



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DIVISIÓN DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA
TIERRA

“LA METODOLOGÍA HAZOP APLICADA AL
ANÁLISIS DE RIESGOS”

T E S I S

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO PETROLERO

PRESENTA:

JUÁREZ PASTRANA MISAEL AARÓN

DIRECTOR:

ING. RAMON E. DOMÍNGUEZ BETANCOURT



CUIDAD UNIVERSITARIA

2014

La metodología *HAZOP* aplicada al análisis de riesgos

Agradecimientos

A Dios

Gracias señor.

Tú eres mi fuerza, mi escudo y en ti confié mi corazón.

A ti Mamá

Por todo y mucho más, por tu infinito amor e incondicional apoyo, por tu paciencia y gran fortaleza, por ser el pilar que nos mantiene unidos y en pie como familia, por tus consejos y por enseñarme a nunca rendirme y siempre luchar por nuestros sueños, te estoy eternamente agradecido.

A mis hermanos

Moy y Teté gracias por todo su apoyo y cariño, sin ustedes esto no sería posible. “El futuro ya llegó, los tiempos malos han pasado”, los quiero, los admiro y los respeto.

Gracias tíos, Roberto y Guadalupe y a la familia Pastrana.

A la Universidad Nacional Autónoma de México

Porque gracias a ella, ahora soy ingeniero y donde quiera que vaya mi amor, orgullo y respeto por la institución siempre estará presente, buscando constantemente el poder retribuir algo de lo mucho que me ha dado la UNAM y en especial a la facultad de ingeniería, “mi segundo hogar”.

México, Pumas, Universidad, ¡Goya! ¡Goya!...

A mi director de tesis

El ingeniero Ramón Domínguez Betancourt, por darme la oportunidad de realizar bajo su tutela esta tesis, gracias por su tiempo, sus consejos y enseñanzas, mi admiración y mi respeto para usted.

A mis sinodales

Ing. Alberto Arias Paz

M.I. Carlos Alberto Avendaño Salazar

Ing. Claudio Cesar de la Cerda Negrete

Ing. Héctor Erick Gallardo Ferrera

Por su gran disposición y apoyo, gracias.

A Karla Wendy López Nava, gracias por compartir esto conmigo, deseo que esto sea el comienzo de nuestra mejor historia y a los que directa o indirectamente han formado partes de esta aventura, ***maestros, amigos y compañeros***, a todos ustedes muchas gracias.

ÍNDICE

Índice general

Índice de tablas

Índice de figuras

Introducción

Justificación

Objetivos

Glosario de términos y abreviaturas

Capítulo 1 El análisis de riesgos y sus objetivos en la industria	17
1.1 Análisis de riesgos	17
1.1.2 Seguridad industrial	17
1.1.3 Definiciones	19
1.2 Definición de Análisis de Riesgos	23
1.2.1 Administración de riesgos	24
	25
1.2.2 Matriz de riesgo	26
1.3 Métodos de Análisis de Riesgos	28
1.3.1 Evolución de los análisis de riesgos	28
1.3.2 Etapas del análisis de riesgos	30
Capítulo 2 Las Metodologías para el análisis de riesgos	33
2.1 Tipos de clasificación	33
2.1.2 Clasificación en función del tiempo	33
2.1.3 Clasificación en función de la dirección en que se desarrollan los análisis	33
2.1.4 Clasificación a medida que se van cumpliendo objetivos	34
2.1.5 Clasificación según el carácter de análisis	34
2.2 Definición de los métodos	34
2.2.1 Métodos Cuantitativos o semicuantitativos	34
2.2.2 Definición de los métodos comparativos	35
2.2.3 Definición de los métodos cualitativos y semicualitativos	36
2.3 Métodos Cuantitativos	36

2.3.1 Capa de protección	36
2.3.2 Sistemas Instrumentados de Seguridad (SIS)	37
2.3.3 Sistema integrado de seguridad (SIL)	37
2.3.4 Método de matriz de riesgo	39
2.3.5 Método de análisis de capas de protección (LOPA)	41
2.3.6 Índices de riesgos	43
2.3.7 Índice <i>Dow y Mond</i>	44
2.3.8 Calificación relativa (ranking relativo)	45
2.4 Métodos comparativos	46
2.4.1 Lista de Verificación o <i>safety chek lists</i>	46
2.4.2 Análisis histórico de accidentes	47
2.4.3 Análisis " <i>What if...?</i> ": ¿Qué pasaría si...?	49
2.4.4 Análisis por Árbol de Fallas, AAF: <i>Fault Tree Analysis, FTA</i>	50
2.4.5 Análisis de Árbol de Sucesos, AAS: <i>Event Tree Analysis, ETA</i>	52
2.4.6 Análisis de los Modos Falla y Efectos, AMFE: <i>Failure Modes and Effects Analysis, FMEA</i>	55
Capítulo 3 La metodología HAZOP	57
3.1 Antecedentes del Análisis de Riesgo y Operatividad (HAZOP)	57
3.2 Elementos clave	58
3.3 Objetivos	58
3.4 Concepto	58
3.4.1 Palabras guía o términos clave	60
3.4.2 Pasos que se deben de seguir para realizar un análisis HAZOP	60
3.5 Software o Soporte	63
Capítulo 4 Requerimientos para realizar un análisis de riesgos HAZOP	65
4.1 Razones del amplio uso del análisis de riesgos HAZOP	65
4.2 Ventajas e Inconvenientes	66
4.2.1 Información necesaria para un análisis HAZOP	66
4.3 Integrantes de un equipo HAZOP	67
4.4 Duración del HAZOP	68
4.5 ¿Cómo se realiza un HAZOP?	68
4.5.1 Principios Básicos	69
4.5.2 Terminología HAZOP	69
4.5.3 Intención del Diseño	69
4.6 Alcances	70
4.7 Informe Final	70
4.7.1 Ejemplos de Informes	71
Capítulo 5 Casos de aplicación de la metodología HAZOP	73

5.1 Caso 1 de aplicación de la metodología HAZOP	73
5.2 Datos generales del proyecto	73
5.2.1 Nombre del proyecto	73
5.2.2 Ubicación del proyecto	73
5.2.3 Tiempo de vida útil del proyecto	73
5.2.4 Naturaleza del proyecto	73
5.3 Selección del Sitio	74
5.3.1 Inversión requerida	74
5.4 Nodos, palabras guía y parámetros involucrados	75
5.4.1 Agentes externos	76
5.5 Eventos de riesgo	76
5.5.1 Fugas y/o derrames	76
5.5.2 Flamazo o antorcha	77
5.5.3 Daños a equipos e instalaciones	77
5.6 Identificación y jerarquización de riesgos	77
5.6.1 Índice de consecuencia y gravedad	78
5.6.2 Índice de frecuencia o probabilidad	79
5.7 Matriz de riesgos	80
5.7.1 Nivel de riesgo	80
5.8 Estimación de consecuencias de riesgos ambientales	80
5.8.1 Criterios utilizados para la simulación de eventos de riesgo	81
5.9 Resultados obtenidos con la aplicación de la metodología HAZOP	81
5.11 Conclusiones del proyecto	96
5.12 Caso 2 de aplicación de la metodología HAZOP	97
5.12.1 Nombre del proyecto	97
5.13 Objetivo del estudio	97
5.14 Requerimientos	97
5.15 Alcance del estudio	97
5.16 Descripción de los procesos y/o operaciones analizadas	98
5.16.1 Descripción del proceso actual	98
5.16.2 Descripción del proceso propuesto	99
5.16.3 Descripción del entorno	101
5.16.4 Condiciones ambientales	102
5.17 Premisas y consideraciones hechas para seleccionar la(s) metodología(s) aplicada(s)	103
5.18 Objetivos	104
5.19 Criterios a considerar	105

5.20 Definición de nodos	106
5.21 Descripción de la Intención	108
5.22 Análisis de las desviaciones	108
5.22.1 Generación de recomendaciones	108
5.22.2 Evaluación del riesgo	108
5.23 Documentación	108
5.24 Relación y ponderación de escenarios identificados	109
5.25 Jerarquía de Riesgos	112
5.26 Conclusiones	112
5.26.1 Recomendaciones para los riesgos analizados y evaluados	116
5.27 Reportes HAZOP	116
Capítulo 6. Conclusiones y recomendaciones generales	134
6.1 Conclusiones	134
6.2 Recomendaciones	135

Índice de Tablas

Capítulo 1

Tabla 1. 1 Criterios de aceptación del riesgo	25
Tabla 1. 2 Riesgo = (consecuencia) x (frecuencia)	26
Tabla 1. 3 Matriz de riesgo cualitativa	27

Capítulo 2

Tabla 2. 1 Niveles de integridad de seguridad	38
Tabla 2. 2 Valores asignados para la probabilidad y consecuencias	39
Tabla 2. 3 Relación de frecuencia y consecuencia	40
Tabla 2. 4 Comparación LOPA-HAZOP	42
Tabla 2. 5 Comparación entre los métodos HAZOP y LOPA	43
Tabla 2. 6 Formulario de trabajo para análisis FMECA	56

Capítulo 3

Tabla 3. 1 Palabras guía	62
--------------------------	----

Capítulo 4

Tabla 4. 1 Ejemplos de informes HAZOP	71
Tabla 4. 2 Ejemplo de informe HAZOP	72

Capítulo 5

Tabla 5. 1 Nodos de estudio	75
Tabla 5. 2 Palabras guía	75
Tabla 5. 3 Parámetros	75
Tabla 5. 4 Índice de consecuencia o gravedad	78
Tabla 5. 5 Índice de frecuencia o probabilidad	79
Tabla 5. 6 Matriz de jerarquización de riesgos	80
Tabla 5. 7 Nivel de riesgo	80
Tabla 5. 8 Niveles de radiación	82
Tabla 5. 9 Criterios a considerar para la selección de la metodología adecuada para la identificación de posibles riesgos	105
Tabla 5. 10 Matriz de riesgos (daños a la seguridad del personal, contratistas y población aledaña a la instalación)	113
Tabla 5. 11 Matriz de riesgos (daños al ambiente por fugas y derrames dentro y fuera de las instalaciones)	113
Tabla 5. 12 Matriz de riesgos (daños al negocio por pérdida de producción, daños a terceros y a instalaciones)	114
Tabla 5. 13 Matriz de riesgos (daños al negocio por pérdida de producción, daños a terceros y a instalaciones)	114

Índice de figuras

Capítulo 1

Figura 1. 1 Definición de riesgo	20
Figura 1. 2 Factores de probabilidad y falla (LOF)	20
Figura 1. 3 Factores de consecuencias de falla (COF)	21
Figura 1. 4 DTI de un proceso simple	30

Capítulo 2

Figura 2. 1 Composición básica de un sistema de seguridad (SIS)	37
Figura 2. 2 Capas de protección LOPA	42
Figura 2. 3 "What if"	49
Figura 2. 4 Árbol de fallas	51
Figura 2. 5 Árbol de sucesos-lanzamiento de monedas	52
Figura 2. 6 Árbol de sucesos	54
Figura 2. 7 Proceso para el análisis de modo y efecto de fallas	55

Capítulo 3

Figura 3. 1 Metodología general para el análisis de riesgos empleando HAZOP	64
---	----

Capítulo 5

Figura 5. 1 Nodo 1: Sistema de separación bifásica de alta presión, FA-101	106
Figura 5. 2 Nodo 2: Sistema de separación bifásica de baja presión, FA-102	107

Anexos

Referencias Bibliográficas

Referencias Electrónicas

Introducción

El sector energético es motor de desarrollo y bienestar social. Por esta razón, debe ser innovador en la forma de enfrentar los retos que presenta el siglo XXI y realiza una contribución histórica a la vida nacional, al aprovechar los recursos naturales y la generación de energía para impulsar el progreso.

La energía no es sólo un insumo sino un detonador del desarrollo económico y social. Las industrias energéticas mexicanas contribuyen con un gran porcentaje del Producto Interno Bruto y los ingresos petroleros son parte medular del presupuesto nacional.

Numerosas industrias a escala mundial realizan periódicamente análisis de riesgos y operatividad en sus instalaciones debido a la razón social de las empresas, las autoridades gubernamentales y aseguradoras solicitan generalmente realizar estudios de peligros y evaluaciones de riesgo durante el diseño de una instalación, construcción y durante la operación, siendo éstos sujetos a auditorías y aprobaciones administrativas.

Pretendiendo de esta manera precautelar los recursos humanos, ambientales y económicos (activos), debido a que el gran porcentaje de accidentes presentados en la industria ocurren por desviaciones de la función asignada o en los procedimientos operativos, falla mecánica del equipo y eventos externos, buscan prevenir los riesgos industriales y mejorar la seguridad de la planta y los procesos.

Además es necesario analizar su severidad y probabilidad de ocurrencia, para así contar con mejores criterios para priorizar las acciones que se deben implementar para eliminar o minimizar los mismos.

Justificación

Todas las plantas industriales tienen un determinado propósito: producir, fabricar, manufacturar, procesar, además de operar de manera segura y eficiente. Sin embargo, se pueden presentar accidentes que ocurren por desviaciones de la función asignada o en los procedimientos operativos, por tal motivo es más económico para las industrias, prevenir, valorar y atender los riesgos, que tener que tomar acciones correctivas cuando ya se dio el evento.

Para detectar las desviaciones que se presentan en los procesos y plantas de producción, se aplican varios métodos sistemáticos modernos de detección (*What if*, *HAZOP*, Lista de Chequeo, Árbol de fallas, Modo de Falla y Efectos), que buscan prevenir los riesgos industriales y mejorar la seguridad de las plantas y procesos.

El método "*HAZOP*", involucra la investigación de desviaciones del intento de diseño o propósito de un proceso en varios puntos claves de todo el proceso, de modo estructurado y sistemático, por un equipo multidisciplinario que llevará a cabo el estudio de riesgos y operatividad, usando una serie de palabras guías aplicadas a cada parámetro seleccionado para determinar mediante la discusión propositiva y la generación de ideas, lo siguiente:

- Las desviaciones de los parámetros de operación o de un paso del procedimiento.
- Las causas que las propician y sus consecuencias.
- Los sistemas de protección o mitigación que reducen la frecuencia de dichas causas y la gravedad de sus consecuencias.
- Los índices de riesgos.
- Las recomendaciones para eliminar, reducir o controlar los riesgos encontrados y las acciones para resolverlas.

Objetivos

Generales

1. Analizar e identificar riesgos de operatividad en procesos críticos de servicios petroleros, mediante la aplicación de la metodología *HAZOP*, partiendo de la premisa de que los problemas de operatividad se producen por causa de una desviación de las condiciones de operación, con respecto a los parámetros normales de operación en un sistema dado y en una etapa determinada (diseño, arranque, operación normal, operación en una emergencia, paro, etc.), esto permite evaluar las consecuencias a la instalación, producción, personal, a la población y al ambiente.
2. Identificar el propósito de un proceso y los posibles escenarios a presentarse en la instalación, que podrían llevar a eventos de alto riesgo.
3. Investigar la normativa nacional e internacional existente para la gestión de riesgos de procesos.
4. Proponer medidas de prevención para reducir la probabilidad del evento y limitar sus consecuencias hasta un nivel aceptable.

Particulares

1. Analizar e identificar riesgos de operatividad en procesos críticos de servicios petroleros, mediante la aplicación de la metodología *HAZOP*, en los siguientes proyectos:
 - Construcción de L.D.D. 8"Ø pozo Tajón 101 al cabezal puerto Ceiba, mediante la técnica de perforación direccional controlada
 - Construcción de infraestructura de separación y obras complementarias para la batería de separación Rabasa

Glosario de términos y abreviaturas

Términos

Accidente. Evento o combinación de eventos no deseados e inesperados que tienen consecuencias tales como lesiones al personal, daños a terceros en sus bienes o en sus personas, daños al medio ambiente, daños a instalaciones o alteración a la actividad normal del proceso.

Administración de riesgos. Proceso de toma de decisiones que parte del estudio de riesgo y el análisis de opciones técnicas de control, considerando aspectos legales, sociales y económicos, y establece un programa de medidas de eliminación, prevención y control, hasta la preparación de planes de respuesta a emergencias.

Análisis de consecuencias. Estudio y predicción cualitativa de los efectos que pueden causar eventos o accidentes que involucran fugas de tóxicos, incendios o explosiones entre otros, sobre la población, el ambiente y las instalaciones.

