaciones [14].

Evitar desviaciones ilógicas como: “Viscosidad inversa”, “nivel en lugar de” o “tamaño de partícula lento”. En la Tabla 1.5 se muestran ejemplos de palabras guía.

**Tabla 1.5** Ejemplos de palabras guía [14].

<b>Palabra guía</b>	<b>Significado</b>
<b>No</b>	Negación de la intención del diseño
<b>Más / Alta</b>	Incremento cuantitativo
<b>Menos / Baja</b>	Decremento cuantitativo
<b>Inverso</b>	Opuesto lógico al propósito del diseño
<b>Parte de</b>	Sólo se logra parte del propósito del diseño
<b>Otro</b>	Sólo se logra parte del propósito del diseño
<b>En lugar de</b>	Sustitución
<b>Antes / Después</b>	Fuera de secuencia
<b>Temprano / Tarde</b>	Antes o después de tiempo
<b>Rápido / Lento</b>	Fuera de velocidad

Para generar las desviaciones se combinan las variables o parámetros con las palabras guía, en la Tabla 1.6 se muestra un ejemplo.

**Tabla 1.6** Ejemplos de desviaciones [14].

<b>Variable o parámetro</b>	<b>Palabra guía</b>	<b>Desviación</b>
<b>Flujo</b>	No	No flujo
<b>Presión</b>	Alta	Alta presión
<b>Voltaje</b>	Bajo	Bajo voltaje

#### **1.6.3.10.1 - Determinación de desviaciones**

Conforme se han ido vinculando las variables con las palabras guía, han ido surgiendo desviaciones, estas deben ser discriminadas de manera tal que se identifiquen aquellas con consecuencias evidentemente triviales, ya que no tiene sentido analizar sus causas. Para todas aquellas desviaciones que resulten con consecuencias no triviales se deben de buscar las causas que las originan, para ello el líder empleará el método de “tormenta de ideas”, cuidando el no caer en absurdos, y procurando mantener una actitud proactiva en el grupo de análisis. Las causas pueden ser tanto fallas de equipo como errores humanos [14,21].

#### **1.6.3.10.2 - Identificación de causas**

Las causas que originan las desviaciones deben de buscarse en fallas de equipo, de instrumentos, errores humanos así como en la interrelación del sistema con el medio ambiente, como puede ser perturbaciones meteóricas, etc. [14,21].

#### **1.6.3.10.3 - Identificación de consecuencias**

Para la determinación de las consecuencias el grupo de trabajo debe de tomar en consideración los valores de las propiedades físico-químicas de las sustancias involucradas, así como los parámetros de diseño a fin de poder determinar el escenario que se presentaría como consecuencia de la desviación analizada. Es esencial identificar por completo las consecuencias, desde la ocurrencia de la desviación hasta la pérdida creíble en materia de seguridad, ambiente y negocio.

Las consecuencias se deben enunciar considerando que todas las protecciones existentes “fallan” [14,21].

#### **1.6.3.11 - Análisis de Consecuencias (AC)**

Con esta metodología se estiman los posibles daños sobre el personal, la población, el medio ambiente y el negocio (instalaciones y producción), derivados de

la pérdida de contención de una sustancia peligrosa (tóxica, inflamable y/o explosiva) a partir de la modelación de nubes tóxicas, incendios y explosiones. Es un método deductivo [14]. Normalmente se consideran tres tipos de efectos: radiación térmica, ondas de sobrepresión por explosión y la exposición de las personas a sustancias tóxicas [9].

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

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

A continuación se describen los principales modelos empleados para el análisis de riesgos y consecuencias.

#### **1.6.3.11.1 - Modelos de fuente**

Los modelos de fuente se utilizan para predecir la tasa de descarga, la evaporación instantánea de una sustancia, la cantidad de aerosol formado y la cantidad de sustancia evaporada. Esta liberación puede ser producto de la ruptura o fractura de los recipientes, válvula de venteo o válvula abierta. El material fugado puede estar en estado gaseoso, líquido o en dos fases. Estos modelos requieren de información inicial o básica, algunos de ellos son: propiedades físicas y químicas de la sustancia, geometría del recipiente, características del suelo, variación del tiempo, presencia de gas y aerosol en el chorro de salida, entre otros. Los modelos de fuente

representan una de las bases principales para el desarrollo de los modelos de dispersión y de explosión e incendio [9].

#### **1.6.3.11.2 - Modelos de dispersión**

Modelos de dispersión Los modelos de dispersión tratan de definir los aspectos de transporte y dispersión de un material una vez que se ha liberado a la atmósfera [9]. La densidad es una de las características principales que condiciona la transferencia de un gas en la atmósfera, existiendo tres posibilidades:

- Gases ligeros. Densidad inferior a la del aire (se dispersan).
- Gases pasivos o neutros. Densidad similar a la del aire (permanecen en el lugar).
- Gases pesados. Densidad mayor que la del aire (descienden a nivel del piso).

#### **1.6.3.11.3 - Modelos para explosión e incendio**

Como resultado de una liberación de material se pueden tener gases o líquidos inflamables, los cuales podrían incendiarse o hacer explosión [9]. Un incidente con materiales peligrosos puede tener como resultado:

- Explosión de nube de vapor no confinada.
- Explosión por expansión de líquido en ebullición.
- Explosión.
- Explosión confinada.
- Bola de Fuego (Fireball).
- Charca de fuego (Poolfire).
- Fuego tipo chorro (Jet Fire).
- Fuego instantáneo (Flash Fire).

#### **Explosiones de vapor no confinadas**

Explosiones de nubes de vapor no confinadas, (traducción de la expresión en inglés Unconfined Vapour Cloud Explosion UVCE). Este tipo de explosiones es uno de

los peligros de consecuencias más graves en las industrias de proceso. 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 un bar en la zona de ignición.

Este tipo de explosiones se originan con 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. Cuando un gas inflamable encuentra una fuente de ignición (normalmente superficies calientes, chispas, motores eléctricos, entre otros), 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. Un ejemplo desastroso de este tipo de explosiones fue el accidente de Flixborough (Gran Bretaña) causado por una nube de vapor no confinada de unas 30 toneladas de ciclohexano y que dio lugar a una explosión equivalente a unas 16 toneladas de trinitrotolueno (T.N.T.) [9].

### **Explosión por expansión de líquido en ebullición**

El acrónimo BLEVE se utiliza para designar una explosión mecánica en la que interviene un líquido en ebullición que se incorpora rápidamente al vapor en expansión. La traducción literal sería "expansión explosiva del vapor de un líquido en ebullición" correspondiente a "Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion", o BLEVE. La BLEVE es un caso especial de estallido catastrófico de un recipiente a presión en el que ocurre un escape súbito a la atmósfera de una gran masa de líquido o gas licuado a presión sobrecalentados. Cuando se almacena un líquido a presión elevada (normalmente a su presión de vapor a la temperatura de almacenamiento), la temperatura de almacenamiento suele ser notablemente mayor que su temperatura de ebullición normal. Cuando se produce la ruptura del recipiente, el líquido en 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 de 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. Las BLEVES son exclusivas de los líquidos o gases licuados en determinadas condiciones.

La característica principal de una BLEVE es precisamente la expansión explosiva de toda la masa de líquido evaporada súbitamente, aumentando su volumen más de 200 veces. 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 contenedor (recipiente), lo que produce una fisura o ruptura del mismo, con la despresurización, ondas de presión y el BLEVE del conjunto.

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 [9].

### **Incendios de charco**

Como consecuencia de un derrame o fuga 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 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 [9]. Los efectos peligrosos 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.

### **Dardo de fuego**

Tanto en las tuberías como en los depósitos con 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 la fuga 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 [9].

### **Bola de fuego**

El resultado de la mezcla de vapor y aire ocasiona la formación de una bola de fuego (fireball), la cual sucede cuando a la nube de vapor la alcanza una fuente de ignición. Las bolas de fuego, pueden llegar a afectar áreas importantes por los efectos de radiación térmica emitida. La parte interna de la nube está constituida totalmente por combustible, mientras que la capa externa, (donde la ignición ocurre) está formada por una mezcla aire-combustible. Como la capacidad de flotación se incrementa por el calor en el gas, la nube incendiada tiende a elevarse, extenderse y tomar una forma esférica [9].

### **Efecto dominó**

El efecto dominó se puede definir como "la concatenación de efectos que multiplica las consecuencias, debido a que los fenómenos peligrosos pueden afectar, además de los elementos vulnerables exteriores, otros recipientes, tuberías o equipos del mismo establecimiento o de otros establecimientos próximos, de tal manera que se produzca una nueva fuga, incendio, explosión, o estallido en los mismos, que a su vez provoque nuevos fenómenos peligrosos". Un efecto dominó implica la existencia de un accidente "primario", que afecta a una instalación "primaria" (este accidente puede no ser un accidente grave), pero que induce uno o varios accidentes "secundarios" que afectan a una o varias instalaciones "secundarias". Este accidente

o accidentes secundarios deben ser accidentes más graves y deben extender los daños del accidente "primario". La extensión de los daños es tanto espacial (áreas no afectadas en el accidente primario, ahora resultan afectadas), como temporal (el accidente secundario afecta a la misma zona pero retardado en el tiempo; en este caso las instalaciones primarias y secundarias pueden ser la misma), o ambas [9].

En resumen, el hecho de tener instalaciones de procesos que implícitamente manifiestan un determinado nivel de riesgo, y además entendiendo que éste no puede ser eliminado, lo concluyente es mantenerlo en el nivel más bajo posible. Lo anterior se logrará investigando en donde se encuentran los riesgos tanto obvios como los ocultos en la instalación, así como sus causas y consecuencias, lo cual permitirá tomar acciones adecuadas para mantener dentro de valores "aceptados" la magnitud del riesgo, para lo cual se han desarrollado metodologías con propósitos particulares [1]. Por lo anterior y debido a las características de desarrollo que presenta la metodología HAZOP, su campo de aplicación y los resultados que se obtienen al realizarse este tipo de análisis, se ha seleccionado dicha metodología para llevar a cabo la actualización del Análisis de Riesgos de la Planta Metanol II. Asimismo la simulación de los eventos no deseados más frecuentes y/o más catastróficos, para apreciar las consecuencias de los mismos, mediante la aplicación del análisis de consecuencias y el simulador PHAST.

# Capítulo II

## 2.1 - Nombre de la instalación, haciendo una breve descripción de la actividad

El complejo petroquímico Independencia cuenta con dos plantas productoras de metanol. La planta de Metanol II produce metanol a partir de gas natural.

### 2.1.2 - Fecha de inicio de operaciones

La planta de Metanol II inició sus operaciones el 15 de Junio de 1978.

## 2.2 - Ubicación de la instalación

Estas instalaciones están ubicadas en el municipio de San Martín- Texmelucan, en el estado de Puebla, aproximadamente 30 kilómetros al oeste de la Ciudad de Puebla.

El acceso a las instalaciones por vía terrestre es la Autopista México - Puebla kilómetro 94.2, del poblado de Santa María Moyotzingo, por vía aérea el aeropuerto más cercano es el de Huejotzingo, a 10 kilómetros de la planta.

### 2.2.1 - Coordenadas Geográficas de la instalación

Las instalaciones están a una elevación sobre el nivel del mar aproximadamente 2,500 m, y las coordenadas geográficas que definen el punto de ubicación se muestran en la Tabla 2.1.

**Tabla 2.1** Coordenadas Geográficas y U.T.M. (Universal Transversal Marcator).

<b>Instalación</b>	<b>Coordenadas Geográficas</b>	
<b>Complejo Petroquímico Independencia</b>	Longitud	Latitud
	98° 26'	19° 17'

### 2.2.2 - Superficie total de la instalación y superficie requerida para el desarrollo de la actividad (m<sup>2</sup> o Ha)

La superficie total del Complejo Independencia es de 106 hectáreas, con un área total ocupada de 98 hectáreas. El área restante corresponde a campos deportivos. En específico la planta de Metanol II tiene una superficie aproximada de 5,508 m<sup>2</sup>.

### 2.2.3 - Infraestructura necesaria

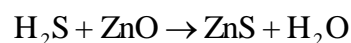
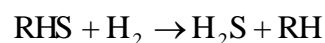
La planta de Metanol II cuenta con un cuarto de control de aproximadamente 160 m<sup>2</sup>, en donde se encuentran los tableros de control de los diferentes instrumentos de la planta y el sistema de control.

Entre los equipos instalados para la operación de la planta se encuentran las torres de destilación, turbo compresor, horno reformador, y las torres de purificación de producto, mismos que se pueden observar en la Figura 1.1 del Capítulo I.

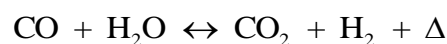
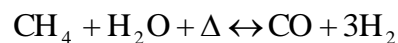
## 2.3 - Descripción de las reacciones con sustancias o materiales considerados de alto riesgo

A continuación se presentan las reacciones por etapas principales de proceso.

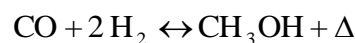
➤ Desulfurización:



➤ Reformación:



➤ Síntesis:



## 2.4 - Listado de las materias primas, productos y subproductos manejados en el proceso, señalando aquellas que se encuentren en los Listados de Actividades Altamente Riesgosas

El proceso utilizado en la planta de Metanol II se basa en la reformación del gas natural para sintetizarlo en metanol. A continuación se presentan las cantidades manejadas bajo las condiciones actuales de producción.

**Tabla 2.2** Sustancias Almacenadas, Manejadas y Producidas dentro de la Planta Metanol II.

Sustancia	LAAR		Cantidad Máxima de Almacenamiento o (kg)	Flujo	Conc. (%)	Capacidad máxima de producción	Tipo de almacenamiento	Equipo de Seguridad
	Listado	Cant. (kg)						
Gas natural (Metano)	2do. Listado	500	No se almacena	18000 m <sup>3</sup> /h	100,0	No se Produce	No se almacena	(1)
Metanol	1er. Listado	10 000	1 168 000	20 t/h	99,98	515 t/d	Tanque vertical	(2)
Hidrógeno	2do. Listado	500	No se almacena	32 000 m <sup>3</sup> /h	100,0	840000 m <sup>3</sup> /d	No se almacena	(3)
Cloro Líquido	1er. Listado	1	2 700	20 kg/d	100,0	No se Produce	Cilindro	(4)
Solución al 35% de Hidracina	1er. Listado	100	200 Litros	3 l/d	35,0	No se Produce	Tambor	(5)
Ácido Sulfúrico (Oleum)	1er. Listado	10 000	50 000	180 l/d	98,0	No se Produce	Recipiente horizontal	(6)
Hidróxido de Sodio	No Listado		130.5 m <sup>3</sup>	15 l/mes	50,0	No se Produce	Tanque vertical	(7)
Dispersantes y/o Poliacrilato	No Listado		1000 kg	90 l/mes	100,0	No se Produce	Contenedor	(9)
Nitrógeno	No Listado		18 ton	98,4 kg/d	100,0	No se Produce	Tanque vertical	(10)

Notas:

Equipo de Seguridad

(1)

- 1.- Detectores de mezclas explosivas.
- 2.- Válvulas de seguridad.
- 3.- Alarmas de flujo y presión.

(2)

- 1.- Alarmas.
- 2.- Dique de contención.
- 3.- Cámaras de espuma.
- 4.- Válvulas de seguridad.

(3)

- 1.- Detectores de mezclas explosivas.
- 2.- Válvulas de seguridad.
- 3.- Alarmas de flujo y presión.

(4)

Equipo de aire autónomo.

(5)

Equipo contra ácido.

(6)

- 1.- Equipo contra ácido.
- 2.- Contenedores o sardinel.
- 3.- Cal o bicarbonato.

(7)

- 1.- Equipo contra ácido.
- 2.- Dique de contención.

(8)

Equipo básico y careta facial.

(9)

Equipo contra ácido.

(10)

- 1.- Válvulas de seguridad en el recipiente.
- 2.- Indicador de presión.
- 3.- Reguladores.

Los tanques de almacenamiento de metanol cuentan con los siguientes dispositivos de seguridad:

- Diques con bloqueos para confinar y recuperar producto derramado.
- Arrestador de flama y válvula de presión vacío.
- Líneas para aplicar espuma contra-incendio en caso de incendiarse el interior del tanque.
- Monitores de agua contra-incendio alrededor de los diques, instalados estratégicamente para su uso en caso de emergencia.

## **2.5 - Hojas de datos de seguridad (MSD)**

De acuerdo a la NOM-018-STPS-2000, "Sistema para la identificación y comunicación de riesgos por sustancias químicas en los centros de trabajo", de aquellas sustancias consideradas peligrosas que presenten alguna característica CRETIB, se muestran en el Anexo "A".