Análisis de riesgos. Conjunto de técnicas que consisten en la identificación, análisis y evaluación sistemática de la probabilidad de la ocurrencia de daños asociados a los factores externos (fenómenos naturales, sociales), fallas en los sistemas de control, los sistemas mecánicos, factores humanos y fallas en los sistemas de administración; con la finalidad de controlar y/o minimizar las consecuencias a los empleados, a la población, al ambiente, a la producción y/o a las instalaciones.

Caracterización de riesgos. Es la documentación de los resultados de la evaluación de riesgos, mencionando los criterios y premisas tomadas para seleccionar la metodología de identificación de peligros y condiciones peligrosas, para analizar, modelar y estimar las consecuencias y la frecuencia, así como las limitaciones de la evaluación.

Consecuencia. Resultado real o potencial de un evento no deseado, medido por sus efectos en las personas, en el ambiente, en la producción y/o instalaciones, así como la reputación e imagen.

Evaluación de riesgos. Proceso de identificar peligros o condiciones peligrosas en los materiales y sustancias o en los procesos; analizar y/o modelar las consecuencias en caso de fuga o falla y la frecuencia con que pueden ocurrir, y caracterizar y jerarquizar el riesgo resultante.

Evento. Suceso relacionado a las acciones del ser humano, al desempeño del equipo o con sucesos externos al sistema que pueden causar interrupciones y/o problemas en el sistema. En este documento, evento es causa o contribuyente de un incidente o accidente o, es también una respuesta a la ocurrencia de un evento iniciador.

Frecuencia. Número de ocasiones en que puede ocurrir o se estima que ocurra un evento en un lapso de tiempo.

Identificación de riesgos. Determinación de las características de los materiales y sustancias y las condiciones peligrosas de los procesos e instalaciones, que pueden provocar daños en caso de presentarse una falla o accidente.

Jerarquización. Ordenamiento realizado con base en criterios de prioridad, valor, riesgo y relevancia el cual se realiza con el propósito de identificar aquellas actividades de mayor importancia que pueden afectar la operación de la instalación.

Mitigación. Conjunto de actividades destinadas para disminuir las consecuencias ocasionadas por la ocurrencia de un accidente.

Peligro. Es toda condición física o química que tiene el potencial de causar daño al personal, a las instalaciones o al ambiente.

Probabilidad de ocurrencia. Posibilidad de que un evento acontezca en un lapso dado.

Riesgo. Peligros a los que se expone el personal. Combinación de la probabilidad de que ocurra un accidente y sus consecuencias.

Seguridad industrial. Se ha definido como el conjunto de normas y principios encaminados a prevenir la integridad física del trabajo, así como el buen uso y cuidado de las maquinarias, equipos y herramientas de la empresa.

Abreviaturas

AICHE American Institute Chemical Engineers, (Instituto Americano de Ingenieros Químicos)

API American Petroleum Institute, (Instituto americano del petróleo)

ASME American Society of Mechanical Engineers, (sociedad americana de ingenieros mecánicos)

ASTM American Society for Testing and Materials, (Sociedad Americana de Pruebas y Materiales)

CHAFINCH Database of Accidents, Incidents, failures and Chemical Hazards (Banco de Datos de Accidentes, Incidentes, Fallas y Riesgos Químicos)

CENAPRED Centro Nacional de Prevención de Desastres

ETA (AAE) Event Tree Analysis (Análisis de árbol de eventos)

FMEA (AMFE) Failure Mode and Efect Analysis (Análisis de Modo y Efecto de Fallas)

FTA (AAF) Failure Tree Analysis (Análisis de árbol de fallas)

HAZOP Hazard and Operability (estudio de riesgo y operatividad)

LOPA Layer of Protection Analysis (Análisis de capas de protección)

MARS Reporting System Major Accident (Sistema de Reportes de Accidentes Mayores)

MHIDAS Major Hazard Incident Data Service (Servicio de Datos de Incidentes de Riesgo Mayor)

NIOSH National Institute for Occupational Safety and Health (Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional)

NFPA National Fire Protection Association, Asociación Nacional de Protección Contra incendio

OREDA Offshore Reliability Data (Datos de Confiabilidad para equipos Costa Afuera)

SONATA Sumario de Accidentes Notables en Actividades Técnicas

SIL Safety Integrity Level (Sistema Integrado de Seguridad)

SIS Safety Instrumented System (Sistemas Instrumentados de Seguridad)

WOAD World Offshore Accident Database (Banco de Datos de Accidentes Mundiales Costa Afuera)

Capítulo 1 El análisis de riesgos y sus objetivos en la industria

1.1 Análisis de riesgos

Se tienen varios conceptos que se encuentran implícitos dentro del análisis de riesgos los cuales es importante mencionar y describir. Estos son los términos de seguridad en el trabajo pero en nuestro caso enfocado a la seguridad industrial, así como los conceptos básicos de riesgo, peligro y accidente, los cuales distan mucho de ser sinónimos. Además, es importante mencionar los métodos utilizados durante el análisis de riesgos, los cuales, se describirán brevemente posteriormente dando a conocer sus características relevantes como sus aplicaciones.

1.1.2 Seguridad industrial

La seguridad Industrial ha sido una disciplina importante durante las últimas décadas, la cual ha ayudado a mejorar las situaciones peligrosas y de alto riesgo dentro de las empresas de las diferentes ramas de la industria mexicana. Dentro una de esta rama se encuentra la Industria Petrolera, cuya importancia ha sido trascendental durante más de 50 años y que es una de las actividades industriales que forma parte de la economía mexicana. Es debido a esta importancia que la seguridad de sus procesos, equipos e instalaciones es de vital importancia.

Una de las mayores preocupaciones en las industrias hoy en día, se refiere a la seguridad de la población, los bienes y el medio ambiente. Por lo tanto, muchas empresas industriales vislumbran la más alta prioridad en la seguridad de sus trabajadores, clientes, vecinos y la preocupante preservación del medio ambiente; adoptando una política de calidad. Existen diversas definiciones sobre la seguridad industrial que pueden ser utilizadas, entre las cuales tenemos:

- Conjuntos de principios leyes, normas y mecanismo de prevención de los riesgos inherentes al recinto laboral, que pueden ocasionar un accidente ocupacional, con daños destructivos a la vida de los trabajadores o a las instalaciones o equipos de las empresas en todos sus ramos.

- Son los procedimientos, técnicas y elementos que se aplican en los centros de trabajo, para el reconocimiento, evaluación y control de los agentes nocivos que intervienen en los procesos y actividades de trabajo, con el objeto de establecer medidas y acciones para la prevención de accidentes o enfermedades de trabajo, a fin de conservar la vida, salud e integridad física de los trabajadores, así como evitar cualquier posible deterioro al propio centro de trabajo.
- Es la especialidad profesional que se encarga de reducir o evitar accidentes de los trabajadores en su trabajo.
- Las actividades que se desarrollan tienen en consideración, entre otros, aspectos preventivos relativos a seguridad estructural, instalación eléctrica, protección contra incendios, recipientes a presión, instalación de gases, sustancias químicas, equipos de trabajo y aparatos de elevación y diseño básico de instalaciones preventivas. Igualmente se toman en consideración los sectores o empresas afectadas por la legislación de accidentes mayores.
- La seguridad industrial se ha definido como el conjunto de normas y principios encaminados a prevenir la integridad física del trabajo, así como el buen uso y cuidado de las maquinarias, equipos y herramientas de la empresa.

De acuerdo con las normas y reglamentos, la seguridad industrial se manifiesta en el cumplimiento de las medidas contenidas en los mismos, para evitar y controlar los accidentes. Muchas de las normas y reglamentos son establecidos por comités técnicos de seguridad y autoridades correspondientes a implementar la seguridad en la industria.

En el caso de México 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. Tiene como objetivo establecer los elementos de un sistema de administración para organizar la seguridad en los procesos y equipos críticos que manejen sustancias químicas peligrosas, a fin de prevenir accidentes mayores y proteger de daños a las personas, a los centros de trabajo y a su entorno.

La cual tiene un campo de aplicación en todo el territorio nacional y aplica a los centros de trabajo que realicen procesos específicos:

- Extracción de petróleo
- Extracción de gas natural
- Almacenamiento y distribución de gas natural
- Producción de gas licuado de petróleo (gas L.P.)
- Almacenamiento y distribución de gas licuado de petróleo (gas L.P.)
- Producción de petroquímicos
- Refinación del petróleo crudo y petroquímica básica, etc.

1.1.3 Definiciones

A continuación se definen los siguientes términos que en ocasiones se llegan a utilizar indistintamente, creyendo que son sinónimos y si bien es cierto que varios de estos términos se complementan sus significados no son iguales.

Riesgo

Dentro de la literatura encontraremos muchas definiciones sobre el término de riesgo, donde cada autor expresa sus propias ideas sobre esta palabra. Unificando algunas definiciones desde el enfoque de la evaluación de riesgos, y considerando que los riesgos pueden ser cuantificados, podremos decir que riesgo, es la medida de pérdida o daño hacia las personas, a la propiedad, a los bienes, y al entorno, expresada en función de la probabilidad o frecuencia de que ocurra el evento por la magnitud o severidad de sus consecuencias. Definiendo Riesgo – ver figura 1 que es la probabilidad de falla por sus consecuencias, se puede plantear en un contexto amplio que el riesgo en instalaciones que manejan productos petrolíferos, técnicamente es factible examinarlo desde dos puntos de vista:

- El primero consiste en una identificación detallada de todos los eventos razonablemente posibles que pueden llevar una Instalación a la falla (cómo puede originarse ésta y cómo se presenta). Esto es llamado frecuencia de falla o probabilidad de falla (*Leak of Failure, "LOF"*)
- El segundo, si este ocurriera, plantea un análisis de las consecuencias potenciales (impactos a: la población, medio ambiente y negocio). Severidad de las consecuencias o consecuencia de falla, (*Consequence of Failure, "COF"*)



Figura 1. 1 Definición de riesgo

Fuente: *Pipeline Risk Management Manual, Muhlbauer Ken, second edition p. 4*

Cabe señalar que el primer punto de vista descrito anteriormente involucra las actividades de diseño, operación, mantenimiento y seguridad que pueden cambiar la exposición del riesgo en cualquier momento y bajo ciertas condiciones de operación. Por tal motivo existe en mayor o en menor grado cierta probabilidad de que los mecanismos de falla aparezcan durante el servicio, en estos términos, es importante tipificarlos para su estudio y control, agrupándolos de acuerdo a su origen y manifestación en las instalaciones. La clasificación de fallas ampliamente usada en la industria se indica a continuación (ver figura 2).

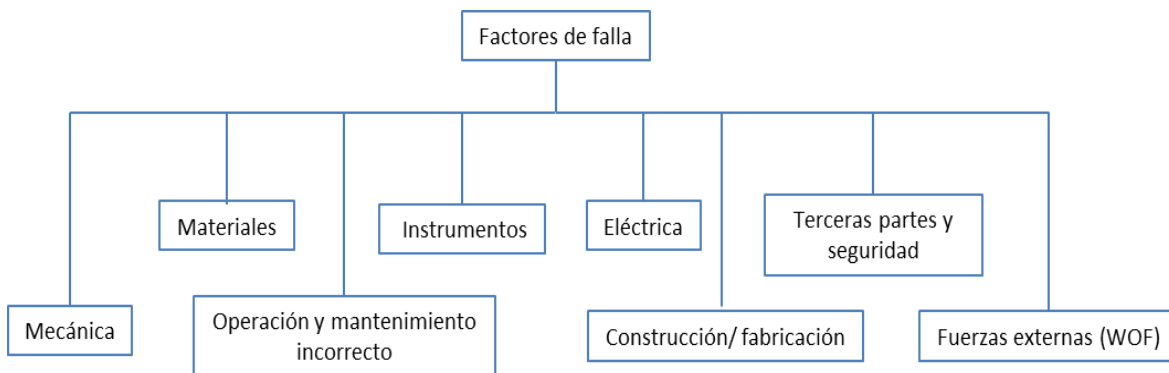


Figura 1. 2 Factores de probabilidad y falla (LOF)

Fuente: *Pipeline Risk Management Manual, Muhlbauer Ken, second edition p. 15*

Los riesgos se pueden clasificar de acuerdo a su origen, asociándolos a factores externos e Internos, de esta forma facilita su análisis con el propósito de identificar, controlar y/o minimizar las consecuencias en el medio ambiente, población y negocio como se muestra en la figura 3.

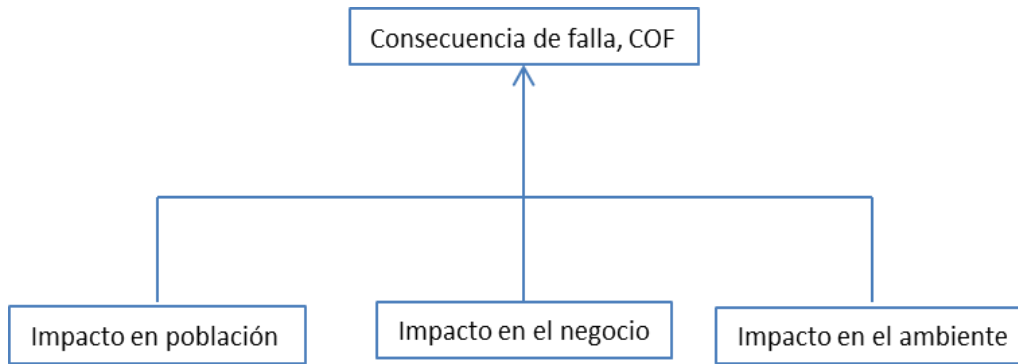


Figura 1. 3 Factores de consecuencias de falla (COF)

Fuente: *Pipeline Risk Management Manual, Muhlbauer Ken, second edition p. 7*

Peligro

Los términos peligro y riesgo suelen emplearse indistintamente, pero su concepción es diferente los cuales se complementan entre sí. El peligro, se define como la “característica física o química inherente al sistema, material, proceso, planta que tiene la capacidad de producir un daño a las personas, la instalación o el ambiente”. Se dice que un peligro constituye un riesgo solo si existe contacto.

Dado la anterior explicación, y retomando la definición de riesgo que es la combinación de la probabilidad y frecuencia de ocurrencia por la magnitud o severidad de sus consecuencias de uno o varios eventos y por otro lado tenemos al peligro como la característica física o química con el potencial de causar daño. Así también tenemos que cuando se habla de un accidente se hace referencia a lo que ya sucedió, es decir, el accidente es la consecuencia del riesgo una vez que este ocurre.

Accidente

Un accidente se puede describir como “cualquier suceso o acontecimiento que altera o interrumpe repentinamente el equilibrio entre el hombre y su trabajo y que es respuesta a una desviación intolerable sobre las condiciones de diseño de un sistema cuyos efectos repercuten en las personas, el medio ambiente y las instalaciones”.

Trabajos peligrosos: las actividades que, por razones de mantenimiento, se realizan en las instalaciones, equipos críticos o en áreas aledañas al mismo, y que pueden dar origen a un accidente mayor.

Accidente mayor: el evento no deseado que involucra a los procesos y equipos críticos con sustancias químicas peligrosas, que origina una liberación incontrolada de las mismas o de energía, y que puede ocasionar lesiones, decesos y daños en el centro de trabajo, la población aledaña o el ambiente.

Como anteriormente se mencionó, en la literatura encontraremos muchas definiciones sobre el término de riesgo, ya que muchos autores renombran términos y en otros casos incluyen otros, por ejemplo: riesgo = peligro × exposición × vulnerabilidad; por lo que es importante definir los términos de vulnerabilidad y exposición, ya que en algunos métodos mencionados posteriormente se presentan o se hace mención.

Vulnerabilidad

La Vulnerabilidad se define como la susceptibilidad o propensión de los sistemas expuestos a ser afectados o dañados por el efecto de un fenómeno perturbador, es decir el grado de pérdidas esperadas. En términos generales pueden distinguirse dos tipos: la vulnerabilidad física y la vulnerabilidad social.

La vulnerabilidad física se expresa como una probabilidad de daño de un sistema expuesto y es normal expresarla a través de una función matemática o matriz de vulnerabilidad con valores entre cero y uno.

Exposición

La Exposición o grado de exposición se refiere a la cantidad de personas, bienes y sistemas que se encuentran en el sitio y que son factibles de ser dañados. Por lo general se le asignan unidades monetarias puesto que es común que así se exprese el valor de los daños, aunque no siempre es traducible a dinero. En ocasiones pueden emplearse valores como porcentajes de determinados tipos de construcción o inclusive el número de personas que son susceptibles a verse afectadas.

El grado de exposición es un parámetro que varía con el tiempo, el cual está íntimamente ligado al crecimiento y desarrollo de la población y su infraestructura. En cuanto mayor sea el valor de lo expuesto, mayor será el riesgo que se enfrenta. Si el valor de lo expuesto es nulo, el riesgo también será nulo, independientemente del valor del peligro.

1.2 Definición de Análisis de Riesgos

Un análisis de riesgos puede variar de acuerdo a la profundidad que se desee alcanzar, así como los objetivos que se persiguen en cualquier proyecto. Es importante recalcar que el análisis de riesgos es un tema muy extenso, del cual se requieren de todos aquellos conceptos concernientes a complementarlo, los cuales deben estar bien definidos con la claridad necesaria. Sin embargo solamente nos remitiremos a una breve referencia de los muchos y complejos temas técnicos involucrados con el mismo.

El análisis de riesgos, es una disciplina que combina la evaluación de ingeniería del proceso con técnicas matemáticas que permiten realizar estimaciones de frecuencia y consecuencia de accidentes.

El análisis de riesgos en Inglés corresponde a los términos *risk analysis*, pero también puede encontrarse en ciertos textos los términos *hazard analysis* para hacer referencia al mismo.

En términos del marco de acción del análisis de riesgos para la seguridad en las industrias sus objetivos son la:

- Identificación de las fuentes de riesgo
- Jerarquización probabilística de eventos
- Modelación de los eventos de riesgo
- Evaluación cualitativa y cuantitativa de los riesgos con alto grado de certidumbre
- Toma de decisiones

Los beneficios que se obtienen de realizar el análisis de riesgos en las instalaciones son:

- Certificar el buen funcionamiento y condiciones de proceso y seguridad por medio de las empresas certificadoras de seguridad
- Mejorar el nivel de seguridad y productividad de las instalaciones industriales
- Mejorar la imagen corporativa
- Justificar las decisiones en materia de seguridad
- Disminución de los impactos al personal, al ambiente e instalaciones de los posibles accidentes que pueden ocurrir.

Como una acción para mejorar el nivel de seguridad en las actividades industriales, se puede afirmar que se trata de una necesidad inherente y plenamente justificada.

El análisis de riesgos permite identificar las desviaciones que existen en la instalación en estudio, ya sea proceso, instalación, equipos, personal, sustancias, etc.

En el desarrollo de los análisis de riesgos se emplean métodos, éstos se dividen en dos tipos: métodos cualitativos y cuantitativos, ambos se complementan entre sí. Los métodos, tanto cualitativos como cuantitativos, se seleccionan dependiendo de factores como: tipo de problema a solucionar, objetivos del estudio, resultados perseguidos, información disponible, riesgos probables y recursos disponibles.

La importancia de un análisis de riesgos radica en el empleo de criterios y herramientas metodológicas, los cuales deben ser correctamente aplicados a los proyectos en estudio. Es importante que los encargados de la seguridad elaboren el análisis, basándose en la situación real de la empresa, para poder establecer las medidas adecuadas a los riesgos que presenten.

Los documentos de ingeniería que son requeridos para realizar un análisis de riesgos en las industrias tienen gran valor, ya que respaldan la certidumbre de los resultados del análisis. Dentro de estos tenemos a los siguientes:

- Diagrama de flujo de proceso (DFP)
- Plano de localización general (PLG)
- Diagramas de tuberías e instrumentación (DTI's)
- Datos históricos de accidentes e incidentes
- Bases de diseño
- Condiciones de operación
- Manuales de operación
- Hojas de seguridad de materiales
- Auditorias de seguridad previas
- Programas de mantenimiento
- Datos de especificación de equipo y líneas
- Bitácora de operación y mantenimiento
- Balance de materia
- Manuales de fabricantes
- Diagramas eléctricos, etc.

1.2.1 Administración de riesgos

Es la aplicación de estrategias en la organización de los procesos y equipos críticos, a efecto de eliminar, reducir o controlar los riesgos identificados donde se manejen sustancias químicas peligrosas.

La administración de riesgos deberá contener los elementos siguientes:

- a) Una relación de los riesgos identificados, evaluados y jerarquizados, mediante el estudio de análisis de riesgos;
- b) Los criterios de aceptación de los riesgos, basados en la probabilidad de ocurrencia y consecuencias que ocasionen. Se podrán utilizar los criterios siguientes.

Tabla 1. 1 Criterios de aceptación del riesgo

Criterios de aplicación		
Aplicación	Ejemplos cualitativos	Ejemplos cuantitativos
Aceptación del riesgo	Matriz de riesgos	Individual y/o criterio de riesgo social
Aceptación de la probabilidad	Componentes de falla sencillos contra múltiples	Frecuencia del evento critico
Aceptación de las consecuencias	Limites de emisión	Niveles de concentración, umbrales en los limites de la propiedad
Aceptación del costo	Matriz de riesgos y umbral de costo	Criterio de costo beneficio. Evaluación matemática del riesgo

Cabe mencionar que en la administración de riesgos, la evaluación económica de un proyecto se realiza mediante el análisis de los indicadores económicos, que aunque no son parte fundamental del tema de tesis, es importante mencionarlos ya que éstos nos permiten conocer y evaluar los flujos de efectivo (ingresos-egresos) durante el tiempo. Conociendo estos indicadores y utilizando las metodologías de evaluación, podremos conocer el valor del proyecto durante el tiempo y con esto determinar el proceso a seguir.

La evaluación económica en los proyectos implica un gran esfuerzo ya que existen elementos fundamentales que determinan la recuperación económica, los cuales son: riesgo e incertidumbre. Si bien en los proyectos petroleros se definen perfiles de producción, montos de inversión y costos, también se deben de considerar si las localizaciones pueden ser productivas o no productivas y posteriormente recurrir a la probabilidad para evaluar el potencial de recursos existentes.

En la industria petrolera existen varios métodos para cuantificar el riesgo, la incertidumbre y evaluar económicamente los proyectos. Entre los más utilizados se encuentran:

1. Árboles de decisión,
2. Simulaciones estocásticas tipo Monte Carlo.
3. Opciones reales

Los indicadores de rentabilidad que más se utilizan en la industria petrolera son: valor presente neto (VPN), tasa interna de retorno (TIR), relación costo beneficio (C/B), Limite económico (LE), etc.

1.2.2 Matriz de riesgo

En esta etapa las consecuencias y frecuencias estimadas correspondientes a los eventos o escenarios seleccionados, deben caracterizarse y posicionarse en la matriz de riesgo.

En función del posicionamiento resultante en los cuadrantes de la matriz de riesgo, deben aplicarse los criterios de jerarquización, toma de decisiones y acciones, para llevar los riesgos a un nivel de razonamiento aceptable, previniendo y/o mitigando sus posibles consecuencias.

Los valores ponderados de frecuencia por consecuencia para cada una de las desviaciones en el análisis *HAZOP* se denominan un escenario y así se tiene un valor de riesgo para cada uno de ellos el cual está definido por la siguiente fórmula:

Tabla 1. 2 Riesgo = (consecuencia) x (frecuencia)

F R E C U E N C I A	Alta F4	B	B	A	A
	Media F3	C	B	B	A
	Baja F2	D	C	B	A
	Remota F1	D	D	C	B
		Menor C1	Moderada C2	Grave C3	Catastrófica C4
CONSECUENCIA					

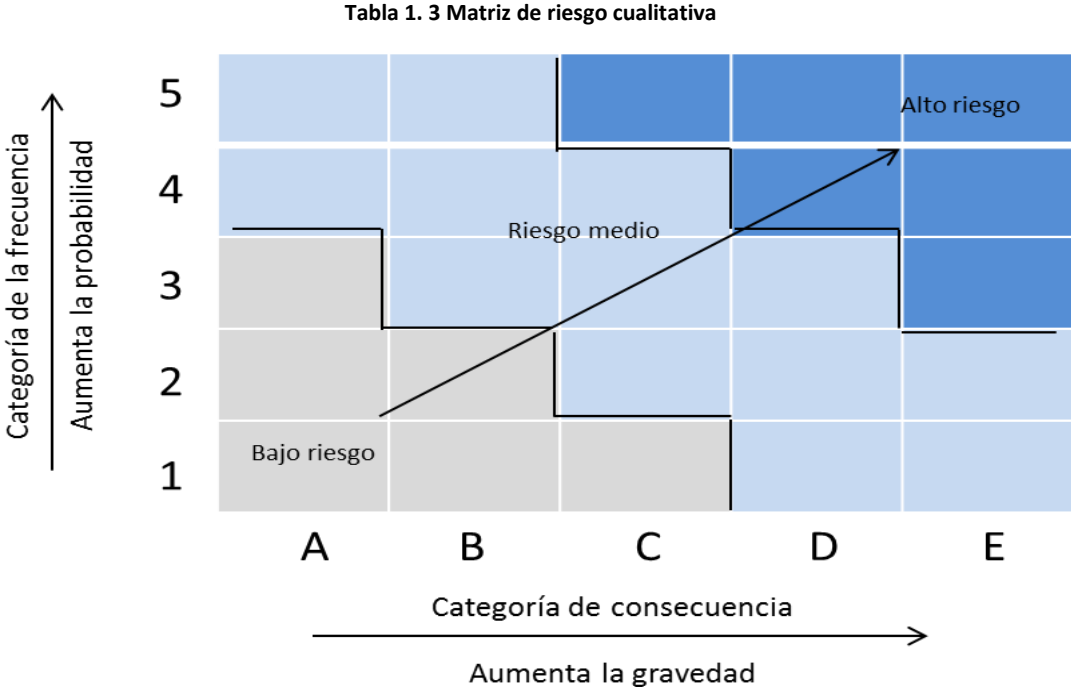
Matriz de riesgos, NRF-018-PEMEX-2007

Tipo A- Riesgo intolerable: El riesgo requiere acción inmediata; el costo no debe ser una limitación y el no hacer nada no es una opción aceptable. Un riesgo Tipo “A” representa una situación de emergencia y deben establecerse controles temporales inmediatos. La mitigación debe hacerse por medio de controles de ingeniería y/o factores humanos hasta reducirlo a Tipo C o de preferencia a Tipo D, en un lapso de tiempo menor a 90 días.

Tipo B- Riesgo indeseable: El riesgo debe ser reducido y hay margen para investigar y analizar a más detalle. No obstante, la acción correctiva debe darse en los próximos 90 días. Si la solución se demora más tiempo, deben de establecerse controles temporales inmediatos en sitio, para reducir el riesgo.

Tipo C- Riesgo aceptable con controles: El riesgo es significativo, pero se pueden compensar con las acciones correctivas en el paro de instalaciones programado, para no presionar programas de trabajo y costos. Las medidas de solución para atender los hallazgos deben darse en los próximos 18 meses. La mitigación debe enfocarse en la disciplina operativa y en la confiabilidad de los sistemas de protección.

Tipo D- riesgo razonablemente aceptable: El riesgo requiere control, pero es de bajo impacto y puede programarse su atención conjuntamente con otras mejoras optativas.



Example Risk Matrix Using Probability and Consequence Categories to Display Risk Rankings

1.3 Métodos de Análisis de Riesgos

Debido a los accidentes industriales en los últimos años, parece claro que las personas, los bienes materiales y el medio ambiente que se encuentran próximos a un establecimiento industrial en el que se encuentren sustancias peligrosas, están sometidos a riesgos por la sola presencia de dicha instalación industrial y de las sustancias que se utilizan. La cuestión clave está en decidir qué tipo y nivel de riesgos estamos dispuestos a admitir en contrapartida a los beneficios que supone la utilización de muchos productos fabricados en este tipo de industrias.

Por tanto, para poder decidir si este tipo de riesgos es aceptable, se requiere estimar su magnitud, por lo que se hace necesario realizar un análisis sistemático y lo más completo posible de todos los aspectos que implica para la población, el medio ambiente y los bienes materiales, la presencia de un determinado establecimiento, las sustancias que utiliza, los equipos, los procedimientos, etc. Se hace inevitable analizar estos riesgos y valorar si su presencia es o no admisible. Es lo que se denomina análisis de riesgos. Se trata de estimar el nivel de peligro potencial de una actividad industrial para las personas, el medio ambiente y los bienes materiales, en términos de cuantificar la magnitud del daño y de la probabilidad de ocurrencia.

Los análisis de riesgos, por tanto, tratan de estudiar, evaluar, medir y prevenir los fallos y las averías de los sistemas técnicos y de los procedimientos operativos que pueden iniciar y desencadenar sucesos no deseados (accidentes) que afecten a las personas, los bienes y el medio ambiente.

1.3.1 Evolución de los análisis de riesgos

Entre 1910 y 1920 hacen su aparición los primeros métodos para el análisis de riesgo en operaciones industriales, producto de las experiencias adquiridas a través de accidentes ocurridos. El primero se conoce como investigación de accidentes, este método que tiene su principio en la definición de las causas básicas que dan lugar a los accidentes. Este método dio origen a la generación de códigos y normas, en donde se establecen parámetros generales aceptados para riesgos reconocidos.

El segundo método desarrollado e implementado fue Inspecciones Planeadas y no planeadas y se complementa con el uso de Listas de verificación o *Check lists*, a través de éstas se pretende identificar los riesgos. La revisión al diseño de los procesos puede ser llamada Verificación Primaria de Seguridad.

Posteriormente se introdujeron algunas formas de revisiones de seguridad secundarias tal como el método “*What if?*” (¿Qué pasa si?), la cual empezó a utilizarse por grupos multidisciplinarios en la revisión de factores no detectables para la identificación de riesgos.

El desarrollo formal de sistemas de análisis de riesgo se inició en la Industria Aeroespacial, como respuesta natural a la magnitud de las consecuencias de ocurrir una falla. Le siguieron la Industria Nuclear y Electrónica en la implantación de éstas.

A principios de los 60's, se desarrolló la metodología conocida como *Failure Modes and Effects Analysis* (FMEA, Análisis de modo y efecto de fallas), la cual es la simple formalización del método “*What if?*”, este método puede ser aplicada a procesos y sistemas complejos.

En 1962 *Bell Laboratories* desarrolló el método *Fault Tree Analysis* (análisis de árbol de fallas), la cual consiste en el análisis y cuantificación de un diagrama lógico en el que se identifica la secuencia de todos los eventos que pueden dar como resultados una falla.

Dentro de la división de Mond de ICI, la cual es una empresa química de origen británico, fue creado otro método que se conoce como *Hazard and Operability Studies* (HAZOP, Estudio de riesgo y operatividad) el cual originalmente se aplicaba en el diseño de nuevas unidades operativas o modificaciones a las existentes.

Es importante destacar que algunos autores emplean los términos técnicas, métodos, sistemas o metodologías de análisis de riesgo como sinónimos. A continuación se describen algunas observaciones para una mejor comprensión de dichos términos.

- Las técnicas de análisis de riesgo son la aplicación de un conocimiento especial en materia de análisis de riesgos, cada técnica en particular tiene sus bases y características propias.
- Los métodos de análisis de riesgos se caracterizan porque emplean herramientas matemáticas, de lógica y de sistemas computarizados de simulación que permiten estimar en forma semicuantitativa las consecuencias, la frecuencia de accidentes, las fallas, etc.
- Los sistemas de análisis de riesgos se desarrollan basados en un conjunto de principios que rigen el procedimiento con el que se ha de efectuar el análisis.

- Las metodologías de análisis de riesgos es un grupo de técnicas que ha de emplearse para cumplir con los objetivos planteados en el proyecto de estudio, así, para el desarrollo de algunas técnicas se requiere que otras técnicas se hayan realizado previamente.

1.3.2 Etapas del análisis de riesgos

Analizar riesgos, en el contexto de la seguridad industrial, significa desarrollar una estimación cualitativa y cuantitativa del nivel de peligro potencial de una actividad, referido tanto a personas como a bienes materiales, en términos de la magnitud del daño y de la probabilidad de que tenga lugar. Las etapas del análisis de riesgos pueden variar según el tipo de estudio adoptado. Típicamente se cuenta con las siguientes etapas:

- Identificación y evaluación de riesgos
- Análisis de consecuencias
- Cuantificación de las consecuencias

A. Identificación y Evaluación de riesgos

Para la identificación de riesgos, se recolectarán datos precisos acerca de sustancias presentes, el proceso y equipo, y distribución topográfica, meteorológica y demográfica de los alrededores del sistema a estudiar. Un inventario completo de sustancias presentes, incluyendo materia prima, aditivos, catalizadores, productos y residuos. El inventario debe especificar: cantidad, localización, uso, etiquetado y tipo de almacenamiento.