## **2.6 - Equipos de proceso y auxiliares**

### **2.6.1 - Tipo de recipientes y/o envases de almacenamiento**

En el proceso de producción de metanol no se almacenan sustancias, ya que el proceso es en línea desde la alimentación del gas natural por ducto hasta obtener el Metanol puro. Una vez que el producto se ha purificado, se bombea a los tanques de almacenamiento TV-5506 A/B (10,000 bls de capacidad), TV-5507 A/B (10,000 bls de capacidad), TV-5508 A/B (10,000 bls de capacidad) y TV-5521 C (30,000 bls de capacidad), ubicados en el área de tanques de almacenamiento, que pertenece al área del complejo denominada movimiento de productos.

A continuación se muestran las características de los tanques, que aunque no se encuentra dentro de las instalaciones de la planta, son los tanques en donde se almacena el producto terminado.

**Tabla 2.3** Recipientes de almacenamiento de metanol.

Tanque	Servicio	Capacidad (Bls)	Diámetro (metros)	Altura (metros)	Nivel Máximo de Llenado	Estándar de Diseño	Material
TV5506 A	Metanol	10,000	12.95	12.192	80%	American Petroleum Institute Standard No. 650, Welded Steel Tanks for Oil Storage	A-283 GR C
TV5506 B	Metanol	10,000	12.95	12.192	80%	American Petroleum Institute Standard No. 650, Welded Steel Tanks for Oil Storage	A-283 GR C
TV5507 A	Metanol	10,000	12.95	12.192	80%	American Petroleum Institute Standard No. 650, Welded Steel Tanks for Oil Storage	A-283 GR C
TV5507 B	Metanol	10,000	12.95	12.192	80%	American Petroleum Institute Standard No. 650, Welded Steel Tanks for Oil Storage	A-283 GR C
TV5508 A	Metanol	10,000	12.95	12.192	80%	American Petroleum Institute Standard No. 650, Welded Steel Tanks for Oil Storage	A-283 GR C
TV5508 B	Metanol	10,000	12.95	12.192	80%	American Petroleum Institute Standard No. 650, Welded Steel Tanks for Oil Storage	A-283 GR C
TV5521 C	Metanol	30,000	22.35	13.22	80%	American Petroleum Institute Standard No. 650, Welded Steel Tanks for Oil Storage	A-283 GR C

El tanque cuenta con los siguientes sistemas de seguridad que actúan o se utilizan en casos de emergencias:

- Diques con bloqueos para confinar y recuperar producto derramado.
- Arrestador de flama y válvula de presión vacío.
- Líneas para aplicar espuma contra-incendio en caso de incendiarse el interior del tanque.
- Monitores de agua contra-incendio alrededor de los diques, instalados estratégicamente para su uso en caso de emergencia.

### **2.6.2 - Descripción de equipos de proceso y auxiliares**

En la siguiente tabla se muestran las características del equipo principal de la planta de Metanol II.

**Tabla 2.4** Características del equipo principal de proceso de la planta de Metanol II.

Equipo	TAG	Características	Tiempo estimado de uso
<b>Turbina del tiro inducido</b>	GTB-101	Potencia = 670 KW Consumo de vapor = 7720 Kg/hr Velocidad = 1180 rpm	35 años
<b>Tiro inducido</b>	GB-101	$\Delta p = 0.0511 \text{ Kg/cm}^2$ $Q = 145\,400 \text{ m}^3 \text{ N/hr.}$ $P \text{ máx} = 1 \text{ Kg/cm}^2$ Potencia= 622 KW	35 años
<b>Horno reformador</b>	BA-101	No. de tubos = 240 Longitud de calentamiento = 10.13 m D.I.= 125mm Tubos: Presión de diseño = $16.5 \text{ Kg/cm}^2$ Temperatura de diseño= $960^\circ\text{C}$ Catalizador = NiO	35 años
<b>Reactores de desulfurización</b>	DC-101 Ay B	Diámetro = 2.0 m Longitud = 10.5m Presión de diseño = $24 \text{ Kg/cm}^2$ Temperatura de diseño = $450^\circ\text{C}$ Co-Mo: Tipo: C-49-1-01 Fabricante: ICI-Katalco. Forma: Esférico	35 años

**Tabla 2.4** Características del equipo principal de proceso de la planta de Metanol II.

Equipo	TAG	Características	Tiempo estimado de uso
		Tamaño: 1/8" Cantidad: 4200 Kgs. ZnO: Características típicas: Tipo: HTZ-3 Fabricante: Haldor Topsoe Forma: Extruído Tamaño: 1/8" x 3/8" Cantidad: 18600 Kgs.	
<b>Turbina de vapor</b>	GTA -101	Potencia = 350 Kw Consumo de vapor: 2900 Kg/hr	35 años
<b>Pre calentador de agua de alimentación</b>	EA-104	Área = 61.7 m <sup>2</sup> Cuerpo: Presión de diseño = 5 Kg/cm <sup>2</sup> man. Temperatura de diseño = 150°C Tubos: Presión de diseño = 18 Kg/cm <sup>2</sup> Temperatura de diseño = 250°C No. de tubos = 160 Longitud de los tubos = 3.952m Dimensiones de los tubos = 1/4" O.D. X 0.08" Wall. Temperatura de entrada del agua = 42°C. Temperatura de salida del agua = 85 °C.	35 años
<b>Enfriador soloaire</b>	EE-101 A/B	Número de elementos: 2 Número de tubos por elemento = 190	35 años

**Tabla 2.4** Características del equipo principal de proceso de la planta de Metanol II.

Equipo	TAG	Características	Tiempo estimado de uso
		Dimensiones de los tubos= 11.030m de longitud X 1.0" O.D. X 0.06" wall Temperatura de entrada del gas reformado = 123°C Temperatura de salida del gas reformado = 60°C Temperatura de entrada del aire = 32°C Temperatura de salida del aire = 72.2°C Presión de diseño = 17.0 Kg/cm <sup>2</sup> Temperatura de diseño = 220°C.	
<b>Turbina de vapor para mover el compresor de síntesis</b>	GT-201	Potencia = 7025 Kw Consumo de vapor = 76800 Kg/hr P <sub>máx</sub> = 48 Kg/cm <sup>2</sup>	35 años
<b>Compresor de arranque</b>	GC-101	$\Delta P=5$ Kg/cm <sup>2</sup> Q = 10000 m <sup>3</sup> /hr P max = 10 Kg/cm <sup>2</sup> man a temperatura de operación Potencia= 415 Kw Tipo = (Compresor reciprocante) Consumo de agua de enfriamiento = Chaqueta del cilindro = 7m <sup>3</sup> /hr Enfriador de aceite = 1.6 m <sup>3</sup> /hr	35 años
<b>Flare</b>	S-102	Diámetro = 30" Longitud = 40m Presión de diseño= Temperatura de diseño =150°C	35 años

**Tabla 2.4** Características del equipo principal de proceso de la planta de Metanol II.

Equipo	TAG	Características	Tiempo estimado de uso
Turbina de vapor para mover el compresor de síntesis	GT-201	Potencia = 7025 Kw Consumo de vapor = 76800 Kg/hr P <sub>máx</sub> = 48 Kg/cm <sup>2</sup>	35 años
Turbocompresor 1 <sup>a</sup> . Etapa de compresión	GC-201 I	$\Delta P = 15.3 \text{ Kg/cm}^2$ Q= 70'000 m <sup>3</sup> /hr P <sub>max</sub> = 28.3 Kg/cm <sup>2</sup> Potencia = 3425 Kw	35 años
Turbocompresor 2 <sup>a</sup> . Etapa de compresión	GC-201 II	$\Delta P = 21.5 \text{ Kg/cm}^2$ Q= 70'000 m <sup>3</sup> /hr P <sub>max</sub> = Kg/cm <sup>2</sup> Potencia = Kw	35 años
Convertidor	DC-201	Área= 4.780 m <sup>2</sup> Vol. de catalizador = 38.4 m <sup>3</sup> Cuerpo: Presión de diseño = 60 Kgs/cm <sup>2</sup> man Temperatura de diseño = 180°C Tubos: Presión de diseño = 55 Kg/cm <sup>2</sup> Temperatura de diseño= 270°C No. de tubos = 6,049 Longitud de los tubos = 7.0 m Dimensiones de los tubos= 1 1/2" O.D. X 1/8" Catalizador = Cu y Zn.	35 años

**Tabla 2.4** Características del equipo principal de proceso de la planta de Metanol II.

Equipo	TAG	Características	Tiempo estimado de uso
<b>Soloaire Unidad 200</b>	EE-201 A-D	Presión de diseño = 60 kg/cm <sup>2</sup> Temperatura de diseño = 120°C No. de elementos = 4 No. de tubos por elemento = 190 Longitud de los tubos = 11.080m Dimensiones de los tubos = 1" O.D. X 1.55 mm	
<b>Columna de despunte</b>	DA-301	Diámetro interior = 48" Long. cilíndrica = 16.1m Presión de diseño= 3.5 Kg/cm <sup>2</sup> Presión de trabajo = 1.5 Kg/cm <sup>2</sup> Temp. de diseño= domo: 200°C fondo:200°C Temp. de trabajo= domo:80°C fondo:92°C Tipo de platos= Platos con borbotadores No. de platos= 40	35 años
<b>Columna de metanol puro</b>	DA-302	Diámetro interior = 108", Long. cilíndrica = 44m Presión de diseño= 6 Kg/cm <sup>2</sup> Presión de trabajo = 0.6 Kg/cm <sup>2</sup> Temp. De diseño= domo: 200°C fondo:200°C Temp. De trabajo= domo:64°C fondo:106°C Tipo de platos= Platos con borbotadores No. de platos= 85	35 años
<b>Columna de agua de proceso</b>	DA-303	Diámetro interior = 36" Long. cilíndrica = 10.8m Presión de diseño= 3 Kg/cm <sup>2</sup> Presión de trabajo = 1.4 Kg/cm <sup>2</sup>	35 años

**Tabla 2.4** Características del equipo principal de proceso de la planta de Metanol II.

Equipo	TAG	Características	Tiempo estimado de uso
		Temp. De diseño= domo: 200°C fondo: 200°C Temp. De trabajo= domo: 84°C fondo: 123°C Tipo de platos= Platos con borboteadores No. de platos= 30	
<b>Tanque de reflujo a DA-303</b>	FB-307	Presión de trabajo = 1.2 Kg/cm <sup>2</sup> Presión de diseño = 3 Kg/cm <sup>2</sup> Presión de prueba = 4.5 Kg/cm <sup>2</sup> Temperatura de trabajo = 84°C Temperatura de diseño = 120°C Capacidad = 2.5 m <sup>3</sup> Diámetro = 48", Longitud = 2.8m	35 años
<b>Recipiente de metanol puro y reflujo a DA-302</b>	FB-302	Presión de trabajo = 0.23 Kg/cm <sup>2</sup> Presión de diseño = 4 Kg/cm <sup>2</sup> Presión de prueba = 6.0 Kg/cm <sup>2</sup> Temperatura de trabajo = 30°C Temperatura de diseño = 100°C Capacidad = 30 m <sup>3</sup> Diámetro = 96", Longitud = 7.2m	35 años

## 2.7 - Análisis y evaluación de riesgos

### 2.7.1 - Antecedentes de incidentes y accidentes ocurridos

El Complejo Petroquímico Independencia (C.P.I.) de PEMEX Petroquímica se han presentado eventos de Accidentes en la Planta Metano II, principalmente durante 1998, posterior a esto no se han registrado accidentes dentro de la planta Metanol II, con ello se ha mantenido un nivel elevado de seguridad en todo el Complejo, lo que ha llevado a tener reconocimientos a nivel nacional en cuanto a seguridad.

A continuación se describen los accidentes que se encuentran registrados en los reportes de incidentes y accidentes del C.P.I. que pertenecen específicamente a Metanol II:

**Tabla 2.5** Informe de Accidentes.

Planta	No. de Incidente	Fecha de Incidente	Síntesis del Incidente	Perdida de Producción (t)
METANOL II	01	10/01/98	Se procede paro de planta al detectarse falla en el tubo A-29 del reformador	3 272,68
	02	17/01/98	Disparo Por Actuar Laco-225	68,87
	03	17/01/98	Alta Vibración en VBIACO-279	357,637
	04	10/03/98	Falla en turbo Compresor GT-201 Por baja presión de Aceite de Lubricación	23,5
	05	05/05/98	Taponamiento de Válvulas MOOG	1 000,
	06	25/05/98	Falla de Tubo Catalítico A-30 Del reformador BA-101	1 800,
	07	02/07/98	Fuga por cople de termo pozo de FA-202	80,0

## 2.7.2 - Identificación de los riesgos en áreas de proceso, almacenamiento y transporte

Para la identificación de los riesgos asociados a los procesos y actividades en estudio, se siguieron las etapas que se indican a continuación:

- Estudio y análisis de información proporcionada relativa a las instalaciones, como son diagramas de flujo, diagramas de tuberías e instrumentación, estadísticas de accidentabilidad, descripciones de procesos, características de las materias primas y productos, entre otros.
- Visita de campo a las instalaciones.
- Aplicación de la metodología de identificación de riesgos HazOp.
- Selección de hipótesis accidentales.
- Jerarquización de riesgos con matrices de ponderación.

El análisis de riesgo consiste en la detección y categorización de puntos de riesgo de los sistemas que conforman la Planta de Metanol II. Para este fin se aplicarán la Metodología HazOp para identificación de riesgos, y la metodología de matriz de Jerarquización para clasificar los riesgos. En la Figura 2.1, se muestra la secuencia del análisis de riesgo, donde la identificación de riesgos y la jerarquización de los mismos corresponden al análisis cualitativo. El fundamento para la selección de estas metodologías se muestra en la siguiente tabla:

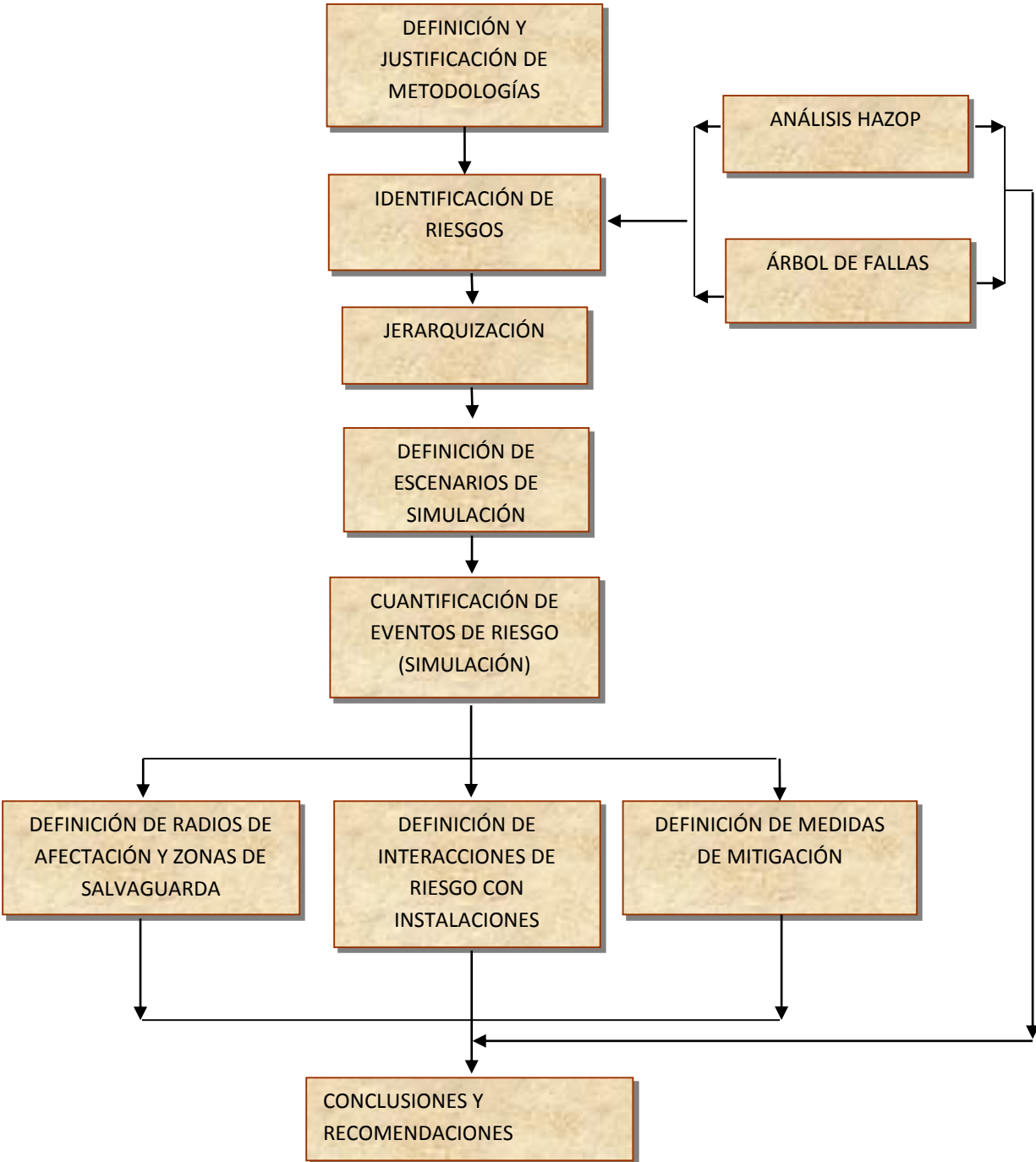
**Tabla 2.6.** Criterios de selección de metodologías.