Para la planta y equipo de proceso, se debe de contar con Diagramas de Proceso, Diagramas de Tuberías e Instrumentación (DTI's), actualizados. Se puede mencionar junto con los DTI's, la edad de la planta y modificaciones, detalles de ingeniería, ya que pueden servir como datos. Aparte de los DTI's con mayor precisión, la edad y condiciones del equipo, el estado de mantenimiento, y los procedimientos de operación del proceso, son puestos en práctica.

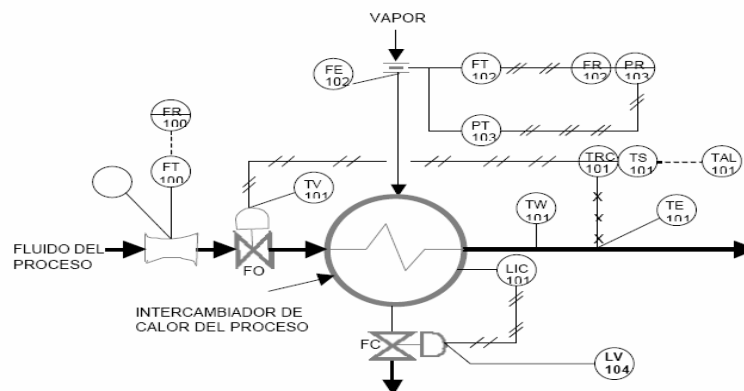


Figura 1. 4 DTI de un proceso simple

La identificación de riesgos es el paso más importante del análisis, puesto que cualquier riesgo cuya identificación sea omitida no puede ser objeto de estudio. De manera análoga, una vez identificado un riesgo importante, es probable que se tomen medidas para reducirlo, incluso si la evaluación cuantitativa posterior es defectuosa. Se comienza con la recolección de datos que definen el procedimiento del sistema, aunque también suele usarse el análisis de causa y efecto. Muchas técnicas formales pueden ser desarrolladas para el análisis sistemático de sistemas complejos.

En la evaluación de riesgos se determina la posibilidad de iniciación/propagación de acontecimientos y accidentes por causas internas y externas y la frecuencia o probabilidad de ocurrencia.

B. Análisis de consecuencias

Se entiende por análisis de consecuencias la evaluación cuantitativa de la evolución espacial y temporal de las variables físicas representativas de los fenómenos peligrosos en los que intervienen sustancias peligrosas, y sus posibles efectos sobre las personas, el medio ambiente y los bienes, con el fin de estimar la naturaleza y magnitud del daño.

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

- Fugas o derrames incontrolados de sustancias peligrosas: líquidos o gases en depósitos y conducciones
- Evaporación de líquidos derramados
- Dispersión de nubes de gases, vapores y aerosoles
- Incendios de charco o "*Pool fire*"
- Dardos de fuego o "*Jet fire*"
- Deflagraciones no confinadas de nubes de gases inflamables o "*UVCE*"
- Estallido de depósitos o "*BLEVE*"
- Explosiones físicas y/o químicas
- Vertido accidental al medio ambiente de sustancias contaminantes, procedente de fugas o derrames incontrolados

C. Cuantificación de las consecuencias

Una vez conocidos los efectos del accidente (radiación, onda de presión, etc.) hay que estimar cuáles serán las consecuencias sobre la población, las instalaciones y el medio ambiente. Se deberán estimar y cuantificar las posibles consecuencias de los escenarios producidos por las hipótesis de accidentes. Los resultados de esta estimación deberán servir de base para el análisis del ambiente vulnerable en las instalaciones estudiadas. En este caso y para el estudio de esta tesis sólo tomaremos la parte de la identificación y evaluación de riesgos.

Capítulo 2 Las Metodologías para el análisis de riesgos

Muchos de los métodos y procedimientos que se desarrollan para los análisis de riesgo han nacido en la industria química, debido al esfuerzo de sus hombres para preservar el bienestar dentro y fuera del orbe industrial.

Se pueden agrupar los conceptos relacionados con los métodos de análisis de riesgo a manera de una clasificación en función de los siguientes factores:

2.1 Tipos de clasificación

2.1.2 Clasificación en función del tiempo

Es el testigo de los eventos ocurridos durante todos los ciclos de vida de las operaciones. La clasificación en función de este factor sería la siguiente:

- Métodos Históricos: se basan en experiencias de accidentes pasados por ejemplo la técnica de análisis histórico de accidentes.
- Métodos empíricos: se basan en experiencias, por ejemplo la técnica ¿Qué pasa si?
- Métodos analíticos: se basan en modelaciones de eventos, simulación de un evento, por ejemplo los modelos de evaluación de consecuencias.

2.1.3 Clasificación en función de la dirección en que se desarrollan los análisis

Esta divide a los métodos en:

- Métodos deductivos: se conocen como métodos de arriba hacia abajo. Parten de la definición del evento mayor, se analiza hacia atrás y de manera lógica toda la secuencia que produjeron un acontecimiento. Por ejemplo la técnica de árbol de fallas.
- Métodos inductivos: se conocen como métodos de abajo hacia arriba. Trabajan en la dirección del efecto mayor. Están dirigidos a descubrir los efectos partiendo de sus posibles causas. Por ejemplo la técnica de árbol de eventos.

2.1.4 Clasificación a medida que se van cumpliendo objetivos

Los que permiten la aplicación de las técnicas de acuerdo al objetivo a cumplir por cada una de ellas.

- Identificación de riesgos, por ejemplo la técnica de *HAZOP*
- Evaluación de riesgos, por ejemplo la técnica *FMEA*
- Modelación, por ejemplo los modelos de evaluación de áreas de afectación y empleo de simuladores comerciales.

2.1.5 Clasificación según el carácter de análisis

Es necesario distinguir entre el riesgo que objetivamente existe y el riesgo percibido por los posibles sujetos pasivos. Así tenemos:

- Métodos cualitativos: para la identificación de riesgos basados en la observación y experiencia. Por ejemplo la técnica de la lista de verificación ó *safety check lists*.
- Métodos cuantitativos: para evaluación de los efectos de los riesgos existentes y los identificados como posibles riesgos. Por ejemplo el índice Mond de fuego, explosión y toxicidad.

2.2 Definición de los métodos

2.2.1 Métodos Cuantitativos o semicuantitativos

Los que introducen una valoración cuantitativa respecto a las frecuencias de ocurrencia de un determinado suceso y se denominan métodos para la determinación de frecuencias, o bien se caracterizan por recurrir a una clasificación de las áreas de una instalación en base a una serie de índices que cuantifican daños: índices de riesgo. Entre ellos tenemos los siguientes:

- Método cuantitativo en la norma (IEC 61508)
- Sistema integrado de seguridad (*SIL*)
- Método de gráficos de riesgo
- Método de matriz de riesgo
- *LOPA*
- Índices de Riesgos
- Índice *Dow* y *Mond*
- Calificación relativa (*ranking* relativo).

2.2.2 Definición de los métodos comparativos

Se basan en la utilización de técnicas obtenidas de la experiencia adquirida en equipos e instalaciones similares existentes, así como en el análisis de sucesos que hayan ocurrido en establecimientos parecidos al que se analiza. Entre ellos tenemos a los siguientes:

- Manuales técnicos o Códigos y normas de diseño
- Listas de comprobación o “*safety check lists*”
- Análisis histórico de accidentes
- Análisis preliminar de riesgos o *PHA*

Algunas empresas elaboran manuales técnicos internos que especifican cómo diseñar, distribuir en planta, instalar, operar, etc., los equipos utilizados en sus instalaciones. El contenido de los manuales puede variar considerablemente, aunque siempre cumpliendo con la legislación local y nacional, así como las normas habituales de las distintas ramas de la ingeniería. Estos están disponibles, compilados en forma de Códigos y Normas, proporcionando una experiencia que ha de aumentar toda la documentación de la industria, entre estos se encuentran:

- ASME, American Society of Mechanical Engineers, Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (US)
- API, American Petroleum Institute, Instituto Americano del Petróleo (US)
- ASTM, American Society for Testing and Materials, Sociedad Americana de Pruebas y Materiales (US)
- NFPA, National Fire Protection Association, Asociación Nacional de Protección Contra incendios (US)
- AIChE, American Institute Chemical Engineers, Instituto Americano de Ingenieros Químicos (US)

El utilizar manuales técnicos internos disponibles, así como los códigos y normas de ingeniería aseguran la aceptación de un diseño a partir de su evaluación. Si como resultado de una evaluación se encuentran diferencias en un diseño, respecto de lo que es habitual, es necesario examinarlo con todo cuidado ya que es una fuente de posibles riesgos. Este tipo de análisis es válido en diseños iniciales así como en las modificaciones posteriores de los mismos.

2.2.3 Definición de los métodos cualitativos y semicualitativos

Se caracterizan por no recurrir a cálculos numéricos. Pueden ser métodos comparativos y métodos generalizados. Los métodos generalizados de análisis de riesgos, se basan en estudios de las instalaciones y procesos mucho más estructurados desde el punto de vista lógico-deductivo que los métodos comparativos. Normalmente siguen un procedimiento lógico de deducción de fallos, errores, desviaciones en equipos, instalaciones, procesos, operaciones, etc. que trae como consecuencia la obtención de determinadas soluciones para este tipo de eventos. Entre ellos tenemos a los siguientes:

- Análisis “*What if...?*”
- Análisis de árbol de fallas, *FTA*
- Análisis de árbol de eventos, *ETA*
- Análisis de modo y efecto de fallas, *FMEA*
- Estudio de riesgo y operatividad, *HAZOP*

2.3 Métodos Cuantitativos

2.3.1 Capa de protección

El término capa de protección fue definido en la Comisión Internacional Electrotécnica (IEC 61511) cumpliendo con cuatro características. Específico, independiente, confiable y auditable.

La norma (IEC 61511) es específica porque sólo requiere de un sistema de gestión del sistema instrumentado de seguridad (SIS) identificado, es independiente por la combinación de sensores, solucionadores lógicos, elementos finales y sistemas de apoyo que se han diseñado y gestionado para conseguir un nivel de integridad de seguridad especificado (SIL). Es confiable porque podría aplicar una o más funciones de seguridad instrumentada (FIS) que se han diseñado e implementado para hacer frente a un peligro específico o evento peligroso. Es auditable por que el sistema de gestión del (SIS) debe definir un propietario/operador para evaluar, diseñar, verificar, instalar, validar, operar, mantener y mejorar continuamente su sistema instrumentado de seguridad (SIS).

El conjunto de acciones como el sistema básico de control, las alarmas de intervención manual, el sistema instrumentado de seguridad (SIS), protección activa, protección pasiva y la respuesta de emergencia es el conjunto de acciones que crea un sistema de seguridad, con la finalidad de que el proceso industrial en caso de ser modificado o se le añada otra etapa de producción simplemente la o las capas asociadas a este tendrán que modificarse, en lugar de que todo el sistema de seguridad lo haga; lo cual representa una ventaja significativa en cuanto al ahorro de tiempos muertos a causa de mantenimientos y este a su vez un ahorro económico.

2.3.2 Sistemas Instrumentados de Seguridad (SIS)

El (SIS) constituye la última capa de seguridad preventiva y su correcto diseño, instalación, pruebas y mantenimiento (ciclo de vida) son la garantía de su adecuado funcionamiento cuando, bajo demanda, le sea requerido. Si esta capa falla, el evento peligroso se desencadenará produciendo fugas, explosiones, incendios, etc. con las consecuencias que esto puede acarrear en costes y/o pérdidas humanas.

Un sistema instrumentado de seguridad está compuesto de cualquier combinación de sensor(es), solucionador(es) lógicos y elemento(s) final(es). Los tres componentes deben de estar presentes para que se efectúe correctamente el funcionamiento.

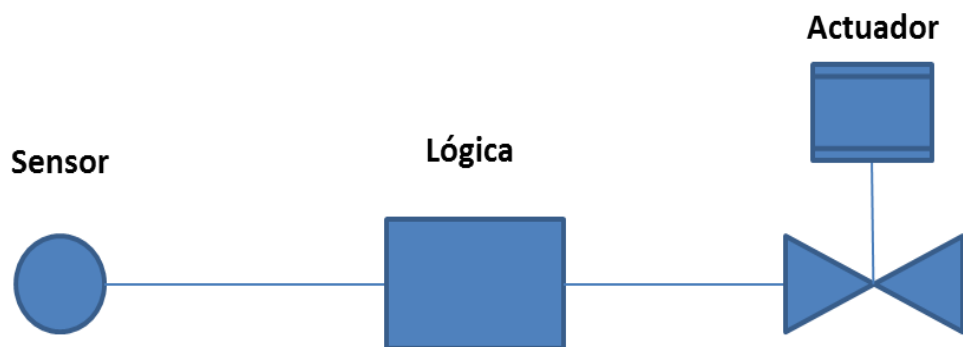


Figura 2. 1 Composición básica de un sistema de seguridad (SIS)

2.3.3 Sistema integrado de seguridad (SIL)

El sistema instrumentado de seguridad, por otro lado, existe para supervisar que no haya condiciones del proceso peligrosas para tomar las medidas adecuadas, generalmente parando el proceso.

El sistema instrumentado de seguridad también está separado del sistema de control básico del proceso. Esta separación refleja no sólo sus diferentes funciones, sino también la importancia de mantener la integridad del sistema instrumentado de seguridad incluso cuando se cambia con frecuencia el sistema de control básico del proceso. Las normas de seguridad permiten que haya comunicaciones controladas cuidadosamente entre los componentes y los sistemas, así que se puede implementar una instalación integrada, pero independiente, del sistema de control básico del proceso y el sistema instrumentado de seguridad.

El nivel (SIL) es fijado de acuerdo a la tabla, bajo los criterios de un experto.

Tabla 2. 1 Niveles de integridad de seguridad

Nivel de integridad de seguridad NIL (SIL)	Probabilidad de falla sobre demanda promedio (PFDave)
4	10,000 a \leq 100,000
3	1,000 a \leq 10,000
2	100 a \leq 1,000
1	10 a \leq 100

Adaptado de IEC 61511

Esta metodología utiliza cálculos cuantitativos para determinar el riesgo del equipo bajo control, pero para determinar la selección del nivel del SIL es un método de aproximación ya que requiere de un buen juicio para seleccionar exactamente en qué rango se selecciona el (SIL), de acuerdo a los siguientes puntos:

- El objetivo del nivel de integridad (SIL) 1, es el de evitar o mitigar riesgos y accidentes en el instrumento de control.
- El objetivo del nivel de integridad (SIL) 2, es el de evitar o mitigar riesgos y accidentes en el instrumento de control al igual que el operario.
- El objetivo del nivel de integridad (SIL) 3, es el de evitar o mitigar riesgos y accidentes en el instrumento de control, operario e instalaciones de la planta de procesos.

- El objetivo del nivel de integridad [SIL] 4, es el de evitar o mitigar riesgos y accidentes en el instrumento de control, operativo, instalaciones de la planta de procesos y comunidades aledañas. Cabe destacar que este nivel de integridad de seguridad sólo es aplicable en plantas nucleares.

2.3.4 Método de matriz de riesgo

La metodología de matriz de riesgo es una de las más usadas para el análisis de riesgos por su fácil manejo. Consiste en la identificación de peligros asociados a cada fase, etapa o capa del proceso y la posterior estimación de los riesgos teniendo en cuenta conjuntamente la probabilidad y las consecuencias en el caso de que el riesgo se materialice.

La estimación de riesgo [ER] vendrá determinada por el producto de la frecuencia (F) o la probabilidad (P) de que un determinado riesgo produzca un cierto daño, por la severidad de las consecuencias (C) que pueda producir dicho riesgo. En la tabla, los valores asignados para la probabilidad y las consecuencias, se toman en cuenta de acuerdo con los siguientes criterios:

Tabla 2. 2 Valores asignados para la probabilidad y consecuencias

Probabilidad de que ocurra el daño	Severidad de las consecuencias
Alta: siempre o casi siempre	Alta: extremadamente dañino o mortal (muerte, amputaciones, intoxicaciones, lesiones muy graves, enfermedades crónicas graves, etc.)
Media: algunas veces	Media: dañino (quemaduras, fracturas leves, sordera, dermatitis, etc.)
Baja: raras veces	Baja: ligeramente dañino (cortes, molestias, irritaciones de ojo por polvo, etc.)

Seguridad e higiene en el trabajo

Debe realizarse un estudio más profundo y adoptar medidas de control para las situaciones de riesgo cuyo valor de (ER) se encuentre en la zona sombreada de la matriz de análisis de riesgos que se muestra en la tabla.

Tabla 2. 3 Relación de frecuencia y consecuencia

		Consecuencia o severidad (Pr)		
		Menor (A) 1	Serio (B) 2	Extenso (C) 3
Probabilidad (Pb)	Baja 3	SIL 2	SIL 3	SIL 3
	Media 2	SIL 1	SIL 2	SIL 3
	Alta 1	NR	SIL 1	SIL 3

Análisis de capas de protección

Las consecuencias pueden ser expresadas en términos de:

- Pérdidas humanas
- Pérdidas económicas
- Pérdidas ambientales
- Pérdida de imagen de la empresa

La frecuencia puede ser expresada en términos de la frecuencia en que se presenta el evento indeseable, alto, medio o bajo.

El problema con la metodología de matrices de riesgo se presenta en la selección del (SIL) objetivo porque está basada en una evaluación cualitativa y algunas empresas han calibrado sus matrices de acuerdo a su experiencia, tipo de aplicación y pueden proveer una guía rápida en la evaluación del nivel (SIL) objetivo, sin embargo dejar a criterio de personas la selección del (SIL) Objetivo no es recomendable ya que pueden perderse de vista factores externos o experiencias externas en procesos similares que puedan representar un potencial problema de combinaciones de eventos no previstos por el analista.

Las matrices de frecuencia son muy utilizadas en el análisis de peligros y operación HAZOP el cual es un método analítico cualitativo para la determinación de los peligros en los procesos, tal vez por esta razón se ha extendido el uso de matrices calibradas para la determinación de los niveles de (SIL) objetivo.

2.3.5 Método de análisis de capas de protección (LOPA)

La técnica análisis de capas de protección (LOPA) es un método de análisis de riesgos, que fue introducido en la década de los 90's publicado por Center of Chemical Process Safety (CCPS), permite determinar y valorar el riesgo de forma intuitiva y reproducible, a través de cada una de las capas de protección que la conforman empezando desde el diseño del proceso, sistema básico de control, pasando por alarmas de intervención manual, Sistema instrumentado de seguridad (SIS), protección activa, protección pasiva y concluyendo en la última capa de seguridad llamada respuesta de emergencia. Donde a su vez, cada capa está compuesta de equipos y/o procedimientos de control que actúan conjuntamente con las otras capas de protección ya antes mencionadas para controlar y/o mitigar los riesgos en los procesos, que pueden ser de diferentes tipos, como lo es en la industria química, petrolera, metalúrgica, de refinación.

El análisis de capas de protección (LOPA) tiene en cuenta que los accidentes ocurren de diversas formas, por esta razón se debe de envolver en capas de seguridad las etapas del proceso, para que en conjunto actúen de manera eficaz contra cualquiera de estos acontecimientos indeseables, capa por capa tiene vulnerabilidades que de una forma más detallada se determinará, pero si se acopla de forma homogénea todas estas capas de seguridad, se volverá estable y fuerte contra las diferentes fallas y eventos del proceso industrial.



Figura 2. 2 Capas de protección LOPA

Tabla 2. 4 Comparación LOPA-HAZOP

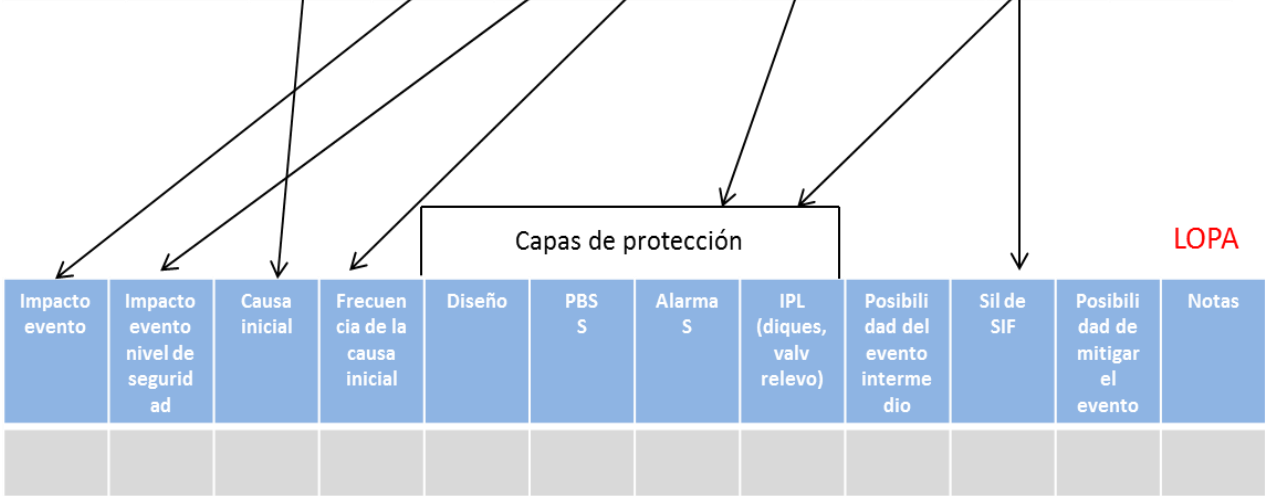
Información requerida por LOPA	Información desarrollada en el HAZOP
Impacto de los eventos	Consecuencias
Nivel de seguridad	Severidad de las consecuencias
Evento iniciante	Causa
Probabilidad del evento iniciante	Frecuencia de la causa
Capas de protección	Salvaguardas existentes
Requerimientos de mitigación adicional	Recomendaciones de nuevas salvaguardas

Fuente: Layer of protection analysis

Tabla 2. 5 Comparación entre los métodos HAZOP y LOPA

HAZOP

Palabra guía	Desviación	Posibles causas	Consecuencias	S	L	Salvaguardas	Comentarios	Acciones requeridas	Responsable



2.3.6 Índices de riesgos

Un inventario completo puede enlistar pocas sustancias que a su vez puedan ser potencial causa de incidentes catastróficos y algunos que no lo sean. El primer paso para hacer dicho inventario, es desarrollar escenarios de eventos superiores a la lista de potenciales de riesgo. Los índices de riesgo severos, pueden ser desarrollados para este propósito. El índice de vapor peligroso, es basado en la concentración de vapor saturado dividido por los valores umbral limite (TLV, por sus siglas en inglés). Algunas veces, los TVL's están basados en la variación de puntos finales, mejor dicho en la gran concentración de toxicidad que se obtiene de una fuga. El índice de sustancias peligrosas (SHI, por sus siglas en Inglés), basado en la presión de vapor de las sustancias, esto es, concentraciones grandes de toxicidad (ATC).

2.3.7 Índice Dow y Mond

Proporcionan un método directo y relativamente simple de estimar el riesgo global asociado con una unidad de proceso, así como jerarquizar las unidades en cuanto al nivel de riesgo. No son por lo tanto, sistemas que se utilicen para señalar riesgos individuales, sino que proporcionan un valor numérico que permite identificar áreas en las que el riesgo potencial alcanza un nivel determinado.

El índice Dow de incendio y explosión, se utiliza ampliamente en la industria química, debido a que permite realizar una estimación algo más fácil de visualizar por el uso preferente de gráficas frente a ecuaciones logrando con esto, contabilizar riesgos intrínsecos del material, las cantidades manejadas, cantidades de operación y en la más reciente edición tiene en cuenta, si bien de manera marginal, aspectos de toxicidad, con la inclusión de una penalización específica.

Metodología.

1. Identificar en un plano de localización General, todas las unidades de proceso que puedan representar riesgos mayores. Las unidades de proceso que pueden considerarse riesgosas son: tanques de almacenamiento, compresores, intercambiadores de calor, bombas, reactores, etc.
2. Determinar el factor material (MF) de cada uno de los equipos. El factor material es un número comprendido entre el 1 y 40, que se asigna a la sustancia que se procesa en la unidad, de acuerdo con el potencial intrínseco de esta etapa para liberar energía en un incendio o en una explosión.
3. Determinar los factores de riesgo concurrentes, los cuales pueden ser de dos tipos:
 - Riesgos generales (**F1**), como la presencia de reacciones exotérmicas o la realización de operaciones de carga y descarga
 - Riesgos específicos del proceso (**F2**), como la operación cerca del intervalo de inflamabilidad o a presiones distintas de la atmosférica.

La contabilización de los factores de riesgo ocurrentes en el proceso, se realiza asignando una penalización en cada uno de los apartados:

F1 = 1 + Σ (penalización por cada uno de los riesgos generales)

F2 = 1 + Σ (penalización por cada uno de los riesgos especiales)

4. Una vez calculado **F1** y **F2**, se está en condiciones de obtener el factor de riesgo de la unidad (**F3**) como producto de las anteriores que generalmente están comprendidos entre el 1 y 8 los cuales se utilizan para hallar el valor de índice de incendio y explosión (**IIE**)
5. Calcular el área de exposición; esta área es un círculo ideal dentro del cual estarán los equipos e instalaciones que pueden verse afectados por un incendio o por una explosión en la unidad de proceso que se evalúa.

El radio del círculo ideal de exposición se calcula de acuerdo con la ecuación:

$$R(m) = 0.256 * IIE$$

Con base en estos resultados, puede realizarse una primera estimación de las pérdidas materiales que puedan resultar de un accidente estableciendo una jerarquización de riesgo para las distintas unidades.

Ventajas

Intenta cuantificar anticipadamente daños potenciales por incendio y explosión y permite tener una reducción de riesgos potenciales a una valoración económica que permite jerarquizar decisiones.

2.3.8 Calificación relativa (ranking relativo)

Son calificaciones relativas que se les asignan a los riesgos en una instalación de procesos.

1. *Propósito:* es proporcionar una medida relativa de riesgo para una instalación.
2. *Aplicaciones:* Durante la etapa de diseño, modificación u operación de instalaciones.
3. *Resultados:* Calificaciones relativas de varias unidades de proceso en la instalación basándose en el riesgo y los resultados son cualitativos
4. *Datos requeridos:*
 - Planos de localización general del equipo (actuales)
 - Conocimiento completo de los procesos y del equipo de proceso involucrado
 - Conocimiento completo del equipo de mitigación de riesgos y técnicas disponibles
 - Formas adecuadas y guías índices para asignar calificaciones.

5. *Personal*: La calificación en cada unidad de proceso puede ser hecha por un ingeniero con experiencia en equipo y procesos.
6. *Tiempo requerido*: una vez que el personal está familiarizado con el sistema, las unidades de proceso simples pueden ser calificadas en pocas horas
7. *Guías para la aplicación*:
 - Identificar sobre un plano de localización general del equipo las unidades de proceso que puedan producir grandes riesgos.
 - Determinar las calificaciones de riesgo para cada unidad basándose en el material procesado en cada unidad
 - Evaluar la contribución de los factores de riesgo.
 - Calcular el factor de riesgo en la unidad
 - Determinar los índices de fuego y explosión
 - Determinar el área de exposición
 - Calcular el daño máximo probable a la propiedad
 - Estimar la máxima probabilidad de días de paro y el costo de interrupción del negocio.

2.4 Métodos comparativos

2.4.1 Lista de Verificación o *safety chek lists*

Las listas de verificación también son conocidas como listas de comprobación y hace uso de la experiencia acumulada por la industria. Una lista de verificación es una lista de preguntas acerca de la organización de la planta, la operación, mantenimiento y otras áreas de interés. La lista proporciona una serie de puntos de reflexión y preguntas que detecta aspectos que pueden haber pasado desapercibidos.

El propósito general durante las diferentes etapas del proyecto es asegurar la concordancia con las regulaciones o normas nacionales e internacionales. Los resultados de este tipo de análisis son cualitativos y proporcionan el conocimiento de las diferencias del proceso con las normas. Esta metodología puede ser utilizada durante el diseño preliminar de algún proyecto, durante la construcción y operación de una planta o durante la realización de paros y arranques de la misma. En general es aplicable en cualquier etapa del proceso.

La lista se puede emplear para comparar el estado de un sistema con una referencia externa, identificando carencias de seguridad en algunos casos o las áreas que requieren un estudio más profundo. Las listas se pueden aplicar a la evaluación de equipos, materiales o procedimientos, y el grado de detalle varía considerablemente desde las generales a las que se elaboran para equipos, procesos o procedimientos muy específicos.

2.4.2 Análisis histórico de accidentes

Esta técnica hace uso de los datos recogidos en el pasado sobre accidentes industriales. La información sobre accidentes ocurridos en el pasado puede proceder de fuentes muy diversas, tales como datos de la misma industria, informaciones de prensa, entrevistas con testigos del accidente e informes de las comisiones de investigación

Otras fuentes disponibles son los informes de compañías aseguradoras, publicaciones científicas, sumarios judiciales, etc. Diversas organizaciones públicas y privadas han confeccionado bancos de datos sobre accidentes industriales, en los que la información disponible se ha organizado para facilitar su consulta. Estas últimas fuentes proveen de los accidentes: el tipo, las circunstancias en las que tienen lugar, la cantidad y naturaleza de las(s) sustancia(s) involucrada(s), la localización, las causas y consecuencias, la estimación de daños a las personas y a la propiedad.

Algunos bancos de información internacional relevantes para la industria son:

- AICHE, Instituto americano de ingenieros químicos (US)
- CHAFINCH, banco de datos de accidentes, incidentes, fallas y riesgos químicos (UK)
- MARS, Sistema de reportes de accidentes mayores (UE)
- MHIDAS, Servicio de datos de incidentes de riesgo mayor (UK)
- NIOSH, Instituto Nacional para la seguridad y salud ocupacional (US)
- OREDA, Datos de confiabilidad para equipos costa afuera (NOR)
- SONATA, Sumario de accidentes notables en actividades técnicas (ITA)
- WOAD, Banco de datos de accidentes mundiales en alta mar (NOR)
- CENAPRED, Centro nacional de prevención de desastres (MEX)

Este método se refiere a accidentes indudablemente reales, por lo que es útil en la identificación de riesgos concretos. Sirve de dirección a otras industrias con procesos o instalaciones análogas. Este método no cubre todas las posibilidades importantes, ya que, muchos de los accidentes se registran de forma restringida o no se registran.

Este método es valioso para una verificación a posteriori de los modelos que se dispone en la actualidad para la predicción de las consecuencias de accidentes.

Análisis de datos de bitácoras.

El análisis de datos de bitácoras tiene su principio en la obtención de las probabilidades de ocurrencia del evento no deseado. Este método hace uso del documento conocido como Bitácoras de Operación y Mantenimiento del cual se han de obtener datos numéricos respecto a fallas, equipos, tiempo de operación, etc. Estos datos son útiles en la determinación de la eficiencia en la operación de la unidad de estudio

Este método es considerado como auxiliar, ya que, los resultados de éste son de gran utilidad para el método del árbol de fallas. Los datos de las bitácoras de operación y mantenimiento y los resultados generados a partir de los cálculos con estos datos, son tabulados para una mejor interpretación y para facilitar el uso del método del árbol de fallas. El resultado más útil es la tasa de fallas en los equipos

Las bitácoras de operación y mantenimiento han de contener, entre otros datos, el número de fallas en los sistemas, el número de fallas ocurridas por errores humanos, las fallas por envejecimiento, fallas por eventos externos, fallas por esfuerzo excesivo, fallas de las características de los componentes, etc.