<b>Etapas del análisis</b>	<b>Metodología</b>	<b>Criterio de selección</b>
Identificación de riesgos	Análisis Hazop	Este análisis es recomendable en instalaciones donde se desarrollen procesos petroquímicos. Detecta riesgos operacionales en los equipos involucrados en la planta de Metanol II.
	Análisis de árbol de fallas	Determina posibilidad de ocurrencia específicos para los eventos que se seleccionarán para ser simulados en el análisis cuantitativo.
Jerarquización de riesgos	Matriz de Jerarquización	Considera criterios de probabilidad, frecuencia y magnitud para determinar grados de riesgo. Sirve como complemento del análisis Hazop y da un parámetro confiable para categorizar las acciones de mitigación.

Este estudio de riesgo considera los criterios descritos en los procedimientos para elaboración de Análisis de Riesgos de PEMEX Petroquímica que se listan a continuación:

- Procedimiento No. **402-11000-IN-12-B**, REV. 0, denominado “Lineamiento que establece los criterios para identificar e integrar la información, en la realización de los análisis de riesgos”
- Procedimiento No. **402-11000-IN-12-C**, REV. 0, denominado “Lineamiento para el uso de metodologías en el desarrollo de los análisis de riesgos en PEMEX Petroquímica.”
- Procedimiento No. **402-11000-IN-12-D**, REV. 0, denominado “Lineamiento para jerarquizar las recomendaciones derivadas de los estudios de riesgos de las instalaciones de PEMEX-Petroquímica para su programación”
- Procedimiento No. **402-11000-IN-12-E**, REV. 0, denominado “Lineamiento para documentar y difundir la implantación de las actividades de prevención y control de riesgos”.

**Figura 2.1** Secuencia del Análisis de Riesgo.

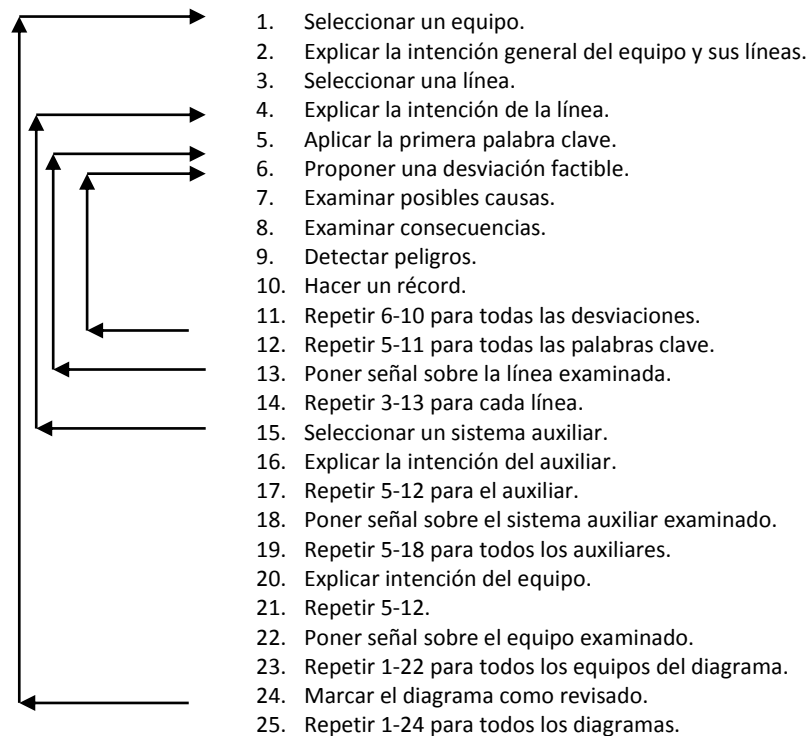


## 2.8 - Descripción de las metodologías de identificación

### 2.8.1 - Análisis de Riesgos Operativos (HazOp)

Este método permite analizar con mucho detalle el proceso de producción y las actividades llevadas a cabo. Es un método ideal para situaciones de operación en continuo, altamente sistemático y exhaustivo lo que permite analizar todas las situaciones de riesgo posibles.

**Figura 2.2** Secuencia para la Aplicación de la Técnica HAZOP.







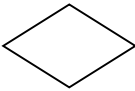
## 2.8.2 - Análisis de Árbol de Fallas

A continuación se menciona los pasos lógicos para generar el Árbol de Fallas.

1. Identificar el evento superior que será analizado y colocarlo en la cima del “árbol”.
2. Proceder al siguiente nivel inferior e identificar las fallas del subsistema que pueden generar la punta del árbol.
3. Determinar la relación lógica entre las fallas del subsistema que se requieren para producir el evento superior.
4. Usar las puertas lógicas “Y” y “O” (conectores boléanos) dentro de la estructura para mostrar la relación de las fallas del sistema que producen el evento superior.
5. Proceder al siguiente nivel inferior y repetir (2) hasta (4) hasta que la falla del componente de nivel haya sido identificada.

A continuación se da una guía para interpretar los gráficos del Análisis de Árbol de Fallas

**Tabla 2.7** Guía de Simbología del Análisis de Árbol de Fallas.

Símbolo	Nombre	Descripción
	Evento Básico	Evento de riesgo inicial básico (componente de falla).
	Evento intermedio	Ocurre a resultas de eventos en un nivel inferior a través de puertas lógicas o conectores boléanos.
	Conectores boléanos “O”	Conector de salida que indica que ocurre un evento sí al menos uno de sus precursores actúa.
	Conectores boléanos “Y”	Conector de salida que indica que ocurre un evento sí todos sus precursores actúan.
	Evento desarrollado no	Evento no desarrollado debido a la falta de información o no significativo para el proceso.

## 2.9 - Descripción de las metodologías de jerarquización

### 2.9.1 - Jerarquización de eventos

Una vez identificados los riesgos, se procede a jerarquizarlos mediante una matriz de valores triviales que cruza la frecuencia con que tienen oportunidad de aparecer estos eventos y la consecuencia de que estos se presenten para poder obtener un grado de riesgo.

### 2.9.2 - Ponderación de la frecuencia

Una vez que el grupo multidisciplinario halla identificado los riesgos y cuantificado sus frecuencias de ocurrencia, procederá a realizar una “clasificación del tipo de accidentes” escogiendo un número de acuerdo a los siguientes criterios La ponderación de la frecuencia de la causa se muestra en la Tabla 2.8 donde se asigna un valor numérico desde 1 hasta 4, dependiendo de cuantas veces ha ocurrido o bien cuantas veces puede ocurrir el evento precursor de riesgo.

**Tabla 2.8** Ponderación de la frecuencia.

Rango	Tipo de Accidente	Frecuencia
4	Accidentes Comunes	Se esperan que ocurran uno o más veces por año
3	Accidentes probables	Se esperan que ocurran al menos una vez cada 10 años
2	Accidentes razonablemente probables	Se esperan que ocurran entre una vez cada 10 años y una vez cada 100 años
1	Accidentes improbables	Se esperan que ocurran una vez cada 100 años o más

### 2.9.3 - Ponderación de la consecuencia

La ponderación de la severidad de la consecuencia que puede resultar en lesiones, pérdida física o funcional al personal, contaminación del medio ambiente o pérdida monetaria por daños a las instalaciones se muestra en la Tabla 2.9, donde se

le asigna un valor desde 1 hasta 4 dependiendo de la magnitud de las consecuencias esperadas, de acuerdo a la descripción presentada en la misma.

**Tabla 2.9** Tabla de ponderación de la consecuencia.

CONSECUENCIA	4	3	2	1
	Leve	Menor	Mayor	Catastrófico
<b>Seguridad Pública SP</b>	No hay lesiones o muertes	Lesiones menores o efectos menores a la salud	Lesiones o efectos a la salud moderados	Muertes o efectos severos a la salud.
<b>Seguridad a los Empleados SE</b>	No hay lesiones o muertes	Lesiones menores o enfermedades ocupacionales menores.	Una muerte o lesiones o enfermedades ocupacionales moderadas.	Muertes o enfermedades ocupacionales severas.
<b>Pérdida de Producción PP</b>	Menos de una semana	Entre una semana y un mes	Entre un mes y seis meses	Mayores de seis meses
<b>Daño a las instalaciones DI</b>	Menor a 0.1 millones de dólares	Entre a 0.1 a 1.0 millones de dólares	Entre a 1.0 a 10.0 millones de dólares	Mayores a 10 millones de dólares.

#### 2.9.4 - Determinación del grado de riesgo

Para cada uno de los riesgos identificados se obtiene el indicador del “tipo de accidente” por su frecuencia de ocurrencia y el indicador de severidad de las “consecuencias” y para cada uno de ellos se procede a calificar un **nivel de riesgo** con la **matriz de riesgos** mostrada en la Tabla 2.10.

**Tabla 2.10** Matriz de Riesgo.

		C O N S E C U E N C I A			
		4	3	2	1
F R E C U E N C I A	4	IV	II	I	I
	3	IV	III	II	I
	2	IV	IV	III	II
	1	IV	IV	IV	III

Dependiendo del índice global de riesgo obtenido se emitirán recomendaciones de acuerdo a la descripción que se presenta en la Tabla 2.11 con el fin de reducir el índice global de riesgo a un nivel aceptable.

**Tabla 2.11** Jerarquización de los índices globales de riesgo.

Grado de riesgo	Descripción	Acciones requeridas
I	Inaceptable	Debe ser mitigado con ingeniería y/o controles administrativos para que el nivel de riesgo disminuya a III o menor en un periodo de tiempo no mayor de 6 meses.
II	Indeseable	Debe ser mitigado con ingeniería y/o controles administrativos hasta que el nivel del riesgo sea igual a III o menor en un periodo de tiempo no mayor de 12 meses.
III	Aceptable con Controles	Debe ser verificado que los procedimientos y controles sean aplicados y que sean efectivos.
IV	Aceptable como está	No requiere de medidas de mitigación

### 2.9.5 - Jerarquización de recomendaciones

Los indicadores de las categorías de los riesgos identificados nos permiten categorizar las recomendaciones que se emitan para prevenir, controlar o mitigar los riesgos mencionados en la Tabla 2.11, de acuerdo a los siguientes criterios:

#### **CATEGORÍA A:**

Estas recomendaciones se refieren a riesgos con categoría “Inaceptable” correspondiente al nivel de **riesgo I**. Las consecuencias potenciales en caso de no cumplir con las recomendaciones serían graves, por lo que la implementación de las recomendaciones de esta clasificación será obligatoria y se deberán llevar a cabo sin demora.

#### **CATEGORÍA B:**

Estas recomendaciones se refieren a riesgos con categoría “**Indeseable**” correspondiente al nivel de **riesgo II**. Las consecuencias potenciales en caso de no

cumplir con las recomendaciones serían tan graves como la categoría A, aunque estas recomendaciones no se indican como obligatorias, requieren de por lo menos una investigación completa para implementar alternativas para su solución.

### **CATEGORÍA C:**

Estas recomendaciones se refieren a riesgos con categoría **“aceptable con controles”** correspondiente al nivel de **riesgo III** y se refieren a mejoras en la calidad del riesgo, con bajos costos y plazos razonables, las cuales podrán estar sujetas al proceso de costo – beneficio.

### **CATEGORÍA D:**

Estas recomendaciones se refieren a riesgos con categoría **“aceptable como está”** correspondiente al nivel de **riesgo IV** y están relacionadas con medidas de control y mitigación de riesgos, las cuales no son fácilmente cuantificables en términos de costo-beneficio, pero tomando como base la experiencia han demostrado ser efectivas.

De acuerdo a lo anterior, el orden de implementación de las recomendaciones para los riesgos identificados será el siguiente:

***“A” primero, “B” segundo, “C” tercero, “D” cuarto***

Con los criterios antes descritos, se procederá a elaborar el programa, el control y seguimiento de las recomendaciones derivadas del análisis de riesgos.

# Capítulo III

### 3.1 - Resultados de la actualización de riesgos

En la etapa de actualización e identificación de riesgos, se contemplan los resultados obtenidos en la pasada evaluación de riesgos que se realizó a la Planta Metanol II en el año 2003, llevado a cabo por el Instituto Politécnico Nacional [22]. Debido a que la planta se encuentra en etapa de operación continua, bajo las mismas condiciones de operación que en el análisis de riesgo pasado, y sin que su funcionalidad o intención de diseño haya sido modificada, para nuevos proyectos, los resultados del Análisis de Riesgos serían básicamente los mismos, excluyendo los 13 escenarios de riesgo que se clasificaron como “Aceptables con Controles”, ya que en su momento se atendieron las recomendaciones, para así minimizar o eliminar el porcentaje de riesgo para los mismos. Asimismo, los 4 escenarios clasificados como “Indeseables”, siguen participando en la actualización del Análisis de Riesgos, debido a la severidad que los caracteriza.

#### 3.1.1 - Metodología HazOp

Para el HazOp que se aplicó a la Planta Metanol II, se dividió en once nodos que abarcan todo el proceso principal, los cuales pueden apreciarse en el Anexo “B”. Para lo cual se aplicaron **148** desviaciones obteniéndose un total de **528** eventos causales o precursores de riesgo. A continuación se aprecian los nodos de estudio en la Tabla 3.1.

**Tabla 3.1** Relación de nodos para Metanol II.

<p><b>NODO 1:</b> DC-101 A/B</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Intención de diseño:</b> Conversión del gas para eliminar mercaptanos y sulfuros del gas natural.</li><li>• <b>Condiciones de operación:</b> Presión 18 kg/ cm<sup>2</sup> y temperatura 320 °C</li></ul>
<p><b>NODO 2:</b> BA-101</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Intención de diseño:</b> Reformar el gas natural para obtener una corriente de gas compuesta de Hidrógeno, Metano, CO y CO<sub>2</sub></li><li>• <b>Condiciones de operación:</b> Presión la tubos 17 kg/cm<sup>2</sup>, Presión hogar 2,5 mm H<sub>2</sub>O y temperatura 850 °C, 8 bancos de 30 tubos 240 tubos en total.</li></ul>

**Tabla 3.1** Relación de nodos para Metanol II.

<p><b>NODO 3:</b> BA-101 Circuito de gas combustible y Circuito de Aire a quemadores.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Intención de diseño:</b> Alimentador de combustible a Caldera de Recuperación de Calor</li> <li>• <b>Condiciones de operación:</b> Presión – 2 mm H<sub>2</sub>O hasta – 400 mm H<sub>2</sub>O Temperatura 1 005 °C.</li> </ul>
<p><b>NODO 4:</b> BA-101 Circuito de gas combustible.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Intención de diseño:</b> Alimentación de gas combustible al hogar del reformador.</li> <li>• <b>Condiciones de operación:</b> Presión –2 mm H<sub>2</sub>O hasta –400 mm H<sub>2</sub>O, Temperatura 1 005 °C</li> </ul>
<p><b>NODO 5:</b> BB-101 Caldera auxiliar, corriente de gas natural</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Intención de diseño:</b> Generar vapor para el turbocompresor recuperando calor</li> <li>• <b>Condiciones de operación:</b> Presión 4 kg/cm<sup>2</sup> Temperatura 900°C</li> </ul>
<p><b>NODO 6:</b> BB-101 Caldera auxiliar, corriente de gas de expansión. <b>Intención de diseño:</b> General vapor para el turbocompresor recuperando calor</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Condiciones de operación:</b> Presión 4 kg/cm<sup>2</sup> Temperatura 900 °C</li> </ul>
<p><b>NODO 7:</b> BB-101 Caldera auxiliar, corriente de Flujo de aire. <b>Intención de diseño:</b> General vapor para el turbocompresor recuperando calor</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Condiciones de operación:</b> Presión 4 kg/cm<sup>2</sup> Temperatura 900 °C</li> </ul>
<p><b>NODO 8:</b> DC-201 Reactor de síntesis.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Intención de diseño:</b> Producción de Metanol a partir de una corriente de H<sub>2</sub>, CO y CO<sub>2</sub></li> <li>• <b>Condiciones de operación:</b> Presión 50 a 60 kg/cm<sup>2</sup> Temperatura 232 °C Entrada, 264 °C Salida, Empacado con pastillas de catalizador Cu-Zn.</li> </ul>
<p><b>NODO 9:</b> DA-301 Torre Despuntadora.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Intención de diseño:</b> Eliminar componentes de bajo punto de ebullición o ligeros.</li> <li>• <b>Condiciones de operación:</b> Presión 1,2 kg/cm<sup>2</sup> Domo, 1,5 kg/cm<sup>2</sup> Fondo; Temperatura 80 °C Domo, 92 °C Fondo, Flujo 21,713 kg/h.</li> </ul>
<p><b>NODO 10:</b> Torre de destilación DA-302.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Intención de diseño:</b> Separación de Metanol y del agua y los alcoholes pesados.</li> <li>• <b>Condiciones de operación:</b> Presión 0,250 kg/cm<sup>2</sup> Domo, 0,6 kg/cm<sup>2</sup> Fondo; Temperatura 68 °C Domo, 106 °C Fondo, Flujo 21,713 kg/h.</li> </ul>
<p><b>NODO 11:</b> DA-303 Columna de agua de proceso.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Intención de diseño:</b> separar el agua de los alcoholes pesados</li> <li>• <b>Condiciones de operación:</b> Presión 1,25 kg/cm<sup>2</sup> Domo, 1,0 kg/cm<sup>2</sup> Fondo; Temperatura 108 °C Domo 117 °C Fondo,</li> </ul>

### 3.1.2 - Árboles de Fallos

El desarrollo y resultado de los árboles de fallos se muestra en el Anexo “C” de este documento.