2.4.3 Análisis "What if...?": ¿Qué pasaría si...?

Metodología general para el análisis de riesgos empleando *what if?*

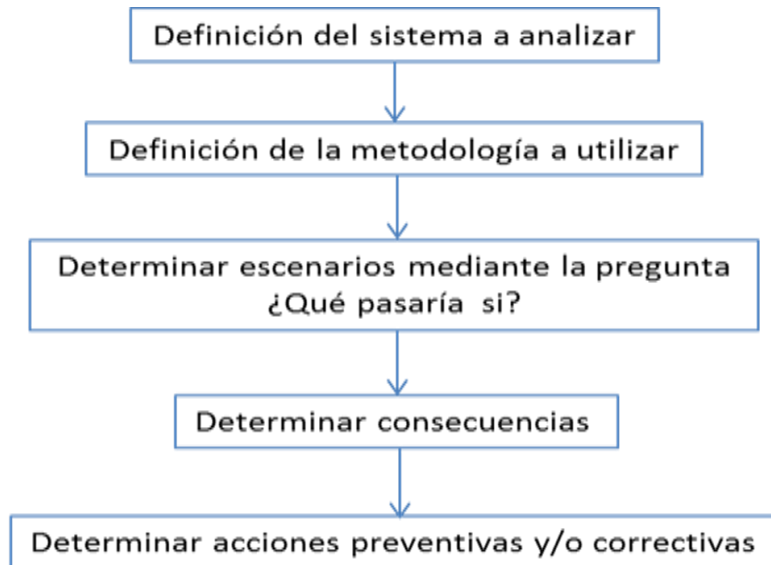


Figura 2.3 "What if"

Esta técnica de carácter cualitativo. El análisis "What if?" es comparativamente mucho menos estructurado que el análisis HAZOP, aunque su aplicación presente la forma tabular

Las preguntas se realizan de forma empírica, sobre áreas concretas de acuerdo a la sección específica a evaluar (seguridad eléctrica, protección contra incendios, instrumentación de un equipo determinado, almacenamiento, manejo de materiales, etc.), por un equipo de 2 a 3 expertos que poseen documentación detallada de la instalación, procedimientos de operación y acceso a personal de la planta para proveerse de información complementaria. Por lo general, de la aplicación de la pregunta se obtienen sugerencias de eventos iniciadores y fallas posibles a partir de los cuales puede producirse una desviación peligrosa.

Esta técnica es ampliamente utilizada durante las etapas de diseño del proceso, así como durante el tiempo de vida o de operación de una instalación, asimismo cuando se introducen cambios al proceso o a los procedimientos de operación. Su aplicación se enfoca a los sistemas de protección de procesos. Los resultados son más completos si se combinan con la lista de verificación.

El análisis no termina con las preguntas sino que pasa a examinar las posibles acciones correctoras, como puede ser la modificación de los sistemas de emergencia o la modificación de los procedimientos de operación para disminuir las probabilidades de fallas indicados. Las respuestas proveerán de situaciones claves para la evaluación de fallas de equipos, errores, procedimientos, etc. Los resultados son tabulados respecto a situaciones peligrosas, sus consecuencias, medidas de seguridad y posibles acciones para reducir el riesgo.

2.4.4 Análisis por Árbol de Fallas, AAF: *Fault Tree Analysis, FTA*

Es una técnica deductiva que se centra en un suceso accidental particular (accidente) y proporciona un método para determinar las causas que han producido dicho accidente. El hecho de su gran utilización se basa en que puede proporcionar resultados tanto cualitativos mediante la búsqueda de caminos críticos, como cuantitativos, en términos de probabilidad de fallas de componentes.

Para el tratamiento del problema se utiliza un modelo gráfico que muestra las distintas combinaciones de fallas de componentes y/o errores humanos cuya ocurrencia simultánea es suficiente para desembocar en un suceso accidental. Consiste en descomponer sistemáticamente un suceso complejo (por ejemplo rotura de un depósito de almacenamiento de amoníaco) en sucesos intermedios hasta llegar a sucesos básicos, ligados normalmente a fallas de componentes, errores humanos, errores operativos.

Este proceso se realiza enlazando dichos tipos de sucesos mediante lo que se denomina puertas lógicas que representan los operadores del álgebra de sucesos. Cada uno de estos aspectos se representa gráficamente durante la elaboración del árbol mediante diferentes símbolos que representan los tipos de sucesos, las puertas lógicas y las transferencias o desarrollos posteriores del árbol.

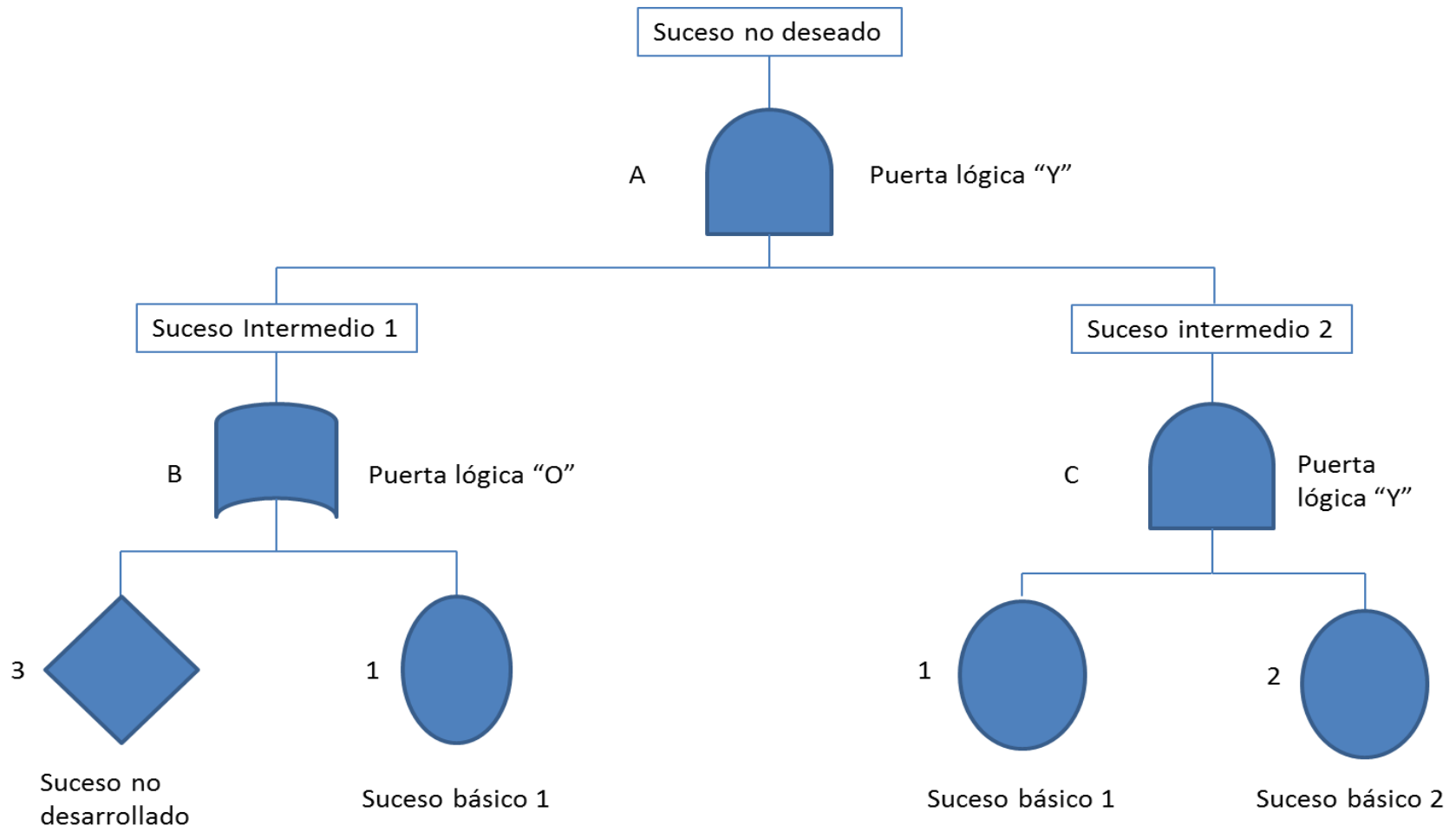


Figura 2. 4 Árbol de fallas

El AAF es una metodología que se puede aplicar a sucesos relativamente complejos para los cuales intervienen muchos elementos y que se pueden descomponer en sucesos más sencillos. Requiere de uno o dos analistas con amplia experiencia y conocimiento del sistema a analizar, frecuentes consultas a técnicos, operadores y personal experimentado en el funcionamiento del sistema y la documentación necesaria consiste en diagramas de flujos, instrumentación, tuberías, junto con procedimientos de operación/mantenimiento.

2.4.5 Análisis de Árbol de Sucesos, AAS: *Event Tree Analysis, ETA*

La técnica de análisis por árboles de sucesos consiste en evaluar las consecuencias de posibles accidentes resultantes de la falla específica de un sistema, equipo, suceso o error humano, considerándose como sucesos iniciadores y/o sucesos o sistemas intermedios de mitigación, desde el punto de vista de la atenuación de las consecuencias.

Las conclusiones de los árboles de sucesos son consecuencias de accidentes, es decir, conjunto de sucesos cronológicos de fallas o errores que definen un determinado accidente.

Partiendo del suceso iniciador, se plantean sistemáticamente dos bifurcaciones: en la parte superior se refleja el éxito o la ocurrencia del suceso condicionante y en la parte inferior se representa una falla o no ocurrencia del mismo.

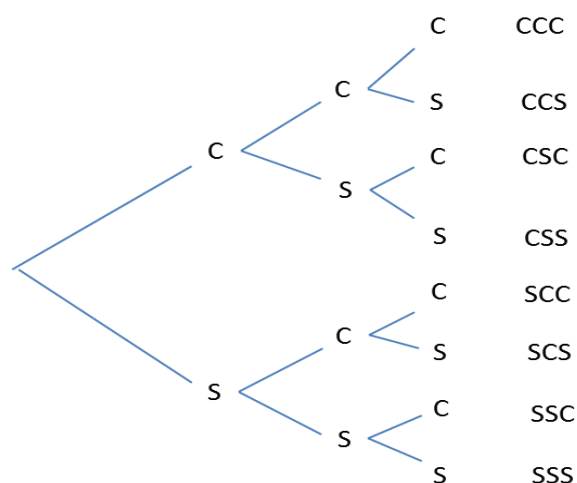


Figura 2. 5 Árbol de sucesos-lanzamiento de monedas

El suceso iniciador puede ser cualquier desviación importante, provocada por una falla de un equipo, error de operación o error humano. Dependiendo de las salvaguardas tecnológicas del sistema, de las circunstancias y de la reacción de los operadores, las consecuencias pueden ser muy diferentes. Por esta razón, un AAS, está recomendado para sistemas que tienen establecidos procedimientos de seguridad y emergencia para responder a sucesos iniciadores específicos.

En la Figura siguiente se presenta un árbol de sucesos correspondiente a un suceso iniciador denominado "fuga de GLP en zona próxima a depósitos de almacenamiento" donde se estudian las distintas secuencias accidentales y las consecuencias posibles de cada una de ellas. Algunas de estas consecuencias no conllevan un peligro especial, pero otras representan sucesos verdaderamente peligrosos, como BLEVE, UVCE o incendios de charco.

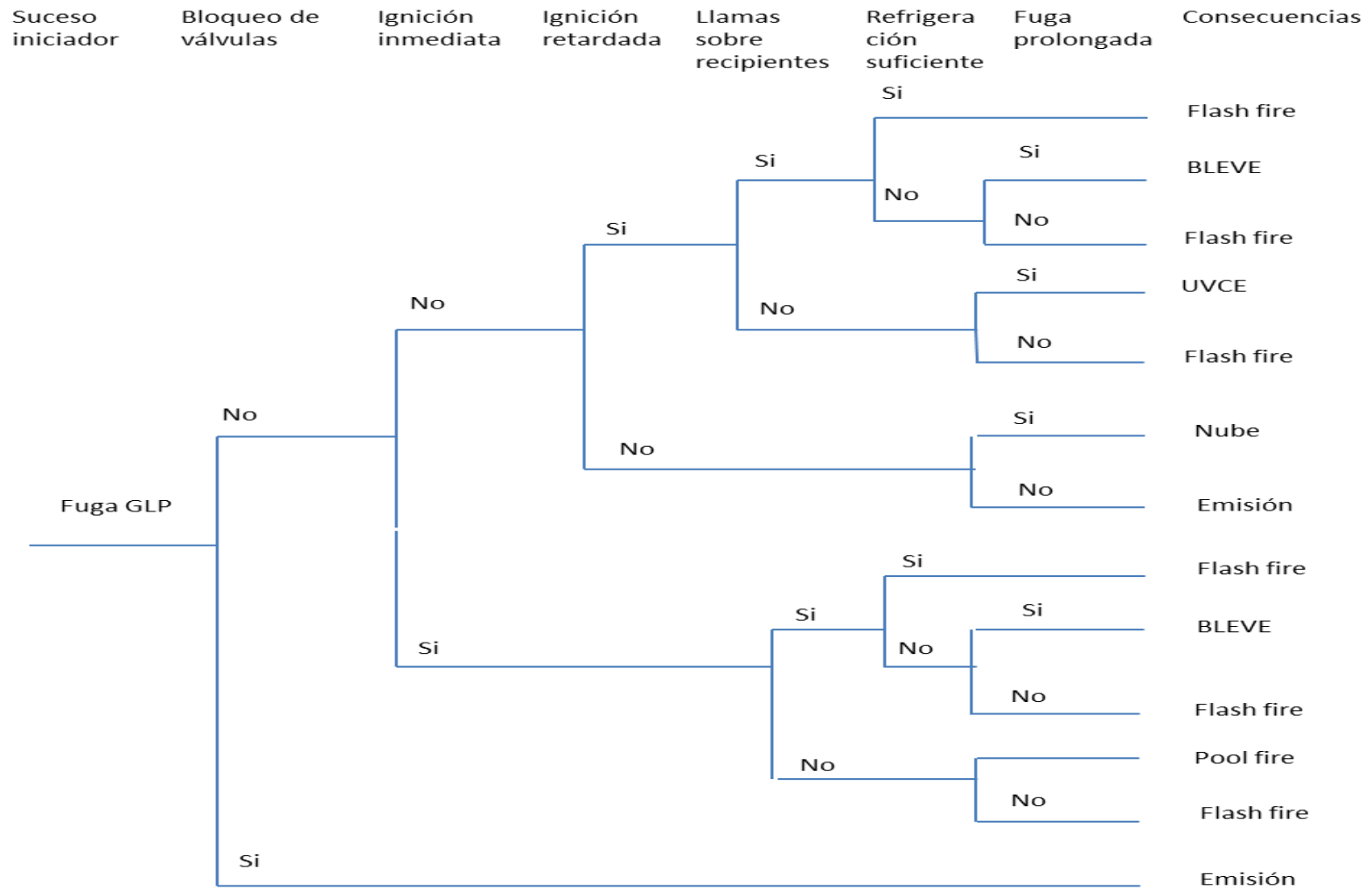


Figura 2. 6 Árbol de sucesos

2.4.6 Análisis de los Modos Falla y Efectos, AMFE: *Failure Modes and Effects Analysis, FMEA*

El método consiste en la elaboración de tablas o listas con las posibles fallas de componentes individuales, los modos, la detección y los efectos de cada falla. Una falla se puede identificar como una función anormal de un componente, una función fuera del rango del componente, función prematura.

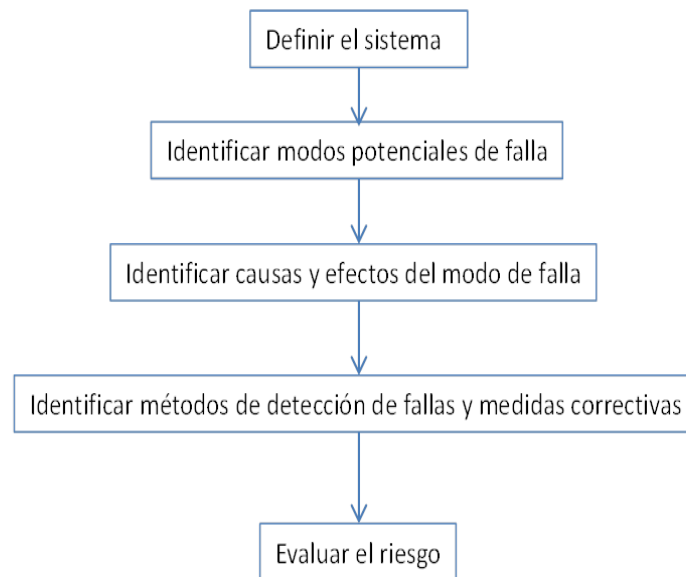


Figura 2. 7 Proceso para el análisis de modo y efecto de fallas

Las fallas que se pueden considerar son situaciones de anormalidad tales como:

- Abierto, cuando normalmente debería estar cerrado
- Cerrado, cuando normalmente debería estar abierto
- Marcha, cuando normalmente debería estar parado
- Fugas, cuando normalmente deba ser estanco

Los efectos son el resultado de la consideración de cada uno de las fallas identificadas individualmente sobre el conjunto de los sistemas de la planta o instalación.

El método *FMEA* establece finalmente qué las fallas individuales pueden afectar directamente o contribuir de una forma destacada al desarrollo de accidentes de una cierta importancia en la planta. Es un método válido en las etapas de diseño, construcción y operación y se usa habitualmente como fase previa a la elaboración de árboles de fallas, ya que permite un buen conocimiento del sistema.

El equipo necesario suele ser de dos personas perfectamente conocedoras de las funciones de cada equipo o sistema así como de la influencia de estas funciones en el resto de la línea de proceso. Es necesario para la correcta ejecución del método disponer de listas de equipos y sistemas, conocimiento de las funciones de cada equipo, junto al conocimiento de las funciones de los sistemas en su conjunto dentro de la planta.

Es posible incluir en la última columna de la tabla de trabajo lo que se denomina índice de gravedad, que representa mediante una escala del 1 al 4 un valor que describe la gravedad de los posibles efectos detectados; el valor 1 representaría un suceso sin efectos adversos; 2, efectos que no requieren parada del sistema; 3, riesgos de cierta importancia que requieran parada normal y 4, peligro inmediato para el personal e instalaciones, por lo que se requiere parada de emergencia. En este caso, el análisis se denomina análisis del modo de Fallas, y efectos críticos, *FMECA* (AMFEC).

Tabla 2. 6 Formulario de trabajo para análisis FMECA

Fecha:			Página:		De:
Planta:			Analista:		
Sistema:			Referencia:		
Identificación de elemento	Designación	Modo de fallo	Detección	Efectos	Índice de gravedad
1	Manguera flexible	Agujereada	Visual	Derrame ¿incendio?	1
		Taponada-aplastada	Visual	Falta reducción de caudal	2
		Tipo equivocado	Visual marcas	Corrosión o contaminación	3

Capítulo 3 La metodología HAZOP

3.1 Antecedentes del Análisis de Riesgo y Operatividad (HAZOP)

La técnica del HAZOP fue desarrollada en el Reino Unido en 1963, por la compañía *Imperial Chemical Industries* en el estudio de procesos químicos. De todas las metodologías, el HAZOP es el método más completo y riguroso por lo que es generalmente la técnica preferida por las empresas, pero la técnica sólo empezó a ser empleada más ampliamente en la industria de procesos químicos después del desastre de *Flixborough* en el que una explosión en una planta química mató a 28 personas, muchas de las cuales eran simples dueñas de casa que vivían en la cercanía. Empleando un intercambio general de ideas y personal, el sistema fue adoptado luego por la industria del petróleo, que tiene un potencial similar de grandes desastres. A ello siguieron las industrias de alimentos y agua, en donde el potencial de riesgo es igualmente grande, pero de una naturaleza diferente, teniendo los problemas más que ver con la contaminación que explosiones o liberación de sustancias químicas perjudiciales. Por ejemplo en Chile, esta técnica ha sido frecuentemente utilizada por la industria minera, particularmente en aquellas instalaciones que por su gran amplitud, cualquiera interrupción o accidente puede tener consecuencias fatales o de gran envergadura tanto para el medio ambiente como la integridad económica del dueño de las instalaciones. Empresas como Codelco Chile han incorporado dentro de su normativa para el desarrollo de proyectos, el requerimiento de aplicar diferentes técnicas de análisis de riesgos operacionales, entre ellas el Estudio HAZOP, de acuerdo con el grado de avance de cada proyecto.

Es una técnica de identificación de riesgos inductiva basada en la premisa de que los accidentes se producen como consecuencia de una desviación de las variables de proceso con respecto de los parámetros normales de operación en un sistema dado y en una etapa determinada. La característica principal del método es que es realizado por un equipo multidisciplinario de trabajo

El HAZOP consiste en hacer una descripción a detalle del proceso cuestionándose cada una de las partes del mismo para identificar qué desviaciones pudieran existir en el propósito para el cual cada una de las operaciones fue planeada y así poder identificar cuáles son las posibles consecuencias, planteadas a través de “palabras guía”.

3.2 Elementos clave

El análisis HAZOP se basa en identificar cuatro elementos clave:

1. La fuente o causa del riesgo.
2. La consecuencia, impacto o efecto resultante de la exposición a este riesgo.
3. Las salvaguardas existentes o controles, destinados a prevenir la ocurrencia de la causa o mitigar las consecuencias asociadas.
4. Las recomendaciones o acciones que pueden ser tomadas si se considera que las salvaguardas o controles son inadecuados o directamente no existen.

3.3 Objetivos

Los objetivos de un estudio de HAZOP pueden ser resumidos de la siguiente manera:

1. Identificación de áreas de diseño que puedan representar un potencial de riesgo significativo.
2. Identificar y estudiar las características del diseño, que influya en la probabilidad de ocurrencia de un incidente de riesgos
3. El equipo que haga el estudio, debe familiarizarse con la información disponible del diseño
4. Asegurarse que el estudio sistemático se haga en las áreas que representen un potencial de riesgo significativo
5. El equipo que realice el estudio, identificará pertinentemente que la información disponible sea actual
6. El equipo que realiza el estudio, proporcionará un mecanismo de información al cliente con sus respectivos comentarios bien detallados.

3.4 Concepto

El estudio de HAZOP se basa en analizar en forma metódica y sistemática el proceso, la operación, la ubicación de los equipos y del personal en las instalaciones, la acción humana (de rutina o no) y los factores externos, revelando las situaciones riesgosas. Se enfoca en determinar cómo un proceso puede apartarse de sus condiciones de diseño y sus condiciones normales de operación, planteando las posibles desviaciones que pudieran ocurrir.

Una vez identificada una desviación, se hace una evaluación en cuanto a que si sus consecuencias pueden producir un efecto negativo sobre el funcionamiento seguro y eficiente de la planta. En caso necesario, se recomiendan medidas para eliminar la causa que produce la desviación o para mitigar las consecuencias de su materialización.

Para simplificar el estudio de *HAZOP* conviene subdividir un proceso grande y complejo en tantas piezas pequeñas como sea requerido para el análisis. Para ello el facilitador prepara, previo a las reuniones del grupo, la división de los diagramas de tuberías e instrumentación DTI, (*P&ID*) de la planta en sectores llamados nodos, los cuales se estudiarán en forma sistemática e individualmente. En general los nodos incluyen múltiples componentes: equipos + cañerías + instrumentos.

Teóricamente el resultado de *HAZOP* es independiente de cómo se hayan seleccionado los nodos pero en la práctica se observa que una incorrecta selección de los mismos, impacta negativamente en el resultado del estudio. Después de que el facilitador determinó los nodos que se van a estudiar se reúne al grupo para comenzar el trabajo de equipo. El líder *HAZOP* será el encargado de registrar toda la información que se va generando en un reporte de trabajo. Los integrantes del grupo enlistan para cada nodo, las posibles desviaciones que pudieran ocurrir, como pueden ser:

- Alto/Bajo Flujo
- Flujo Inverso
- Alto/Bajo Nivel
- Alta/Baja Presión
- Alta/Baja Temperatura
- Contaminación
- Fuego

Los participantes proponen para cada desviación las posibles causas que la pudieran originar; existen tres tipos de causas: error humano, falla del equipamiento y eventos externos. Para cada causa planteada, se determinan las consecuencias derivadas y las salvaguardas existentes en la instalación, ya sea para evitar la ocurrencia de dicho evento o para mitigar su efecto. Las consecuencias encontradas se categorizan, asignándoles valores de riesgo en función de la probabilidad y severidad que el equipo determina para dicho evento. El grupo decide, entre todos los valores disponibles de probabilidad y severidad que se encuentran en la matriz de clasificación de riesgos, cuáles asignará a dicha consecuencia y por consiguiente surge la tabla de riesgos de la misma.

Esta forma de asignar valores de riesgo, claramente, es cualitativa. Si el valor de riesgo asignado a la consecuencia resultase elevado, significa que se deben tomar acciones inmediatamente, por lo que el equipo realiza recomendaciones en donde se requiera reducir dicho valor. Dichas recomendaciones pueden ser la solución al problema, si resultase obvio para el equipo *HAZOP*, o la instrucción de evaluar las posibles soluciones en una instancia posterior fuera del estudio. De modo de asegurar que las recomendaciones se implementen, a cada una, se le asigna un responsable.

El objetivo del *HAZOP* es identificar los riesgos y dejarlos documentados, no resolver todos los problemas que aparecen. No debe emplearse demasiado tiempo buscando la solución a cada problema ya que se multiplicaría la duración del *HAZOP* perdiéndose el objetivo del estudio. Posterior a éste se debe encontrar la mejor solución a cada problema detectado.

3.4.1 Palabras guía o términos clave

Un rasgo esencial en este proceso de cuestionamiento y análisis sistemático es el empleo de términos clave para enfocar la atención del grupo de expertos sobre las posibles desviaciones y sus causas. Las desviaciones en el proceso se analizan mediante la aplicación de palabras guía o clave a cada condición de proceso, actividad, materiales, tiempo y lugar. Estas palabras clave reflejan tanto la intención de diseño del proceso como los aspectos operativos presentes en la planta o instalación bajo estudio.

Un estudio *HAZOP*, es uno de los métodos comúnmente aceptados, para el análisis cualitativo de riesgos. Este método puede ser aplicado en general, para toda una planta de proceso, unidades de producción o piezas de equipo. Se debe de utilizar una base de datos de información sobre la planta y el proceso, los cuales estarán sustentados por ingenieros expertos en seguridad, ya que están más familiarizados con esta área. El resultado final, es algunas veces confiable en términos de ingeniería y expectativas operacionales, pero no es cuantitativo y no considera las consecuencias del error humano.

3.4.2 Pasos que se deben de seguir para realizar un análisis *HAZOP*

1. Especificar el propósito, objetivo y alcance de estudio. Como propósito se plantea el análisis desde la construcción de la planta o la revisión del riesgo en las unidades existentes. Dado el propósito y las circunstancias de estudio, la lista de objetivos se puede hacer más específica. El alcance del estudio se limita a unidades físicas y también a la gama de eventos en las variables consideradas. Por ejemplo, en cierta época, estudio de *HAZOP* se enfocaba principalmente a los puntos de fuego y explosión, aunque ahora el alcance incluye exposiciones tóxicas, olor ofensivo y el medio ambiente. El propósito establecido inicialmente, los objetivos y el alcance, son muy importantes y deben de ser precisos y bien claros, desde el comienzo hasta el fin del estudio. Estas decisiones necesitan ser hechas por una gerencia responsable con un nivel apropiado.

2. Seleccionar el equipo que realizará el estudio de *HAZOP*. El líder de equipo debe ser especialista en estudios de *HAZOP* y debe de tener una exitosa técnica personal de interacción con el grupo. Como muchos otros expertos, este debe ser incluido en el equipo y cubrir los aspectos de diseño, operación, química del proceso y seguridad. El líder debe instruir al equipo acerca de los procedimientos de *HAZOP*, y debe enfatizar que los objetivos de estudio es la identificación de riesgos, solucionando cada problema con un esfuerzo por separado.
3. Recopilación de información. A continuación se enlistan los materiales necesarios para el estudio:
 - b. Descripción del proceso
 - c. Hojas de flujo de proceso
 - d. Datos de las propiedades químicas, físicas y toxicológicas de la materia prima, los intermediarios y los productos
 - e. Diagramas de tubería e instrumentación (DTI's)
 - f. Especificación de instrumentos en tuberías y equipo
 - g. Diagramas lógicos de control de procesos
 - h. Diagramas disponibles
 - i. Procedimientos de operación
 - j. Procedimientos de mantenimiento
 - k. Procedimientos de respuesta a emergencias
 - l. Entrenamiento y seguridad
4. Conducción del estudio. Usando la información recopilada, las unidades son divididas dentro del estudio en nodos. Los nodos son puntos en el proceso donde los parámetros de proceso (presión, temperatura, composición, etc.) representan valores proyectados. Estos valores cambian entre nodos, como el resultado de la operación de varias piezas de equipo, ya sea como una columna de destilación, un intercambiador de calor o bombas. Varias formas y hojas de trabajo, son desarrolladas como una ayuda en la organización de los nodos de los parámetros de proceso y la información de la lógica de control.

Cuando los nodos y los parámetros son identificados, cada nodo es estudiado aplicando las palabras guía especializada para cada parámetro. Estas palabras guías y su significado, son elementos clave en el procedimiento de *HAZOP*.

Estas palabras se describen a continuación:

Tabla 3. 1 Palabras guía

PALABRAS GUIA	SIGNIFICADO
No	No se consiguen las intenciones previstas en el diseño
Menos	Disminución de cantidad
Más	Aumento de cantidad
Parte de	Disminución de calidad
Además de	Aumento de calidad
En vez de	No se obtiene el efecto deseado
Inversión	Se obtiene el efecto contrario deseado

5. Reporte escrito. Como mucho de los detalles acerca de los eventos y sus consecuencias, son revelados al término del estudio, estos deben ser reportados. Así, aunque la acción de reducir el riesgo, no es parte del estudio de *HAZOP*, pueden poner en funcionamiento lo necesario para cada acción. El estudio de *HAZOP* toma tiempo y es costoso.

Al finalizar el estudio, el facilitador de *HAZOP* prepara un informe que incluye toda la documentación del proyecto utilizada y las hojas de trabajo de *HAZOP* realizadas. La parte más importante del informe es el listado de recomendaciones a realizar, donde cada una tiene una prioridad de ejecución dada, directamente asociada a la tabla de riesgo de las consecuencias determinadas en el estudio. Las recomendaciones incluyen cambios: de diseño, de operación o mantenimiento que eliminan (o reducen su impacto) las desviaciones, causas y/o consecuencias. Es fundamental que se implementen las recomendaciones realizadas. El *HAZOP* es eficaz si se toma acción para implementar las recomendaciones realizadas durante el estudio.

En los primeros tiempos de los estudios *HAZOP* era común registrar sólo las desviaciones potenciales que producían alguna consecuencia negativa. Debido a que tales estudios eran sólo para uso interno de una compañía dada. También, con registros anotados manualmente se reducía el tiempo ocupado, tanto por el estudio mismo como para la elaboración posterior del Informe *HAZOP*.

Esta metodología se clasifica como “registro por excepción”, en donde se presume que todo lo que no se incluye es considerado como satisfactorio y aceptable.

Actualmente, la práctica aceptada se ha inclinado más al registro completo, especificando cada combinación de términos clave aplicada al sistema. Donde sea factible, esto es seguido por una declaración que indica que no se pudo identificar ninguna causa, o alternativamente que no surgió ninguna consecuencia para la causa registrada. Esto se clasifica como “registro completo”, resultando en un Informe *HAZOP* que prueba sin ambigüedades a los organismos externos que se ha realizado un estudio riguroso. Se produce además un documento global que servirá de gran ayuda en la evaluación veloz de la seguridad y operatividad de modificaciones posteriores de la planta.

Teniendo esto en cuenta, se recomienda que se instituya el “registro completo”, a través del empleo de la computadora, la preocupación previa en cuanto al tiempo, tanto para el desarrollo del estudio como para la elaboración del informe, deja de ser un factor relevante. Para lograr que esta metodología sea de manejo eficiente y más expedito, se debe utilizar textos uniformes o textos como los siguientes:

- No se identificaron causas potenciales
- No se identificaron consecuencias negativas significativas
- No se estimó necesario establecer una recomendación de acción adicional a las Salvaguardas existentes

3.5 Software o Soporte

Existen códigos informáticos que permiten registrar las sesiones de *HAZOP* de forma directa. Entre ellos: el código desarrollado por la compañía *Dupont de Nemours*, *SCRI HAZOP*, *HAZSEC* (compañía *Technica*), *HAZTRAC* (*Technica*), *HAZOP* (compañía *ITSEMAP*). Éstas guían al técnico durante las sesiones y permiten en general una posterior agrupación y clasificación de las recomendaciones surgidas en el estudio.