### 3.2 - Jerarquización de riesgos

Derivado de la identificación de riesgos se obtuvieron los siguientes posibles escenarios de riesgos a jerarquizar:

**Tabla 3.2** Identificación de Escenarios.

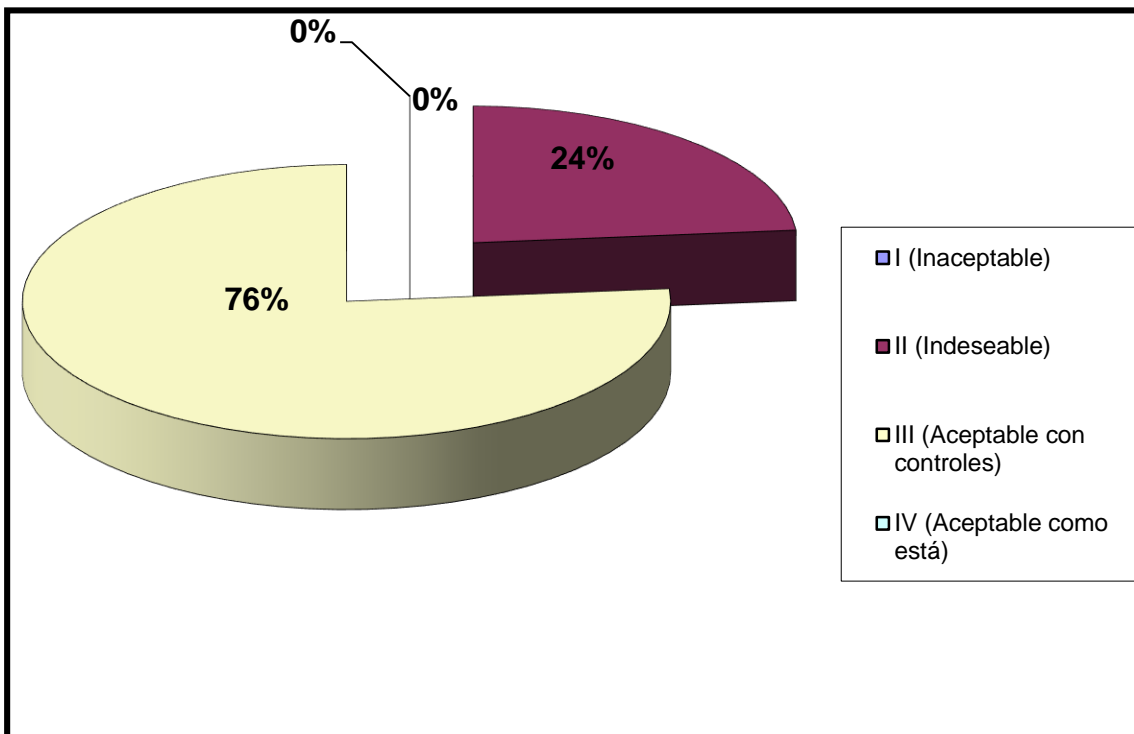
ESCENARIO	FUENTE
1. Fuga de gas por preñe de válvulas de bloqueo, uniones bridadas y empaques en DC-101 A/B, por alta presión.	HAZOP
2. Fundido del tubos internos del BA-102.	HAZOP
3. Fuga de nafta con hidrógeno a la salida del BB-102 por corrosión o cedencia del material.	HAZOP
4. Ruptura de colas de cochinos (Tubería espiral) a la salida del BA-101 por sobrepresión o alta temperatura.	HAZOP
5. Fuga en línea de salida del Turbocompresor GTB-201.	HAZOP
6. Explosión del BA-101 por pérdida de vacío en el hogar.	HAZOP
7. Fuga en el reactor de síntesis DC-201 por alta temperatura y fundido de tubos catalíticos.	HAZOP
8. Fuga por los niples de conexión del LG por alta flujo en el FA-201.	HAZOP
9. Colapsamiento de la torre DA-301 por vacío.	HAZOP
10. Colapsamiento de la torre DA-302 por vacío.	HAZOP
11. Ruptura de Línea por sobrepresión en el FB-301, por pérdida de presión en el FA-201.	HAZOP
12. Colapsamiento de la torre DA-303 por vacío.	HAZOP
13. Fuga en línea de salida de la torre DA-301 por falla en el GAM-304 A/B que suministra de NaOH.	HAZOP
14. Fuga de Cloro por ruptura de línea de cobre del recipiente al regulador.	Visita de Campo
15. Derrame de un tambor de Hidracina al 35% durante la descarga del tambor.	Visita de Campo
16. Derrame de Ácido Sulfúrico durante la descarga del auto-tanque.	Visita de Campo
17. Fuga por sellos de la bomba GA-301 A/B por pérdida de nivel en la DA-302.	HAZOP

Con base en la metodología para jerarquización descrita previamente, se realizó la siguiente clasificación de los posibles escenarios de riesgo.

**Tabla 3.3** Jerarquización de Riesgos

Escenario de Riesgo	Consecuencia				Frecuencia	Riesgo	
	SP	SE	PP	DI		Tipo	Descripción
1. Fuga de gas por preense de válvulas de bloqueo, uniones bridadas y empaques en DC-101 A/B, por alta presión.	4	3	4	4	3	III	Aceptable con Controles
2. Fundido de tubos internos del BA-102.	4	3	3	3	3	III	Aceptable con Controles
3. Fuga de nafta con hidrógeno a la salida del BB-102 por corrosión o cedencia del material.	3	3	4	4	3	III	Aceptable con Controles
4. Ruptura de colas de cochinos a la salida del BA-101 por sobrepresión o alta temperatura.	3	2	2	3	3	II	<b>Indeseable</b>
5. Fuga en línea de salida del Turbocompresor GTB-201.	3	2	2	2	3	II	<b>Indeseable</b>
6. Explosión del BA-101 por pérdida de vacío en el hogar.	3	3	3	3	3	III	Aceptable con Controles
7. Fuga en el reactor de síntesis DC-201 por alta temperatura y fundido de tubos catalíticos.	3	3	3	3	3	III	Aceptable con Controles
8. Fuga por los niples de conexión del LG por alto nivel en el FA-201.	4	2	3	2	3	II	<b>Indeseable</b>
9. Ruptura de Línea por sobrepresión en el FB-301, por pérdida de presión en el FA-201.	3	2	2	2	2	III	Aceptable con Controles
10. Colapsamiento de la torre DA-301 por vacío.	3	2	2	2	2	III	Aceptable con Controles
11. Colapsamiento de la torre DA-302 por vacío.	3	2	2	2	2	III	Aceptable con Controles
12. Colapsamiento de la torre DA-303 por vacío.	3	2	2	2	2	III	Aceptable con Controles
13. Fuga en línea de salida de la torre DA-301 por falla en el GAM-304 A/B que suministra de NaOH.	3	2	3	3	3	III	Aceptable con Controles
14. Fuga de Cloro por daño en el niple de unión del tanque de cloro con la válvula check..	2	1	4	4	3	II	<b>Indeseable</b>
15. Derrame de un tambor de Hidracina al 35% durante la descarga del tambor.	4	3	4	4	3	III	Aceptable con Controles
16. Derrame de de Ácido Sulfúrico durante la descarga del auto-tanque.	4	3	4	4	3	III	Aceptable con Controles
17. Fuga por sellos de la bomba GA-301 A/B por pérdida de nivel en la DA-302.	4	3	3	4	3	III	Aceptable con Controles

De los **17** Escenarios de riesgo y con base a la jerarquización utilizada, se encontraron **0** escenario que se clasificara como “Inaceptables”, **4** se clasificaron como “Indeseables” y los **13** restantes se clasificaron como “Aceptables con Controles”, los porcentajes de riesgo se muestran en la Figura 3.1.



**Figura 3.1** Porcentajes de riesgo.

La jerarquización arroja las siguientes conclusiones:

- La jerarquía de riesgo predominante es *Aceptable con controles* se presentó en un 76,0 % de los eventos analizados, lo que implica la revisión de la implantación de procedimientos y controles.
- No se detectó ningún evento con categoría de riesgo *inaceptable* que implica la modificación de procedimientos y controles tanto de ingeniería como administrativos en un periodo menor a 6 meses.
- Se detectó un número elevado de eventos con categoría de riesgo *Indeseable* (24,0 %). Esto implica que se deben revisar y en su caso modificar los procedimientos y controles tanto de ingeniería como administrativos para disminuir el rango de riesgo en un periodo de tiempo menor a 12 meses.

### **3.3 - Determinación de los radios potenciales de afectación**

Para la simulación de eventos de riesgo y la estimación de sus consecuencias se utilizó el simulador PHAST. Este programa presenta las siguientes ventajas:

- Los casos se definen a partir del escenario de accidentes en condiciones predeterminadas.
- La estimación de fugas se realiza mediante parámetros hidráulicos.
- Modelación de la dispersión en tres dimensiones.
- Resultados gráficos completos.
- Utilización simultánea de hasta seis condiciones atmosféricas / meteorológicas diferentes.
- Considera los siguientes efectos:
  - ✓ Descarga.
  - ✓ Extensión y evaporación de derrames.
  - ✓ Dispersión de vapores y gases tóxicos.
  - ✓ BLEVE (Boiling Liquid Expansión, Vapor Explosión).

- ✓ Llamarada (Flash fire).
- ✓ Explosión de vapores no confinada.
- ✓ Incendio de chorro (Jet fire).
- ✓ Incendio de charco (Pool fire).

En el caso de las dispersiones, considera automáticamente el modelo más apropiado para cada etapa de la dispersión.

Los diagramas de pétalos que muestran los radios de afectación de los escenarios de riesgo simulados, se muestran en el Anexo “C”.

### **Incendio y/o explosión**

En caso de una fuga, el gas puede alcanzar una fuente de ignición y generar un evento de incendio y/o explosión. En caso de explosión se generarán ondas de sobrepresión que, en función de la masa de la mezcla explosiva, producirán daños parciales o catastróficos. En la Tabla 3.4, se muestran los efectos de sobrepresión y sus daños probables.

### **Jet Fire**

Este fenómeno ocurre al liberarse continuamente un gas inflamable a alta presión con concentraciones de la sustancia progresivamente decrecientes desde el origen de la fuga en el eje del chorro y alcanzando un punto de ignición. Un chorro de fuego produce radiación térmica continua.

**Tabla 3.4** Valores de Sobrepresión alcanzados por evento explosivo y sus posibles daños.

<b>Presión Máxima</b>	<b>Daño Producido por la Explosión (Clancy)</b>
0.02	Ruido molesto (137 dB sí es de baja frecuencia 10-15 Hz.
0.03	Ruptura ocasional de ventanas de vidrio grandes que estén bajo tensión.
0.04	Ruido fuerte (143 dB), ruptura de vidrio por la onda sísmica.
0.10	Ruptura de ventanas pequeñas que se encuentren bajo tensión.
0.15	Presión típica de ruptura del vidrio.

**Tabla 3.4** Valores de Sobrepresión alcanzados por evento explosivo y sus posibles daños.

<b>Presión Máxima</b>	<b>Daño Producido por la Explosión (Clancy)</b>
0.30	“Distancia segura” (probabilidad de 0,95 que no ocurran daños serios a partir de este valor); límite de proyectiles; daños a techos de casas; ruptura del 10 % de ventanas de vidrios.
0.40	Daño estructural menor limitado.
0.50 – 1.00	Ventanas grandes y pequeñas normalmente estrelladas; daño ocasional a marcos de ventanas.
0.70	Daño menor a estructuras de casas.
1.00	Demolición parcial de casas, se vuelven inhabitables.
1.00-2.00	Destrucción de asbesto corrugado; en las divisiones de acero corrugado o aluminio, los tornillos fallan y después se tuercen; los tornillos de paneles de madera fallan; los paneles son destruidos.
1.30	El armazón de acero de edificios revestidos se deforma.
2.00	Colapso parcial de techos y paredes de casas.
2.00-3.00	Cuarteadura de paredes de concreto o bloques de ladrillo no reforzados.
2.30	Límite inferior de daño estructural serio.
2.50	50 % de destrucción de la mampostería en casas.
3.00	Poco daño a maquinaria pesada (3 000 lb) dentro de edificios industriales; armazones de acero en edificios se deforman y son arrancados de sus cimientos.
3.00-4.00	Demolición de edificios sin armazones o con paneles de acero; ruptura de tanques de almacenamiento de petróleo.
4.00	Ruptura del revestimiento de edificios industriales ligeros.
5.00	Los postes de madera se rompen súbitamente; prensas hidráulicas altas (40 000 lb) en edificios son ligeramente dañadas.
5.00-7.00	Destrucción casi completa de casas.
7.00-8.00	Paneles de ladrillo de 8-12 in de espesor no reforzados fallan por corte o flexión.
9.00	Demolición total de vagones de ferrocarril cargados.
10.00	Probable destrucción total de edificios; desplazamiento y daño fuerte a maquinaria pesada (7 000 lb), la maquinaria muy pesada (12 000 lb) sobrevive.
300.00	Formación de cráter.

En la Tabla 3.5, se muestran los efectos de radiación térmica en función de su intensidad y tiempo de exposición.

**Tabla 3.5** Efectos de radiación térmica en función de su intensidad y tiempo de exposición.

<b>Intensidad de Radiación (kW/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Efecto Observado (World Bank)</b>
37,5	Suficiente para causar daño a equipo de proceso.
25,0	Energía mínima requerida para prender la madera por exposición prolongada (no piloteada).
12,5	Energía mínima requerida para la ignición piloteada de madera, fundición de tubería de plástico.
9,5	El umbral del dolor se alcanza después de 8 s; quemaduras de segundo grado después de 20 segundos.
4,0	Suficiente para causar dolor al personal si éste no puede protegerse en 20 segundos; sin embargo, es factible la formación de ampollas en la piel (quemaduras de segundo grado); 0 fatalidad.
1,4	No causará incomodidad durante exposición prolongada.

### 3.3.1 - Consideraciones para la simulación de eventos de riesgo

La selección de los escenarios de riesgo considera primordialmente el análisis HAZOP y la jerarquización de riesgos. Se simularán eventos jerarquizados como “Inaceptables”

Para el desarrollo de los escenarios de riesgos se tomaron las siguientes consideraciones:

1. Dado que la velocidad de Viento **promedio mínima** es de 20 km/h igual a 2.5 m/s se consideró una estabilidad D, de acuerdo a las tablas de estabilidad de Pasquill.
2. Para el cálculo de consecuencias mediante el simulador Phast Ver. 5.23 se ajustaron los diámetros de fuga para obtener los flujos máximos en cada escenario, pues de otro modo se obtienen radios irreales.
3. Propiedades tóxicas, de flamabilidad y de explosividad de cada sustancia elegida para su análisis catastrófico.

Para eventos de incendio, los radios de seguridad se evaluarán considerando:

- 1.4 kW/m<sup>2</sup>** No causará incomodidad durante exposición prolongada
- 5.0 kW/m<sup>2</sup>** Energía mínima requerida para la ignición pilotada de madera, fundición de tubería de plástico.

Para el escenario de explosión, los radios de salvaguarda se evaluarán considerando:

- 0.5 lb/in<sup>2</sup>** La presión a la que se presentan rupturas del 10 % de ventanas de vidrio y algunos daños a techos, con una probabilidad del 95 % de que no ocurran daños serios. Esta presión se consideró para definir la zona de salvaguarda.
- 1 lb/in<sup>2</sup>** Es la presión que puede causar destrucción parcial de casas y daños reparables a edificios, provocando el 1 % de ruptura de tímpanos y el 1 % de heridas serias por proyectiles. Se consideró como zona de alto riesgo.

Para el escenario de nube tóxica, los radios de salvaguarda se evaluarán considerando:

**TLV @ (ppm)** (Treshold Limit Value) Valor Limite Umbral, Término usado para expresar la concentración en el aire de un material, a la cual casi todos los trabajadores pueden ser expuestos día tras día sin ningún efecto adverso.

**IDLH @ (ppm)** (Immediately Dangerous to Life and Health). Concentración considerada inmediatamente peligrosa para la vida y la salud. Según las Hojas de Seguridad del Metanol esto sucede al presentarse 6 00 partes por millón en el ambiente. El Gas natural está considerado como Asfixiante simple y no como tóxico. Esta concentración se tomó en cuenta para la isopleta de alto riesgo.

Para establecer las condiciones de ocurrencia de los eventos de riesgo identificados, se tomaron en consideración:

- ✓ Las estadísticas del evento de riesgo en particular asociado a las condiciones de ocurrencia.
- ✓ El Árbol de Fallas (Ver “Anexo B”).
- ✓ Juicio de los expertos.
- ✓ Los resultados del análisis HAZOP.
- ✓ Simular el evento máximo probable.

- ✓ Simular el evento de mayores consecuencias, independientemente de la probabilidad de ocurrencia.

De la Jerarquización se obtuvieron los siguientes escenarios de Riesgos por haber sido calificados como Inaceptables o Indeseables.

1. Ruptura de colas de cochinos a la salida del BA-101 por sobrepresión o alta temperatura
2. Fuga por los niples de conexión del LG por alto nivel en el FA-201
3. Fuga en línea de salida del Turbocompresor GTB-201.
4. Fuga de Cloro por ruptura del niple de unión del tanque de cloro con la válvula de vacío.

### 3.4 - Descripción de escenarios de riesgo

#### 3.4.1 - Escenario 1 Ruptura de colas de cochinos (Tubería en forma espiral) a la salida del BA-101 por sobrepresión o alta temperatura

Se supone la fuga a la salida del reformador BA-101 por sobrepresión, siendo en las colas de cochino en donde se refleja la fuga por un orificio equivalente igual a 0,5" por un tiempo de 300 s de detección y control. El material que fuga es en promedio hidrógeno (74%), metano (4%), CO<sub>2</sub> (22%), a una presión de 17 kg/cm<sup>2</sup> y una temperatura de 865 °C

Ubicación	BA-101
Diámetro equivalente de la fuga	1/2 "
Altura de desfogue (metros)	A nivel de piso
Tiempo de fuga	300 segundos
Composición del gas fugado	Hidrógeno (74%) Metanol (4%) CO <sub>2</sub> (22%)
Densidad relativa del gas (aire=1)	0.07
Temperatura	865 ° C
Presión	17 kg/cm <sup>2</sup>
<b>PARÁMETROS TÓXICOS DE LA MEZCLA</b>	

<b>TLV</b> (Treshold Limit Value) Valor Limite Umbral, Término usado para expresar la concentración en el aire de un material, a la cual casi todos los trabajadores pueden ser expuestos día tras día sin ningún efecto adverso	No disponible
<b>IDLH</b> (Immediately Dangerous to Life and Health). Concentración considerada inmediatamente peligrosa para la vida y la salud.	No disponible

### 3.4.2 - Escenario 2 Fuga por los niples de conexión del LG por alto nivel en el FA-201

Se supone la fuga de gas por alto de nivel del FA-201 que genera una sobrepresión por un tiempo de 5 minutos en lo que se detecta y controla el evento, a 58,0 kg/cm<sup>2</sup> y una temperatura de 41 °C,.

La composición promedio del material que fuga es: hidrógeno (82%), metano (9,5%), CO<sub>2</sub> (8,5%).

Ubicación	FA-201
Diámetro equivalente de la fuga	1/2 "
Altura de desfogue (metros)	A nivel de piso
Tiempo de fuga	300 segundos
Composición del gas fugado	Hidrógeno (82%) Metanol (9,5%) CO <sub>2</sub> (8,5%)
Densidad relativa del gas (aire=1)	0,07
Temperatura	41 ° C
Presión	58 kg/cm <sup>2</sup>
<b>PARÁMETROS TÓXICOS DE LA MEZCLA</b>	
<b>TLV</b> (Treshold Limit Value) Valor Limite Umbral, Término usado para expresar la concentración en el aire de un material, a la cual casi todos los trabajadores pueden ser expuestos día tras día sin ningún efecto adverso	No disponible
<b>IDLH</b> (Immediately Dangerous to Life and Health). Concentración considerada inmediatamente peligrosa para la vida y la salud.	No disponible

### 3.4.3 - Escenario 3 Fuga en línea de salida del Turbocompresor GTB-201

Se supone una fuga en la línea de salida del compresor por corrosión interna y falta de mantenimiento. Se considera que la fuga ocurre por un orificio equivalente a 0,5 “de pulgada con una presión de 60 kg/cm<sup>2</sup> y una temperatura de 70 °C, por un tiempo de 5 minutos en lo que se detecta y controla el evento. La composición promedio del material que fuga es: hidrógeno (80%), metano (8%), CO<sub>2</sub> (11%).

Ubicación	GTB-201
Diámetro equivalente de la fuga	1/2 “
Altura de desfogue (metros)	A nivel de piso
Tiempo de fuga	300 segundos
Composición del gas fugado	Hidrógeno (90%) Metanol (3%) CO <sub>2</sub> (7%)
Densidad relativa del gas (aire=1)	0,07
Temperatura	70 ° C
Presión	60 kg/cm <sup>2</sup>
<b>PARÁMETROS TÓXICOS DE LA MEZCLA</b>	
<b>TLV</b> (Treshold Limit Value) Valor Limite Umbral, Término usado para expresar la concentración en el aire de un material, a la cual casi todos los trabajadores pueden ser expuestos día tras día sin ningún efecto adverso	No disponible
<b>IDLH</b> (Immediately Dangerous to Life and Health). Concentración considerada inmediatamente peligrosa para la vida y la salud.	No disponible

### 3.4.4 - Escenario 4 Fuga de Cloro por ruptura del niple de unión del tanque de cloro con la válvula de vacío

Durante las actividades de recepción de los cilindros de cloro o durante el manejo de estos por error humano se produce el degollamiento del niple de cobre de unión del tanque de cloro con la válvula de vacío.

Ubicación	Área de almacenamiento de Cloro de Metanol II
Diámetro equivalente de la fuga	1/8 "
Altura de desfogue (metros)	A nivel de piso
Tiempo de fuga	5 minutos
Peso de cloro	906,0 kg
Presión, kg/cm <sup>2</sup>	7,0

### 3.5 - Datos climatológicos

Temperatura:

Máxima extrema:	30 ° C
Mínima extrema:	5 ° C
Máxima promedio:	23 ° C
Mínima promedio:	11 ° C
Promedio anual (bulbo seco):	17,3 ° C
Promedio invernal:	18 ° C
Promedio de bulbo húmedo:	27,5 ° C

Precipitación pluvial.

Máxima:	90 mm. H <sub>2</sub> O/h
Máxima diaria:	280 mm. H <sub>2</sub> O/día
Promedio anual:	973.9 mm H <sub>2</sub> O/año

Tormentas:

Temporada de lluvias entre:

Promedio:

Invierno	2
Primavera	5
Verano	16
Otoño	14

#### Viento

Dirección de viento dominante: NNO A SSE

Dirección de viento reinante de: NNE A SSO

Velocidad media 11.3 m/s

Este valor incluye factor ráfaga

#### Humedad:

Máx. Promedio: 95%

Min. Promedio: 50%

Promedio: 54%

#### Atmósfera:

Presión barométrica: 760 mm Hg

Promedio anual: 758.4 mm Hg

Contaminantes: SO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub>, NaCl, Hidrocarburos

Atmósfera corrosiva: No

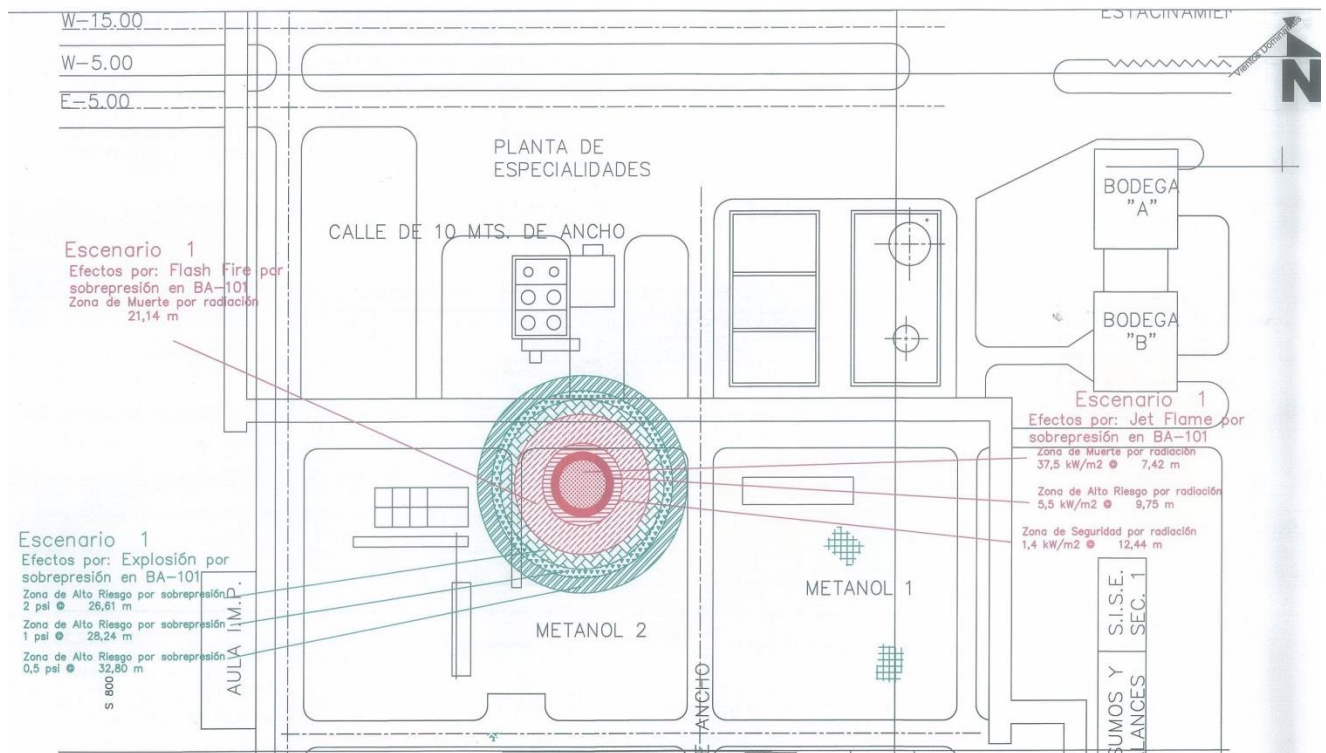
### 3.6 - Resultados de las simulaciones

A continuación se presentan los resultados de las simulaciones generadas por el programa computacional PHAST.

#### 3.6.1 - Escenario 1

Por un orificio de 0.5" de diámetro equivalente se tendría una tasa de descarga de **0.078 kg/s**, considerando un tiempo de descarga de 300 segundos se liberarían al ambiente **24.0 kg**.

Figura 3.2 Diagrama de Pétalos Escenario 1, ver Anexo "D".



Con estas condiciones y considerando una velocidad mínima promedio de 2.5 m/s con una estabilidad D y una vez liberada la mezcla al ambiente, esta forma una nube inflamable y explosiva avanza hasta encontrar una fuente de ignición a una distancia máxima de 21.14 m con lo que al encontrarse dentro de los límites de

inflamabilidad se tiene la posibilidad de generarse el evento conocido como **Flash Fire o flamazo**.

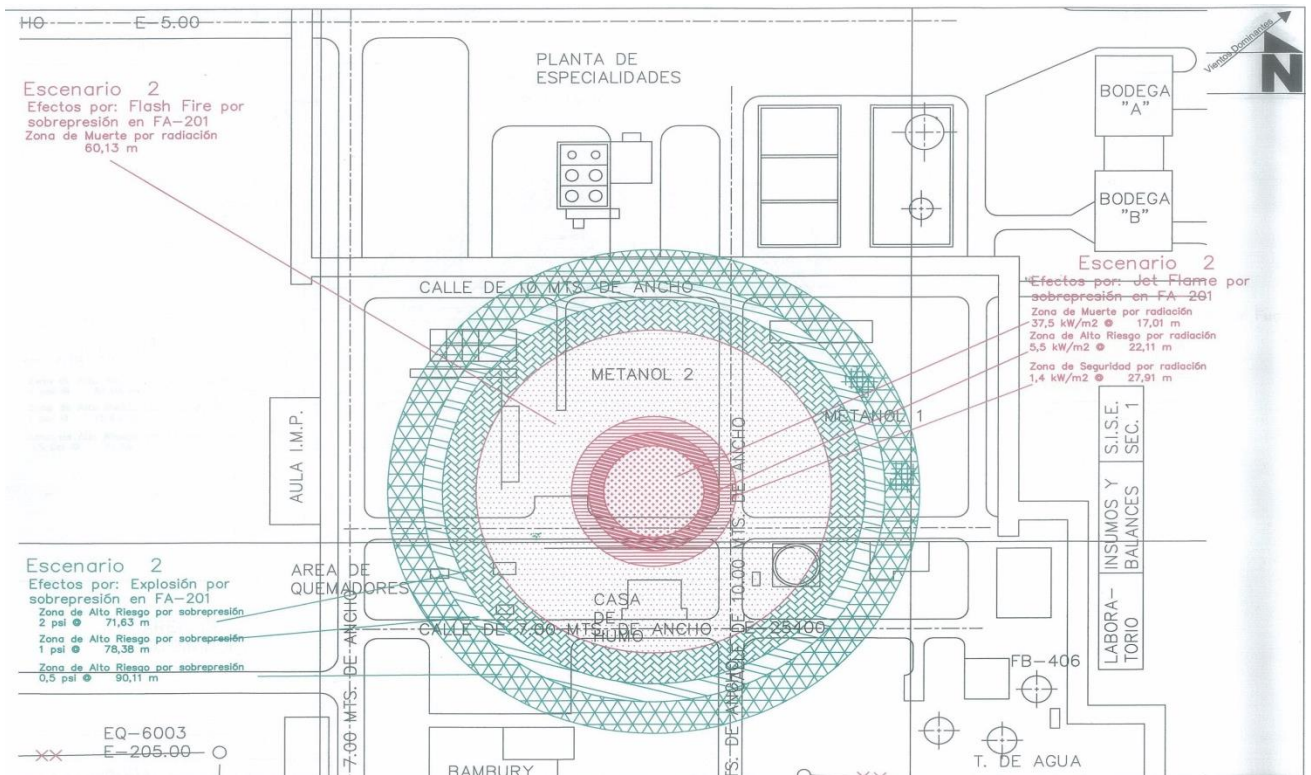
Si el Flash Fire ocurre, permitiría llevar la flama al punto de descarga por lo que se generaría otro evento conocido como **Jet Flame o antorcha**, con un radio de muerte de 7.42 m con una radiación de 37.5 kW/m<sup>2</sup>, un radio de peligro de 9.75 m con una radiación de 5 kW/m<sup>2</sup>, y un radio de seguridad de 12.44 m con una radiación de 1.4 kW/m<sup>2</sup>.

En caso de no generarse ninguno de los anteriores eventos y si se presentan las condiciones adecuadas, se formaría una **Nube inflamable y explosiva** con una masa dentro de los límites de inflamabilidad de 0.07 kg de material. En caso de que a una distancia máxima de 21.14 m encontrara una fuente de ignición se tendría un explosión con un radio de muerte de **25.61 m** a una sobrepresión de 2 psi, un radio de peligro a **28.24 m** a una sobrepresión de 1 psi y un radio de seguridad a **32.80 m** con una sobrepresión de 0.5 psi.

### 3.6.2 - Escenario 2

Por un orificio de 0.5" de diámetro equivalente se tendría una tasa de descarga de **0.415 kg/s**, considerando un tiempo de descarga de 300 segundos se liberarían al ambiente **125.0 kg**.

**Figura 3.3** Diagrama de Pétalos Escenario 2, ver Anexo "D".



Con estas condiciones y considerando una velocidad mínima promedio de 2.5 m/s con una estabilidad D y una vez liberada la mezcla al ambiente, esta forma una nube inflamable y explosiva avanza hasta encontrar una fuente de ignición a una distancia máxima de **60.13 m** con lo que al encontrarse dentro de los límites de inflamabilidad se tiene la posibilidad de generarse el evento conocido como **Flash Fire o flamazo**.

Si el Flash Fire ocurre, permitiría llevar la flama al punto de descarga por lo que se generaría otro evento conocido como **Jet Flame o antorcha**, con un radio de

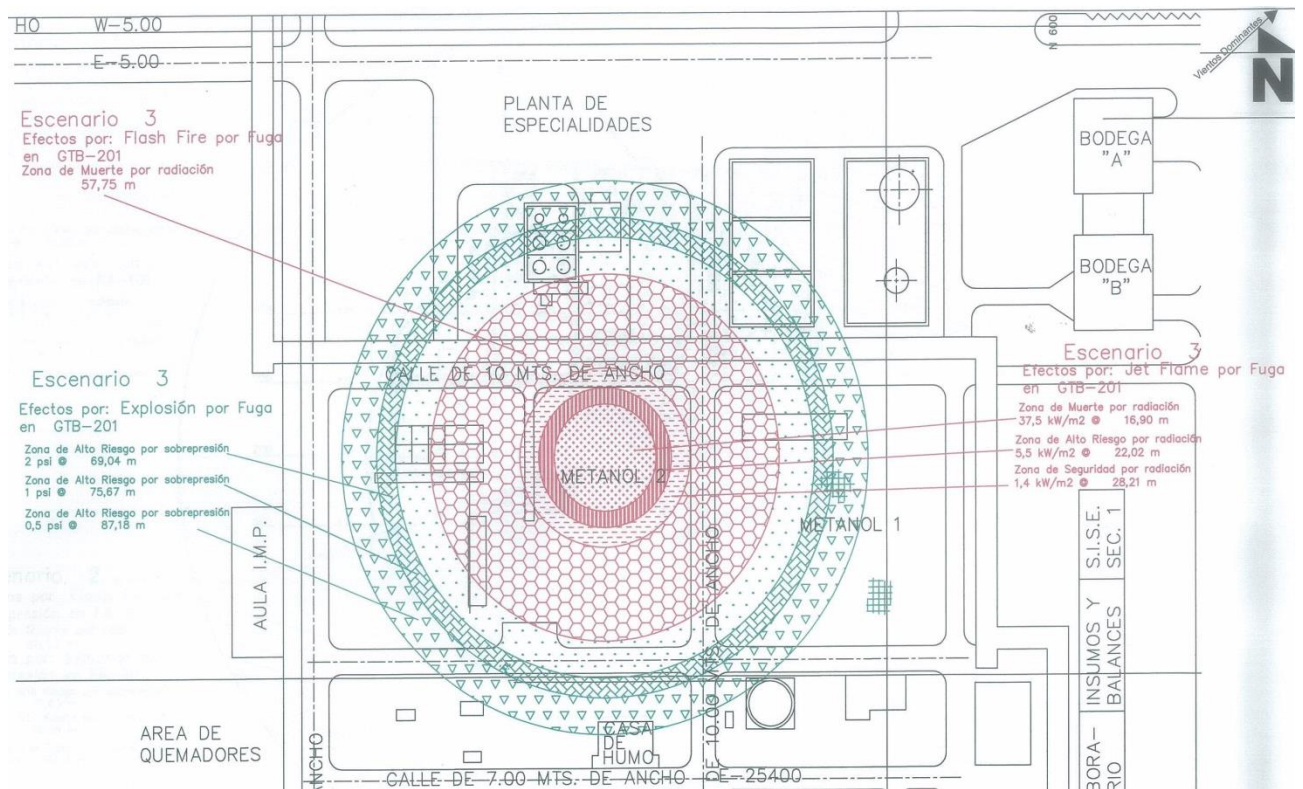
muerte de 17.01 m con una radiación de 37.5 kW/m<sup>2</sup>, un radio de peligro de 22.11 m con una radiación de 5 kW/m<sup>2</sup>, y un radio de seguridad de 27.91 m con una radiación de 1.4 kW/m<sup>2</sup>.

En caso de no generarse ninguno de los anteriores eventos y si se presentan las condiciones adecuadas, se formaría una **Nube inflamable y explosiva** con una masa dentro de los límites de inflamabilidad de 1.08 kg de material. En caso de que a una distancia máxima de 60.13 m encontrara una fuente de ignición se tendría un explosión con un radio de muerte de **71.63 m** a una sobrepresión de 2 psi, un radio de peligro a **78.38 m** a una sobrepresión de 1 psi y un radio de seguridad a **90.11 m** con una sobrepresión de 0.5 psi.

### 3.6.3 - Escenario 3

Por un orificio de 0.5" de diámetro equivalente se tendría una tasa de descarga de **0.413 kg/s**, considerando un tiempo de descarga de 300 segundos se liberarían al ambiente **124.0 kg**.

**Figura 3.4** Diagrama de Pétalos Escenario 3, ver Anexo "D".



Con estas condiciones y considerando una velocidad mínima promedio de 2.5 m/s con una estabilidad D y una vez liberada la mezcla al ambiente, esta forma una nube inflamable y explosiva avanza hasta encontrar una fuente de ignición a una distancia máxima de **57.75 m** con lo que al encontrarse dentro de los límites de inflamabilidad se tiene la posibilidad de generarse el evento conocido como **Flash Fire o flamazo.**

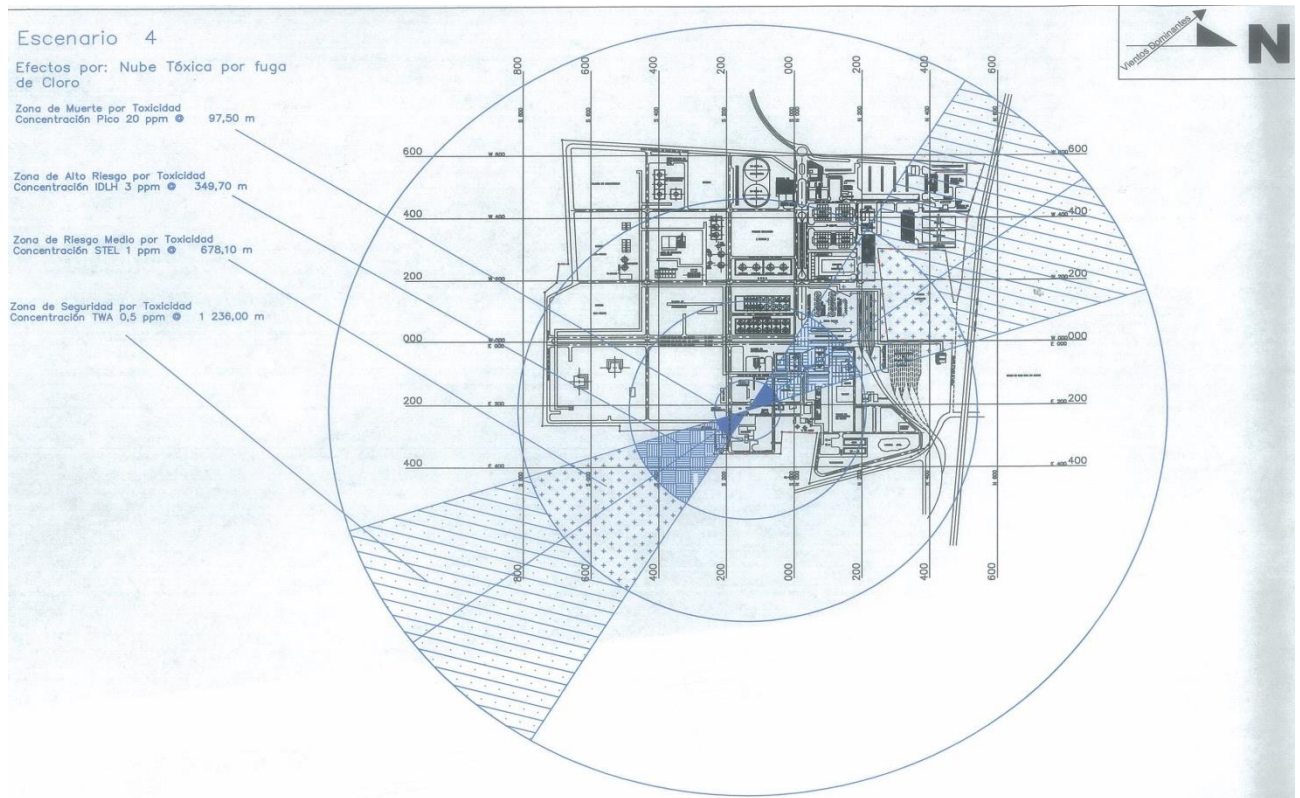
Si el Flash Fire ocurre, permitiría llevar la flama al punto de descarga por lo que se generaría otro evento conocido como **Jet Flame o antorcha**, con un radio de muerte de **16.90 m** con una radiación de 37.5 kW/m<sup>2</sup>, un radio de peligro de **22.02 m** con una radiación de 5 kW/m<sup>2</sup>, y un radio de seguridad de **28.21 m** con una radiación de 1.4 kW/m<sup>2</sup>.

En caso de no generarse ninguno de los anteriores eventos y si se presentan las condiciones adecuadas, se formaría una **Nube inflamable y explosiva** con una masa dentro de los límites de inflamabilidad de 1.03 kg de material. En caso de que a una distancia máxima de 57.75 m encontrara una fuente de ignición se tendría un explosión con un radio de muerte de **69.04 m** a una sobrepresión de 2 psi, un radio de peligro a **75.67 m** a una sobrepresión de 1 psi y un radio de seguridad a **87.18 m** con una sobrepresión de 0.5 psi.

### 3.6.4 - Escenario 4

Esta fuga se produce por **5 minutos** a una presión de  $7 \text{ kg/cm}^2$  al nivel del piso, por un diámetro de apertura de  $1/8''$ .

**Figura 3.5** Diagrama de Pétalos Escenario 4, ver Anexo "D".



La tasa de fuga calculada para estas condiciones es de **0.0199 kg/s**, y una velocidad final de descarga de 301 m/s, lo que resultaría en una nube tóxica de cloro, con un alcance de 97.05 m para una concentración de **20 ppm** que es la concentración Inmediatamente Peligrosa para la Vida y Salud (IPVS/IDLH) humana, un radio de **678.10 m** para la concentración de **1 ppm** como concentración STEL y un radio de seguridad de **1 236.0 m** para la concentración de **0.5 ppm** que representa la Concentración Umbral Límite (TLV-TWA) que es la concentración a la que pueden estar expuestos los trabajadores diariamente por un periodo de 8 horas sin tener efectos adversos.

### **3.7 - Análisis y evaluación de posibles interacciones de riesgo con otras áreas, equipos o instalaciones próximas a la instalación que se encuentren dentro de la Zona de Alto Riesgo**

#### **3.7.1 - Escenario 1**

Para este escenario, se está considerando una mezcla en el que el mayor componente es el hidrógeno con unos límites de explosividad de entre 4% y 75%, con una alta volatilidad y que es considerado como asfixiante simple por lo que no tiene límites de toxicidad, pues a cualquier concentración que se expone el personal está sujeto a una muerte por asfixia dependiendo del tiempo de exposición.

En el radio de 21.14 m no se esperan daños a equipos debido al Flash Fire o flamazo, sin embargo el personal expuesto en el instante en que se lleve a cabo este evento podría sufrir quemaduras de segundo y tercer grado al menos. El flamazo se dará en la dirección de la fuga marcada por el lugar en donde se localiza la flama iniciadora (No necesariamente el radio completo).

En el caso de que se presente un Jet fire, este abarcará para el radio de muerte (7.42 m). A todos los equipos sujetos a esta radiación pueden sufrir un daño severo e incluso fuga por ellos, si la llama del Jet Fire incide directamente sobre ellos, ocasionando con esto un evento de mayores dimensiones. El personal expuesto puede sufrir quemaduras de tercer grado e incluso la muerte ya que estará expuesto a una radiación mayor o igual a 37.5 kW/m<sup>2</sup>.

En el caso del radio de peligro (9.75 m) ya no se esperan daños severos a los equipos, principalmente daños a instrumentos y cableado sin protección. El personal expuesto podría tener quemaduras de segundo o tercer grado de acuerdo con el tiempo de exposición al que estén sujetos. Para la radiación de este radio que es equivalente a 5 kW/m<sup>2</sup>, se considera que el personal expuesto sentirá dolor después de 16 segundos de exposición sin protección.

En el radio de seguridad del Jet Fire (12.44 m) no se esperan daños a equipos y al personal expuesto se esperarían quemaduras de primer y hasta segundo grado. Posterior a este radio se denomina radio de seguridad dado que el personal expuesto no tendría efecto o daño alguno.

En el caso de que se presentara una explosión, el radio de muerte sería a los 25.61 m, ya que el personal estaría expuesto a una sobrepresión de 2 psi con lo que se esperan Demolición parcial de cuarto de control y oficinas, deformación de estructuras de armazón de acero, colapso parcial de techos y paredes.

Para el radio de peligro se daría de los 25.61 m a los 28.24 m dentro de este radio se expondría el personal a 1 psi, lo que le generaría posiblemente un daño a los órganos auditivos, golpes y daños por los materiales aventados. Al personal expuesto le puede ocasionar daños en el sistema auditivo de manera permanente.

El radio de amortiguamiento es el dado de 28.24 m y hasta 32.80 m, es el radio al que el personal se expone a 0.5 psi, donde se espera que el personal expuesto sufriera daños en los oídos no de forma permanente entre otros. Posterior a 32.80 m no se esperan daños ni al personal ni a equipos.

### 3.7.2 - Escenario 2

Para este escenario, se está considerando una mezcla en el que el mayor componente es el hidrógeno con unos límites de explosividad de entre 4% y 75%, con una alta volatilidad y que es considerado como asfixiante simple por lo que no tiene límites de toxicidad, pues a cualquier concentración que se expone el personal está sujeto a una muerte por asfixia dependiendo del tiempo de exposición.

En el radio de 60.13 m no se esperan daños equipos debido al Flash Fire o flamazo, sin embargo el personal expuesto en el instante en que se lleve a cabo este evento podría sufrir quemaduras de segundo y tercer grado al menos. El flamazo se dará en la dirección de la fuga marcada por el lugar en donde se localiza la flama iniciadora (No necesariamente el radio completo).

En el caso de que se presente un Jet fire, este abarcará para el radio de muerte (17.01 m). A todos los equipos sujetos a esta radiación pueden sufrir un daño severo e incluso fuga por ellos si la llama del Jet Fire incide directamente sobre ellos, ocasionando con esto un evento de mayores dimensiones. Al personal expuesto puede sufrir quemaduras de tercer grado e incluso la muerte ya que estará expuesto a una radiación mayor o igual a  $37.5 \text{ kW/m}^2$ .

En el caso del radio de peligro (22.11 m) ya no se esperan daños severos a los equipos, principalmente daños a instrumentos y cableado sin protección. El personal expuesto podría tener quemaduras de segundo o tercer grado de acuerdo con el tiempo de exposición al que estén sujetos. Para la radiación de este radio que es equivalente a  $5 \text{ kW/m}^2$ , se considera que el personal expuesto sentirá dolor después de 16 segundos de exposición sin protección.

En el radio de seguridad del Jet Fire (27.91 m) no se esperan daños a equipos y al personal expuesto se esperarían quemaduras de primer y hasta segundo grado.

Posterior a este radio se denomina radio de seguridad dado que el personal expuesto no tendría efecto o daño alguno.

En el caso de que se presentara una explosión, el radio de muerte sería a los 71.83 m, ya que el personal estaría expuesto a una sobrepresión de 2 psi con lo que se esperan Demolición parcial de cuarto de control y oficinas, deformación de estructuras de armazón de acero, colapso parcial de techos y paredes.

Para el radio de peligro se daría de los 75.83 m a los 78.38 m dentro de este radio se expondría el personal a 1 psi, lo que le generaría posiblemente un daño a los órganos auditivos, golpes y daños por los materiales aventados. Al personal expuesto le puede ocasionar daños en el sistema auditivo de manera permanente.

El radio de amortiguamiento es el dado de 78.38 m y hasta 90.11 m, es el radio al que el personal se expone a 0.5 psi, donde se espera que el personal expuesto sufriera daños en los oídos no de forma permanente entre otros. Posterior a 32.80 m no se esperan daños ni al personal ni a equipos.

### 3.7.3 - Escenario 3

Para este escenario, se está considerando una mezcla en el que el mayor componente es el hidrógeno con unos límites de explosividad de entre 4% y 75%, con una alta volatilidad y que es considerado como asfixiante simple por lo que no tiene límites de toxicidad, pues a cualquier concentración que se expone el personal está sujeto a una muerte por asfixia dependiendo del tiempo de exposición.

En el radio de 57.75 m no se esperan daños equipos debido al Flash Fire o flamazo, sin embargo el personal expuesto en el instante en que se lleve a cabo este evento podría sufrir quemaduras de segundo y tercer grado al menos. El flamazo se dará en la dirección de la fuga marcada por el lugar en donde se localiza la flama iniciadora (No necesariamente el radio completo).

En el caso de que se presente un Jet fire, este abarcará para el radio de muerte (16.90 m). A todos los equipos sujetos a esta radiación pueden sufrir un daño severo e incluso fuga por ellos si la llama del Jet Fire incide directamente sobre ellos, ocasionando con esto un evento de mayores dimensiones. Al personal expuesto puede sufrir quemaduras de tercer grado e incluso la muerte ya que estará expuesto a una radiación mayor o igual a  $37.5 \text{ kW/m}^2$ .

En el caso del radio de peligro (22.02 m) ya no se esperan daños severos a los equipos, principalmente daños a instrumentos y cableado sin protección. El personal expuesto podría tener quemaduras de segundo o tercer grado de acuerdo con el tiempo de exposición al que estén sujetos. Para la radiación de este radio que es equivalente a  $5 \text{ kW/m}^2$ , se considera que el personal expuesto sentirá dolor después de 16 segundos de exposición sin protección.

En el radio de seguridad del Jet Fire (28.21 m) no se esperan daños a equipos y al personal expuesto se esperarían quemaduras de primer y hasta segundo grado.

Posterior a este radio se denomina radio de seguridad dado que el personal expuesto no tendría efecto o daño alguno.

En el caso de que se presentara una explosión, el radio de muerte sería a los 69.04 m, ya que el personal estaría expuesto a una sobrepresión de 2 psi con lo que se esperan Demolición parcial de cuarto de control y oficinas, deformación de estructuras de armazón de acero, colapso parcial de techos y paredes.

Para el radio de peligro se daría de los 69.04 m a los 75.67 m dentro de este radio se expondría el personal a 1 psi, lo que le generaría posiblemente un daño a los órganos auditivos, golpes y daños por los materiales aventados. Al personal expuesto le puede ocasionar daños en el sistema auditivo de manera permanente.

El radio de amortiguamiento es el dado de 75.67 m y hasta 87.18 m, es el radio al que el personal se expone a 0.5 psi, donde se espera que el personal expuesto sufriera daños en los oídos no de forma permanente entre otros. Posterior a 87.18 m no se esperan daños ni al personal ni a equipos.

#### **3.7.4 - Escenario 4**

Para este escenario, se está considerando la fuga de Cloro líquido que vaporiza inmediatamente después de fugarse, por lo que la nube tiene como mayor probabilidad de dirigirse en sentido SE-NO, ya que es la dirección de vientos dominantes y en sentido contrario, es decir NO-SE por ser los vientos reinantes. No por ello, no existe la probabilidad de que la nube tome otra dirección en el momento de la fuga.

El cloro tiene como característica principal ser un gas denso, que reacciona fácilmente con el agua y el vapor de agua para formar ácido clorhídrico, es de olor sofocante e irritante y color verdoso, además el cloro promueve la combustión como lo hace el oxígeno.

En este caso el personal expuesto en un radio menor de 97.50 m estará sujeto a una concentración igual o mayor de 20 ppm que es una concentración denominada Inmediatamente Peligrosa para la Vida y Salud Humana (IDLH). Este radio abarca: las Plantas de Metanol II y Metanol I, sus torres de enfriamiento y el lado Este de las torres de enfriamiento. No sale de los límites de batería del C.P. Independencia.

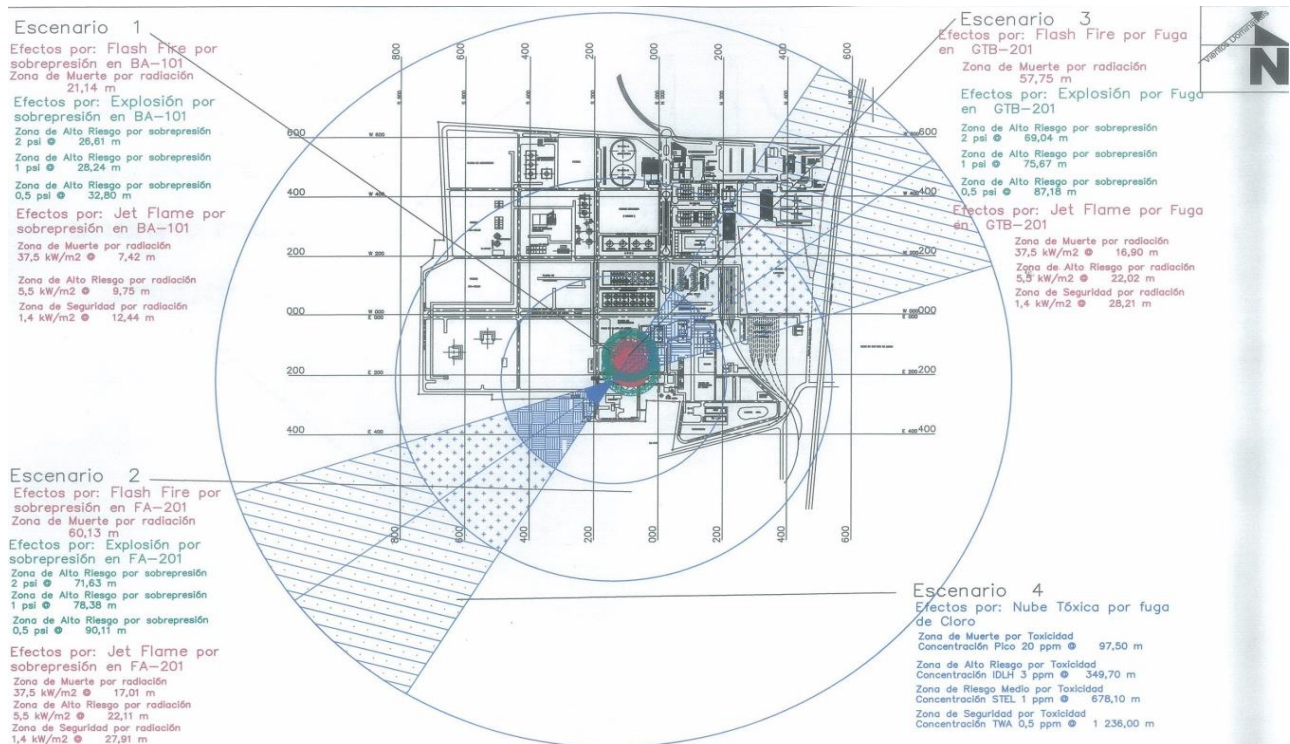
De 97.50 m y hasta 349.70 m se considera una zona de riesgo alto pues el personal estará sujeto a concentraciones entre 20 ppm y 3 ppm con lo que desmayos, pérdida de conocimiento, dificultad para respirar, asfixias pérdida permanente del sentido del olfato, posibles edemas pulmonares e irritación severa del tracto digestivo, quemaduras severas en piel y daño a todas las mucosas. Dentro de este radio se encuentran: Taller de Intercambiadores de calor, las Aulas del IMP, la Planta de tratamiento y la laguna al Este del C.P. Independencia, las bodegas A y B, el área de estacionamiento de autotanques, el área de almacenamiento de tanques y el área de almacenamiento de esferas. Este radio supera los límites de batería del C.P. Independencia por el lado Este.

De 349.70 y hasta 678.10 m se considera que la concentración disminuirá hasta un valor mayor o igual a 1 ppm que es la concentración denominada de corta exposición (STEL) en la que si el personal expuesto no se protege en 15 minutos se pueden tener daños severos e incluso permanentes con los mismos síntomas de dolor de cabeza, irritación del tracto digestivo, pérdida del sistema olfativo, lagrimeo, posibilidad de edema pulmonar, quemaduras en piel, daño a mucosas. Este radio abarca hasta antes de las oficinas administrativas, estación de medición de gas, estacionamiento de autotanques, talleres civil, mecánico, eléctrico, el parque ecológico, servicios auxiliares, el Área de Quemadores. Este radio sale de los límites de batería del C.P. Independencia por el lado Este.

En un radio de 678.10 m y hasta 1 236.00 m marcan un radio de amortiguamiento ya que se espera que la concentración disminuya hasta 0.5 ppm que es la concentración a la que puede estar expuesto el personal sin generar un daño permanente, solo las molestias temporales de pérdida del olfato, lagrimeo, sensación de asfixia, olor picante, náuseas disnea. Este radio abarca el resto del C.P. Independencia y sale de los límites de batería Norte, Este y Sur y Oeste.

En base a lo descrito anteriormente, se puede apreciar que de llegar a suscitarse alguno de los eventos no deseados, estos tendrían efectos de repercusión, sobre otras instalaciones, equipos e instrumentos, mismos que al dañarse conllevan a desarrollar un evento en cadena o de efecto domino, a una mayor escala, por lo que es imprescindible tener identificados estos escenarios de riesgo, así como, su zona de afectación, tal como se muestra en la Figura 3.6.

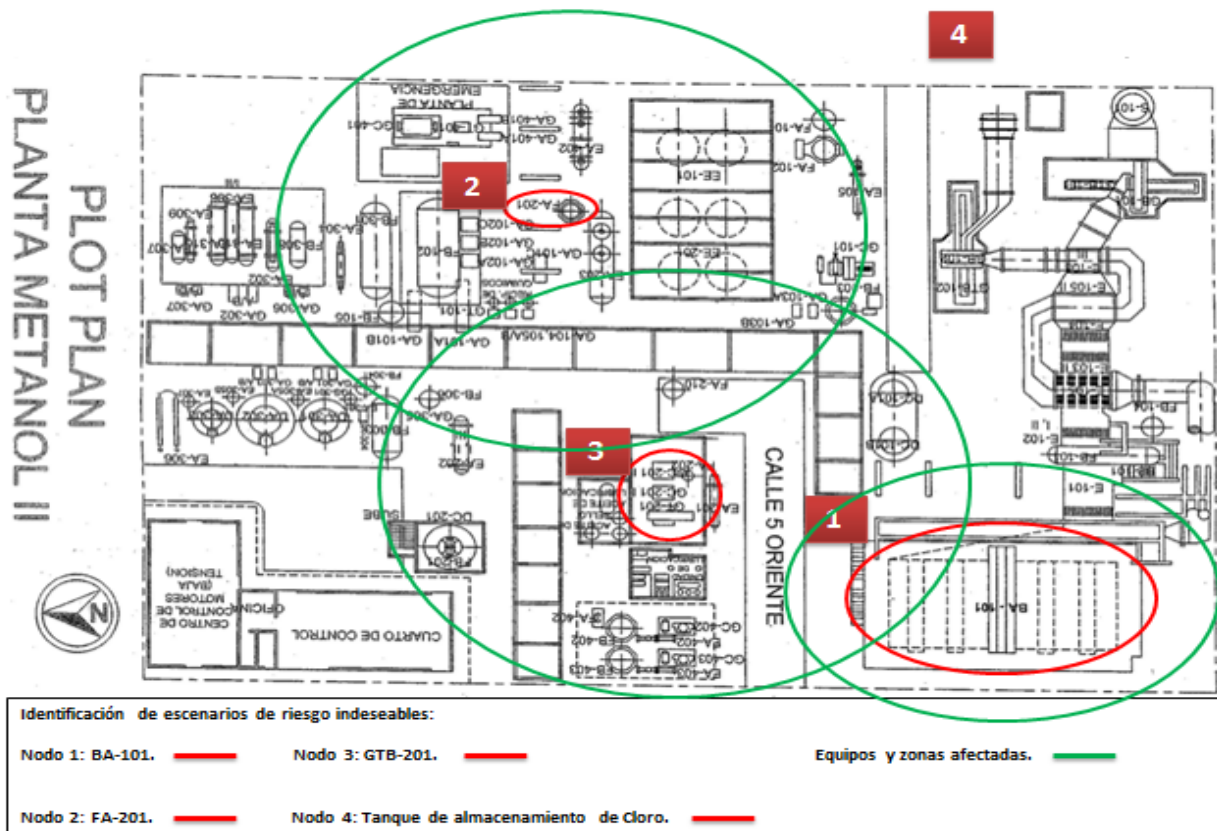
**Figura 3.6** Diagrama de Pétalos Conjunto de Escenarios, ver Anexo “D”.



Cabe resaltar que, al identificar los escenarios y sus zonas de afectación, estos pueden ser atendidos de una manera más eficiente y segura, mediante la generación de planes de respuesta a emergencias, así como una capacitación continua al personal operativo y al cuerpo de rescate, así minimizar las consecuencias y evitar un efecto domino.

En la siguiente Figura se muestran los equipos involucrados de los escenarios de riesgo no deseados, descritos anteriormente, así como la zona de afectación que presentan, en donde se puede apreciar la repercusión negativa que impacta a los equipos, instrumentación y al personal.

**Figura 3.7** Plot Plan Planta Metanol II, Identificación de los escenarios de riesgo indeseables.



### 3.8 - Recomendaciones técnico-operativas resultantes de la aplicación de las metodologías para la identificación de riesgos

Las siguientes recomendaciones, se hicieron en base a los resultados de la evaluación de riesgo realizada en el 2003. Por lo tanto, se confirmó que estas recomendaciones tuvieran seguimiento, para minimizar o eliminar los riesgos que se presentan en cada escenario.

**Tabla 3.6** Recomendaciones técnico operativas del Estudio de riesgos a Planta Metanol II.

No.	Recomendación	Origen	Clasificación	Área responsable
1	Adecuar las Instalaciones de Cloro de Metanol II, pudiendo utilizar como base los lineamientos establecidos en los panfletos 1, 6, 17 y 60 del Instituto de Cloro (Chlorine Institute, Inc.), y los lineamientos establecidos por la OSHA CFR 29 1910.119 Process safety management of highly hazardous chemicals.	Inspección en Campo	B	Mantenimiento / Ingeniería / Operación / Seguridad
2	Cumplir cabalmente con el programa anual de mantenimiento correctivo, preventivo y predictivo en válvulas, Instrumentación, equipo de seguridad, equipo dinámico y equipo estático de la Planta Metanol II.(R1)	Aplicación del Hazop Nodo 1, Más Temperatura.	B	Mantenimiento / Ingeniería / Operación / Seguridad
3	Cumplir cabalmente con el programa anual de mantenimiento preventivo al SCD en Metanol II. (R2)	Aplicación del Hazop Nodo 2, Menos Temperatura.	B	Mantenimiento / Ingeniería / Seguridad
4	Evaluar por medio de un estudio técnico – económico para ver la conveniencia de instalar un indicador de presión (vacío) a tablero independiente al PIC-146. (R3)	Aplicación del Hazop Nodo 3, No Flujo	B	Mantenimiento / Ingeniería / Operación
5	Realizar un estudio de ingeniería para optimizar la operación de los quemadores del reformador BA-101 o cambiarlos por nueva tecnología.(R4)	Aplicación Del Hazop Nodo 3, Menor Flujo	B	Mantenimiento / Ingeniería / Operación
6	Realizar un estudio para evaluar los efectos de las variaciones en el manejo da la carga a Planta y ver la conveniencia de mantener una carga constante respecto al tiempo. (R5)	Aplicación del Hazop Nodo 3, Menor Flujo	B	Mantenimiento / Ingeniería / Seguridad
7	Habilitar alarma de baja presión de instrumentos independiente del SCD, en el área de compresores de aire. (R6)	Aplicación del Hazop Nodo 4, No Flujo	B	Mantenimiento / Operación / Seguridad
8	Revisar que se encuentren habilitadas y mantener habilitadas las alarmas audibles en campo de tiros y turbo. (R7)	Aplicación del Hazop Nodo 4, No Flujo	B	Mantenimiento / Operación / Seguridad
9	Realizar un estudio técnico-económico para evaluar la conveniencia de automatizar la HCV-190 con control en el SCD.(R8)	Aplicación del Hazop Nodo 4, Parte de	B	Mantenimiento / Ingeniería / Operación
10	Realizar un estudio técnico - económico con la finalidad de eficientar la temperatura del flujo de retorno del gas de expansión que sale del EA-304, para disminuir el ensuciamiento a los quemadores por este factor.(R9)	Aplicación del Hazop Nodo 6, No Flujo	B	Mantenimiento / Ingeniería / Operación
11	Continuar y dar cabal cumplimiento a los programas de medición de espesores y el seguimiento de las recomendaciones derivadas de estas mediciones. (R10)	Aplicación del Hazop Nodo 6, No Flujo	B	Mantenimiento / Operación / Seguridad

**Tabla 3.6** Recomendaciones técnico operativas del Estudio de riesgos a Planta Metanol II.

No.	Recomendación	Origen	Clasificación	Área responsable
12	Realizar un Estudio Técnico Económico para evaluar la posibilidad de cambiar o modificar los quemadores del BB-101, con la finalidad de eficientar su operación. (R11)	Aplicación del Hazop Nodo 6, Menor Flujo	B	Mantenimiento / Ingeniería / Seguridad
13	Revisar y en su caso adecuar las hojas de seguridad de todos los materiales manejados en Metanol II, para que cumplan con la NOM-018-STPS-2000. (R12)	Aplicación del Hazop Nodo 9, Fuga	B	Operación / Seguridad
14	Realizar un estudio técnico-económico para ver la viabilidad de mejorar el tratamiento químico al agua de enfriamiento mediante reactivos de mejor calidad. (R13)	Aplicación del Hazop Nodo 10, Más Presión	B	Mantenimiento / Ingeniería / Operación
15	Instalar un filtro en la descarga del GA-305. (R14)	Aplicación del Hazop Nodo 11, Más Nivel	B	Mantenimiento / Ingeniería / Operación
16	Revisar si existe en programa de mantenimiento preventivo la limpieza de la FB-305, incluirla en caso de no estar incluida. (R15)	Aplicación del Hazop Nodo 11, Más Nivel	B	Mantenimiento / Operación
17	Dar cabal cumplimiento en la Planta Metanol II y en general en el C.P. Independencia a la Norma Oficial Mexicana NOM-026-STPS-1998, COLORES Y SEÑALES DE SEGURIDAD E HIGIENE, E IDENTIFICACION DE RIESGOS POR FLUIDOS CONDUCTIDOS EN TUBERIAS.	Inspección en Campo	B	Mantenimiento / Operación / Seguridad
18	Actualizar el Programa de Prevención de Accidentes, Plan de Respuesta a Emergencias y Programa de Simulacros de Emergencia del C.P. Independencia, con los escenarios encontrados en el análisis de la Planta Metanol II.	Recomendación General.	B	Operación / Seguridad

### **3.9 - Medidas, equipos, dispositivos y sistemas de seguridad con que cuenta o contará la instalación, consideradas para la prevención, control y atención de eventos extraordinarios**

Como medida preventiva en el manejo de Cloro se cuenta con una válvula reductora de presión y de cierre, que en caso de ruptura de la tubería o cualquier otro componente o se desarrolle una fuga, el aire que penetra impide que el gas escape.

#### **3.9.1 - Dispositivos de medición de velocidad de viento y para determinar su dirección**

Se cuenta con dispositivos indicadores de viento (conos), ubicados estratégicamente en diferentes puntos de la Planta de Metanol II y del Complejo Petroquímico Independencia en General. Los conos de viento instalados cumplen con lo establecido por el punto 5.10 de la Norma Oficial Mexicana NOM-005-STPS-1998 Relativa a las Condiciones de Seguridad e Higiene en los Centros de Trabajo.

### **3.9.2 - Equipo, sistemas y red contra incendio**

El centro de trabajo cuenta con extintores distribuidos por toda la planta de PQS y CO<sub>2</sub> de capacidad variada. Cada uno de ellos se encuentra inventariado y localizado y en óptimo desempeño de acuerdo a lo establecido por la NOM-002-STPS-1999.

### **3.9.3 - Equipo Personal de Emergencias**

La empresa cuenta con equipo de protección personal para hacer frente a las diferentes situaciones de riesgo inherentes a sus actividades industriales. Para eventos que implican fuego se utilizan equipos de bombero completos y trajes aluminizados. Para emergencias, maniobras de operación y mantenimiento se cuenta con equipo de protección personal el cual puede catalogarse de acuerdo de la siguiente manera:

**El nivel A** – Se utiliza cuando se requiere el mayor nivel de protección cutánea, respiratoria y ocular.





**El nivel B** – Se usa cuando se requiere el mayor nivel de protección respiratoria, pero a un menor nivel de protección cutánea

**El nivel C** – Se porta cuando se conozcan las concentraciones y los tipos de sustancias llevadas en el aire, y se hayan cumplido los criterios para el uso de respiradores para la purificación del aire.

**El nivel D** – Es el uniforme de trabajo que ofrece una mínima protección; se utiliza solamente para la contaminación molesta.

A continuación se dará el inventario de equipo de protección personal con el que cuenta la empresa:

**Tabla 3.7** Equipo de protección personal para emergencias.

Cantidad	Equipos HAZ-MAT.	
S/N	Trajes nivel A.	
S/N	Trajes nivel B.	
S/N	Traje aluminizado.	
37	Equipos de respiración autónoma (completos).	
S/N	Mascarillas con cartuchos cara completa.	
S/N	Mascarillas con cartuchos media cara.	
S/N	Botas de hule con casquillo de acero.	
S/N	Goggles.	
S/N	Caretas faciales.	
S/N	Guantes látex.	
S/N	Guantes de vitón.	
S/N	Guantes de butilo.	
S/N	Guantes de nitrilo.	
S/N	Guantes carnaza.	
S/N	Guantes de neopreno.	
	Equipo de bombero	
74	Bota de bombero.	
37	Casco de bombero.	
67	Pantalón de bombero.	
88	Chaquetones de bombero.	
S/N	Guantes de bombero.	

El equipo de protección personal se encuentra en constante disposición para su uso ya que se realiza un inventario periódico.

El diseño, material y especificaciones de los equipos de protección personal, se encuentra de acuerdo a lo establecido a la National Fire Protection Association (NFPA).

- ✓ NFPA 1991 Norma para los Trajes de Protección contra Vapores, para las Emergencias con Sustancias Químicas Nocivas (Ropa de Protección Nivel A de la EPA)
- ✓ NFPA 1992 Norma para los Trajes de Protección contra las Salpicaduras de Líquidos en las Emergencias con Sustancias Químicas Nocivas (Ropa de Protección Nivel B de la EPA),
- ✓ NFPA 1993 Norma para los Trajes de Protección contra Salpicaduras de Líquidos para las Situaciones con Sustancias Químicas Nocivas que no sean emergencias ni Inflamables.

El equipo de protección personal se encuentra acorde a los riesgos que se presentarían en la empresa. Se cumple con lo establecido en el punto 5.9 de la Norma Oficial Mexicana NOM-005-STPS-1998, Relativa a las Condiciones de Seguridad e Higiene en los Centros de Trabajo para el Manejo, Transporte y Almacenamiento de Sustancias Químicas Peligrosas.


El equipo de bombero del centro de trabajo cumple con lo establecido por el código OSHA 29 CFR-1910.156 Fire Brigades.

Los trajes aluminizados cumplen con el NFPA 1976 Standard on Protective Clothing for Proximity Fire Fighting 1992 Edition

Para las probables fugas de cloro, el Complejo Petroquímico Independencia cuenta con varios kits para fugas de cloro.

En la Planta de Metanol II se tienen instaladas regaderas con lavajos. La regaderas y lavajos están construidas bajo los requerimientos de la norma ANSI Z358.1-1990.

### 3.9.4 - Sustancias que se manejan en la Planta Metanol II y el equipo de seguridad que se debe emplear para su manejo (Actualizado)

 <b>PEMEX PETROQUÍMICA</b> <b>COMPLEJO PETROQUÍMICO INDEPENDENCIA</b> SUPERINTENDENCIA DE CALIDAD, SEGURIDAD INDUSTRIAL Y PROTECCIÓN AMBIENTAL HIGIENE INDUSTRIAL, NORMATIVIDAD Y ESTADÍSTICA													
SUSTANCIAS QUÍMICAS QUE SE MANEJAN EN: <u>PLANTA METANOL II</u>													
No.	SUSTANCIA QUÍMICA	TIPO	CANTIDAD UTILIZADA	CANTIDAD ALMACENADA	LUGAR	ESTADO FÍSICO	ROMBO DE SEGURIDAD			EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL			
							S	I	R				
1	ACIDO SULFURICO AL 98%	CONTROL DE pH	6500 - 6800 Kg/MES	57.0 TONS.	PLANTA METANOL II	LIQUIDO	3	0	2	CORR	EQUIPO VS ÁCIDO		
2	SOSA CAUSTICA AL 50%	CONTROL DE pH	600 - 800 Kg/MES	62.8 TONS.	PLANTA METANOL II	LIQUIDO	3	0	1	CORR	EQUIPO VS ÁCIDO		
3	CLORO	MICROBIOCIDA	300 - 400 Kg/MES	1200 Kg	PLANTA METANOL II	LIQUIDO	3	0	0	CORR	AIRE AUTONOMO		
4	IMP-PESP-TA-01	INHIBIDOR DE CORROSION	1750 Kg/MES	1320 LT.	PLANTA METANOL II	LIQUIDO	2	0	1	CORR	EPP BÁSICO		
5	IMP-TE-350-M	MICROBIOCIDA	800 Kg/MES	75 LT.	PLANTA METANOL II	LIQUIDO	2	0	1	CORR	EPP BÁSICO		
6	IMP-RB-335	REMOVEDOR DE BIOMASA	226 Kg/MES	470 LT.	PLANTA METANOL II	LIQUIDO	3	0	0	CORR	EPP BÁSICO		
7	FOSFATO TRISODICO	ANTI-INCRUSTANTE	25 - 30 Kg/MES	65 Kg	PLANTA METANOL II	SOLIDO	2	0	1	REACTIVO	EPP BÁSICO		
8	HIDRAZINA	INHIBIDOR	150 - 250 L/MES	85 LT.	PLANTA METANOL II	LIQUIDO	3	3	3	TÓXICO	AIRE AUTONOMO		
9	NITROGENO LIQUIDO	GAS INHERTE	3,000 kg/MES	24.8 TONS.	PLANTA METANOL II	LIQUIDO	3	0	0	CRIOGENICO	AIRE AUTONOMO		
10	GAS NATURAL	MATERIA PRIMA	15,362,100 M3/MES	NO SE ALMACENA	PLANTA METANOL II	GAS	3	4	0	TÓXICO	AIRE AUTONOMO		
11	GAS NATURAL	COMBUSTIBLE	2,265,138 M3/MES	NO SE ALMACENA	PLANTA METANOL II	GAS	3	4	0	TÓXICO	AIRE AUTONOMO		
12	HIDROGENO	SUBPRODUCTO	38,261,376 M3/MES	NO SE ALMACENA	PLANTA METANOL II	GAS	0	4	0	INFLAMABLE	AIRE AUTONOMO		
13	MONOXIDO DE CARBONO	SUBPRODUCTO	286,215 m3/MES	NO SE ALMACENA	PLANTA METANOL II	GAS	3	4	0	TÓXICO	AIRE AUTONOMO		
14	DIOXIDO DE CARBONO	SUBPRODUCTO	55,125 M3/MES	NO SE ALMACENA	PLANTA METANOL II	GAS	1	0	0		AIRE AUTONOMO		
15	METANOL	PRODUCTO	500 TON/DIA	500 TON.	PLANTA METANOL II	LIQUIDO	1	3	0	TÓXICO	EQUIPO VS ÁCIDO		
16	METANOL CRUDO	PRODUCTO	VARIA	131 M3	PLANTA METANOL II	LIQUIDO	1	3	0	TÓXICO	EQUIPO VS ÁCIDO		
17	ALCOHOLES	SUBPRODUCTO	41,784 M3/MES	NO SE ALMACENA	PLANTA METANOL II	LIQUIDO	1	3	0	TÓXICO	EQUIPO VS ÁCIDO		
18	ACIETE TURBINAS 11	LUBRICANTE	200 L/MES	12,000 L	PLANTA METANOL II	LIQUIDO	1	1	0	INFLAMABLE	EPP BÁSICO		
19	CATALIZADOR PARA DESULFURIZACION	COBALTO-MOLIBDENO	4,200 Kg	4,200 Kg	PLANTA METANOL II	SOLIDO	0	0	0	-	EPP BÁSICO		
20	CATALIZADOR PARA DESULFURIZACION	OXIDO DE ZINC	18,600 Kg	18,600 Kg	PLANTA METANOL II	SOLIDO	2	1	0	-	EPP BÁSICO Y MASCARILLA VS POLVOS		
21	CATALIZADOR PARA REFORMACION	NIQUEL	30 M3	30 M3	PLANTA METANOL II	SOLIDO	2	0	0		EPP BÁSICO Y MASCARILLA VS POLVOS		
22	CATALIZADOR PARA SINTESIS DE METANOL	COBRE-ZINC	38.4 M3	38.4 M3	PLANTA METANOL II	SOLIDO	2	0	0	-	EPP BÁSICO Y MASCARILLA VS POLVOS		

## **Conclusiones del estudio de riesgo**

La Planta de Metanol II en el C.P. Independencia por el tipo de eventos y por las consecuencias que podrían generarse se considera de Alto Riesgo, ya que pueden desencadenarse por el manejo de materiales clasificados como altamente riesgosos en cantidades superiores a las cantidades del reporte de Alto Riesgo, sin embargo, cuenta con los planes, programas, procedimientos y personal capacitado para atender las emergencias derivadas de su actividad productiva.

En base a la actualización del Análisis de Riesgo tomándose en cuenta los resultados de la anterior evaluación de riesgo, y sometiéndose a una actualización de dicha evaluación, mediante las metodologías anteriormente expuestas, los escenarios de riesgo indeseables, fueron los mismos. Asimismo, se verifico que los escenarios de riesgo encontrados en la evaluación de riesgo anterior fueron atendidos, por lo que estos quedarían para la actualización del Análisis de Riesgos como controlados, con recomendación de seguir manteniendo los controles, seguir las guías de mantenimiento y mejorar el sistema de seguridad de los equipos, si esto fuese necesario. Por otra parte, los 4 escenarios catastróficos considerados como “Indeseables”, los cuales deben considerarse con prioridad en el Plan de Respuesta a Emergencias (PRE) y tenerse contemplados en los simulacros, para preparar al personal operativo y al cuerpo de rescate en caso de la ocurrencia de alguna de estas contingencias y así pueda ser atendido el evento no deseado, de una manera más eficaz, segura y satisfactoria.

En base a lo anterior, bajo los términos y condiciones descritas en materia de seguridad industrial, se considera que su operación es aceptable en materia de Riesgo Ambiental, siempre y cuando se cumpla con todos los programas de mantenimiento preventivo y correctivo, se cumpla con el programa de simulacros operacionales y de emergencia y se cubran a cabalidad las recomendaciones generadas en este estudio.

## Bibliografía

- [1]. Curso – Taller; Metodología HAZOP: Gerencia de Atención a Contingencias DCO; Expositor: Eliseo Montañez Ávila. Módulo I, 2010.
- [2]. <http://www.ptq.pemex.com/AcercaPPQ/Paginas/default.aspx>
- [3]. NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-053-SSA1-1993. "QUE ESTABLECE LAS MEDIDAS SANITARIAS DEL PROCESO Y USO DEL METANOL (ALCOHOL METILICO)".
- [4]. Manual de Operación; Planta Metanol II; Complejo Petroquímico Independencia; Elaboro: Ing. Germán Mondragón O. Jefe Operación Planta Metanol II. Abril de 2003.
- [5]. Atlantic Methanol Production Company LLC, Hoja de datos de seguridad sobre materiales, (Metanol), 2014, páginas 1 y 2.
- [6]. Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente 28 de enero de 1988 (última modificación 05-/-13). Título Primero, Sección V, Artículo 30.
- [7]. Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente 28 de enero de 1988 (última modificación 05-/-13). Título Cuarto, Capítulo V, Artículo 147.
- [8]. NORMA Oficial Mexicana NOM-028-STPS-2012, Sistema para la administración del trabajo-Seguridad en los procesos y equipos críticos que manejen sustancias químicas peligrosas.
- [9]. María Esther Arcos Serrano, Cecilia Izcapa Treviño, Liliana Bernabé Espinosa, Rubén Darío Rivera Balboa, Enrique Bravo Medina, Riesgos Químicos, Centro Nacional de Prevención de Desastres, Secretaria de Gobernación.
- [10]. Taller de "Análisis de Consecuencias" de incendios, explosiones y nubes tóxicas; Instituto de Investigaciones Eléctricas.
- [11]. EPA 2001. An overview of Risk Assessment and RCRA. EPA530-F-00-032: Washington D.C.
- [12]. Dennis P. Nolan "Enciclopedia of Fire Protection", Delmar, 2001.
- [13]. PNUMA. "APELL Concientización y Preparación de Emergencias a Nivel Local" UN. 1989.

- [14]. Guías técnicas para realizar análisis de riesgo de proceso; Dirección Corporativa de Operaciones; Subdirección de Disciplina Operativa Seguridad, Salud y Protección Ambiental; Clave: 800-16400-DCO-GT-75, 2012.
- [15]. Palluzi Richard P., Pilot plant and laboratory safety, Ed. McGraw-Hill, Inc., páginas 41 y 43.
- [16]. Peters M.S., Timmerhaus K. D., Plant design and economics for the chemical engineers, Ed. Mc Graw-Hill, Inc., página 70.
- [17]. Palluzi Richard P., Pilot plant and laboratory safety, Ed. McGraw-Hill, Inc., página 64.
- [18]. Peters M.S., Timmerhaus K. D., Plant design and economics for the chemical engineers, Ed. Mc Graw-Hill, Inc., página 33.
- [19]. Peters M.S., Timmerhaus K. D., Plant design and economics for the chemical engineers, Ed. Mc Graw-Hill, Inc., páginas 54 y 55.
- [20]. Curso – Taller; Metodología HAZOP: Gerencia de Atención a Contingencias DCO; Expositor: Eliseo Montañez Ávila. Módulo II, 2010.
- [21]. Curso – Taller; Metodología HAZOP: Gerencia de Atención a Contingencias DCO; Expositor: Eliseo Montañez Ávila. Módulo III, 2010.
- [22]. Estudio de Análisis de Riesgos, Planta Metanol II, C.P.I. Desarrollado por el Instituto Politécnico Nacional, 2003.