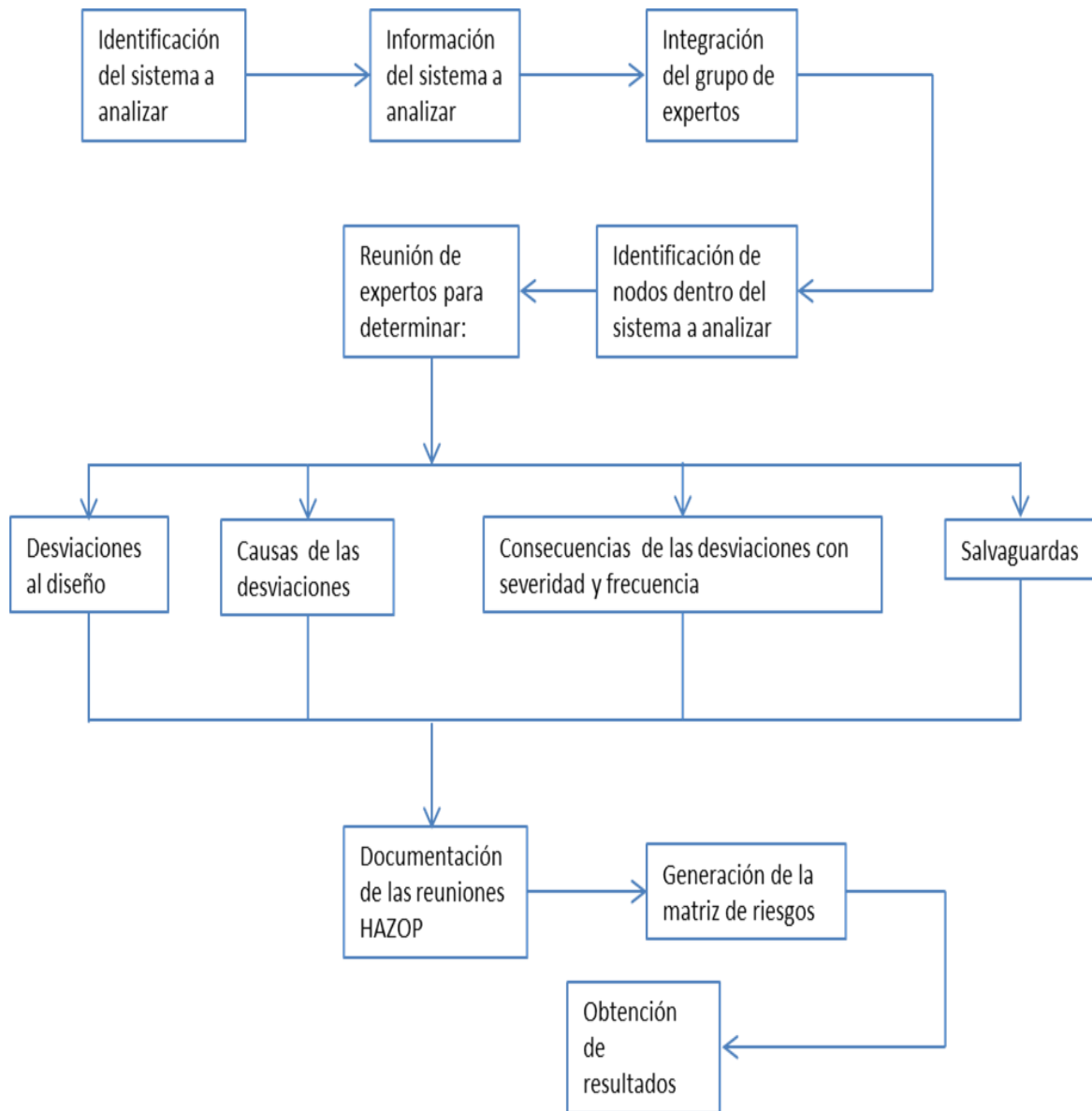


Figura 3. 1 Metodología general para el análisis de riesgos empleando HAZOP

Capítulo 4 Requerimientos para realizar un análisis de riesgos *HAZOP*

4.1 Razones del amplio uso del análisis de riesgos *HAZOP*

La seguridad y confiabilidad en el diseño de una planta descansa inicialmente en la aplicación de diversos códigos de práctica, o criterios de diseño y estándares. Estos representan la acumulación de conocimiento y experiencia de expertos individuales así como de la industria como un todo. Esta aplicación tiene generalmente el respaldo de la experiencia de los ingenieros involucrados, que probablemente habían tenido que ver con el diseño, puesta en servicio activo, u operación de una planta similar.

Sin embargo, aunque se considera que los códigos de práctica, normas y criterios de diseño son de gran valor, es importante complementarlos con una anticipación imaginativa de las posibles desviaciones que podrían producirse en cada uno de los componentes de cada proyecto, debido, por ejemplo, a un mal funcionamiento del equipo o error del operador. Además de esto, la mayor parte de las empresas admiten el hecho de que en el caso de una planta nueva, el personal de diseño está normalmente bajo alta presión para mantener el proyecto dentro del programa y del presupuesto. Esta presión invariablemente acarrea como resultado errores y descuidos.

El estudio HAZOP constituye una oportunidad para corregir todo esto, antes de que estos cambios se tornen demasiado caros o difíciles de lograr. Aunque no existen estadísticas para verificar esta afirmación, se cree que la metodología HAZOP es la herramienta de ayuda de más amplio uso para la prevención de pérdidas. Las razones se resumen a continuación:

- Es fácil de aprender
- Se puede adaptar con facilidad a todas las operaciones que se llevan a cabo en la industria de procesos
- No se requiere ningún nivel especial de calificación académica, No se necesita ser un graduado universitario para participar en un estudio

4.2 Ventajas e Inconvenientes

Además de cubrir los objetivos para los cuales se utiliza el método, se pueden destacar las siguientes ventajas adicionales al método:

- Ocasión perfecta y quizás “única” para contrastar distintos puntos de vista de una planta
- Es una técnica sistemática que puede crear desde el punto de vista de seguridad o hábitos metodológicos útiles
- El coordinador mejora su conocimiento del proceso
- No requiere recursos a exclusión del tiempo de dedicación.

Como inconvenientes se citan los siguientes:

- Es una técnica cualitativa; no hay una valoración real de la frecuencia de las causas que producen una consecuencia grave ni tampoco del alcance de la misma
- Las modificaciones a la planta surgidas del HAZOP deben analizarse con mayor detalle y otros criterios (económicos)
- Los resultados obtenidos son muy dependientes de la calidad del equipo
- Es muy dependiente de la información disponible; puede omitirse un riesgo si los datos de partida son erróneos o incompletos.

HAZOP provee un método para examinar sistemáticamente las interacciones entre las personas y el equipo. Esto es muy útil para identificar riesgos no detectados en el diseño de las instalaciones, o creados ya en las instalaciones existentes, por cambios en las condiciones de los diseños o en los procedimientos de operación

4.2.1 Información necesaria para un análisis HAZOP

La información fundamental requerida para realizar un *HAZOP*, y sin la cual este estudio no puede realizarse, son los diagramas de tuberías e instrumentación (DTI, *P&ID*). Como información de soporte que se recurre a las hojas de datos de equipos e Instrumentos, balances de masa y energía, matriz de causa y efecto, planos de clasificación eléctrica de áreas, planos de cañerías, según se requiera. La calidad del estudio de *HAZOP* depende directamente de la calidad y cantidad de información disponible.

4.3 Integrantes de un equipo *HAZOP*

El equipo que realiza el estudio de *HAZOP* debe estar integrado por especialistas de distintas áreas, con el objeto de generar múltiples puntos de vista sobre un mismo problema y dirigido por una persona experimentada en la técnica de *HAZOP*. Un grupo típico estaría formado por especialistas de procesos, instrumentación, mecánica, electricidad, operaciones, mantenimiento, seguridad y medio ambiente y coordinado por el facilitador o líder de *HAZOP* que debe estar familiarizado con todas las especialidades intervinientes en el estudio. El facilitador debe conducir el análisis, motivar al equipo, mantener al grupo enfocado en el análisis, hacer participar a todas las personas, documentar la información generada y mantener la calidad del estudio; el número ideal de participantes está comprendido entre cuatro y ocho personas, un mayor número de integrantes hace más difícil el acuerdo en las discusiones que se generan y con un menor número de personas se corre el riesgo de que se generen pocas ideas. Los integrantes del grupo deben interrumpir sus actividades diarias normales durante el *HAZOP* y dedicarse exclusivamente al mismo ya que requiere el mayor aporte de cada uno. Es posible que algunos especialistas no estén dedicados todo el tiempo al análisis y que sean convocados sólo cuando se les necesite.

La característica principal de ésta técnica es que se realiza en equipo y en sesiones de trabajo dirigidas por un coordinador.

Las personas que toman parte en las sesiones deberán ser personas:

- Conocedoras de la planta y expertas en su campo
- Dispuestas a participar activamente
- No es necesario que tengan un conocimiento previo del método en sí

Una de las personas que forme parte del equipo de trabajo tendrá encomendada la labor de transcripción de las sesiones de forma precisa y lo más completa posible. Deberá tener capacidad de síntesis y un buen conocimiento tanto de la instalación como del método; ya sea que el estudio sea facilitado por dos personas, una que actúe como el líder o coordinador y la otra como el secretario.

Destaca en el método el papel del coordinador quien conduce las sesiones; la cual deberá ser una persona:

- Relativamente “objetiva”
- Con un buen conocimiento del método
- Con amplia experiencia industrial
- Con capacidad de organización (debe potenciar la participación de todos los presentes, cortar discusiones improductivas, estimular la imaginación, favorecer un ambiente de colaboración y competencia)

En promedio las sesiones pueden durar tres horas, las cuales estarán divididas en partes iguales para cada nudo a estudiar:

- Preparación
- Sesión
- Revisión y análisis de resultados

Siendo las actividades primera y última las realizadas por el coordinador.

4.4 Duración del HAZOP

La duración del *HAZOP* depende de la complejidad de la instalación que se esté analizando así que es muy variable, pudiendo ser de un día o de varias semanas. Como el estudio requiere de mucha concentración y participación de todos los presentes no es aconsejable que las sesiones duren más de ocho horas diarias; el cansancio o desconcentración de los integrantes va en perjuicio del resultado del *HAZOP*; por lo tanto, si el estudio fuera prolongado, por ejemplo más de dos semanas, conviene intercalar en el programa uno o dos días “libres” retornando cada participante a sus actividades habituales de modo que el equipo retorne al *HAZOP* con más energía.

4.5 ¿Cómo se realiza un HAZOP?

El equipo multidisciplinario de expertos analiza sistemáticamente cada parte del proceso, para descubrir cómo pueden ocurrir las desviaciones de la intención del diseño. Luego, el equipo decide si estas desviaciones pueden crear peligros significativos.

4.5.1 Principios Básicos

- Obtener una descripción completa de los alcances y condiciones proyectadas en el diseño/procedimiento.
- Examinar sistemáticamente cada parte del diseño para descubrir desviaciones con respecto a lo proyectado.
- Decidir si esas desviaciones pueden incrementar los riesgos o los problemas de operatividad.

4.5.2 Terminología HAZOP

- INTENCION DEL DISEÑO: Cómo se espera que el proceso va a operar o la actividad va a ser ejecutada
- CAUSAS: Maneras como pueden ocurrir las desviaciones
- CONSECUENCIAS: Resultados de las desviaciones
- PROTECCIONES: Dispositivos, procedimientos o normas administrativas para reducir la frecuencia de las desviaciones o mitigar sus consecuencias

4.5.3 Intención del Diseño

La intención precisa del intento del diseño del elemento del proceso/procedimiento que se va a estudiar, debe ser establecida y entendida por todos los miembros del equipo. El director deberá asegurarse que esta intención sea registrada en la hoja de trabajo.

Si algunos elementos (equipos/líneas) tienen más de un modo de operación, entonces el Director deberá asegurarse que la intención del diseño y sus parámetros sean entendidos para cada modo. Para situaciones complejas cada modo de operación deberá ser considerado como un elemento separado y todas las palabras guías aplicadas a cada modo de operación.

Aplicación en:

- Instalaciones nuevas

La técnica se aplica normalmente cuando el diseño está completo y se han emitido los diagramas de tubería e instrumentos (DTI, *P&IDs*). Todos los cambios posteriores, incluyendo los que resulten de las recomendaciones del estudio, serán revisados y donde se requiera estarán sujetos a un seguimiento del HAZOP.

- Instalaciones existentes

Se aplica a los diagramas de tuberías e instrumentación (DTI, *P&ID*) o procedimientos existentes para identificar riesgos potenciales o problemas de operatividad, que no se hayan detectado durante la experiencia de la operación previa, o para revisar operaciones o procedimientos no cubiertos anteriormente. Modificaciones que signifiquen la alteración de los diagramas de tuberías e instrumentación (DTI, *P&ID*), cambios a la operación del proceso o a los sistemas de seguridad asociados, deberán ser sometidos a estudios *HAZOP*.

4.6 Alcances

Deberá ser acordado formalmente entre el cliente o proyecto y el director del estudio. No se debe asumir que el cliente conozca qué es un estudio *HAZOP*, los requerimientos para su efectividad, las limitaciones de la técnica o las responsabilidades del equipo de estudio. En particular debe aclararse que el estudio de *HAZOP* está orientado principalmente a identificar los riesgos del diseño y los problemas de operatividad, no a resolverlos o cuantificarlos.

4.7 Informe Final

El informe final de un *HAZOP* constará de los siguientes documentos:

- Esquemas simplificados con la situación y numeración de los nudos de cada subsistema
- Formatos de las sesiones con indicación de las fechas de realización y composición del equipo de trabajo
- Análisis de los resultados obtenidos; se puede llevar a cabo una clasificación cualitativa de las consecuencias identificadas
- Lista de las medidas a tomar obtenidas. Constituyen una lista preliminar que debería ser debidamente estudiada en función de otros criterios (impacto sobre el resto de la instalación, mejor solución técnica, costo) y cuando se disponga de más elementos de decisión (frecuencia del suceso y sus consecuencias)
- Lista de los sucesos iniciadores identificados

4.7.1 Ejemplos de Informes

Tabla 4. 1 Ejemplos de informes HAZOP

Fecha:		Empresa:		Planta:		Turno:		
HAZOP realizado por:								
Nodo	Palabra guía	Desviación de la variable	Posibles causas	Consecuencias	Respuestas	Señalización	Acciones a tomar	Comentarios

Tabla 4. 2 Ejemplo de informe HAZOP

Columna	Contenido
Posibles causas	Describe numerando las posibles causas que pueden conducir a la desviación
Consecuencias	Para cada una de las causas planteadas, se indican con la correspondiente numeración las consecuencias asociadas
Respuesta del sistema	Se indicaran en este caso Los mecanismos de detección de la desviación planteada según causas o consecuencias por ejemplo: alarmas
Acciones a tomar	Propuesta preliminar de modificaciones a la instalación en vista de la gravedad de la consecuencia identificada
Comentarios	Observaciones que complementan o apoyan algunos de los elementos mencionados anteriormente

Capítulo 5 Casos de aplicación de la metodología *HAZOP*

5.1 Caso 1 de aplicación de la metodología *HAZOP*

Realizado en la empresa PEMEX subdirección región sur gerencia de seguridad industrial, protección ambiental y activo integral Bellota- Jujo coordinación de construcción y mantenimiento.

5.2 Datos generales del proyecto

El proyecto considera en términos generales la construcción y operación de un sistema de transporte (línea de descarga) de hidrocarburos producidos por el pozo Tajón 101 mediante un arreglo ordenado de tuberías subterráneas, que permitan una operación segura y eficiente con las condiciones de operación requeridas del pozo productor hasta interconectarse con la línea de descarga existente del pozo Puerto Ceiba 122, con punto final en el Cabezal Puerto Ceiba.

En el Anexo 1 se muestra la trayectoria del trazo del proyecto y su ubicación general respecto a las características del área, rasgos hidrológicos y fisiográficos próximos, PEMEX exploración y producción, subdirección región sur, gerencia de seguridad industrial, protección ambiental y calidad activo integral bellota-jujo coordinación de construcción y mantenimiento.

5.2.1 Nombre del proyecto

“Construcción línea de descarga de 8” Ø del Pozo Tajón 101 a Cabezal Puerto Ceiba, mediante el método de perforación horizontal direccional controlada”.

5.2.2 Ubicación del proyecto

La Línea de descarga de 8” Ø, iniciara en el Pozo Tajón 101 ubicado en la Ranchería las Flores 3ra. Sección y finalizara en el Cabezal Puerto Ceiba, ubicado en la Ranchería las Flores 2da. Sección, perteneciente al Municipio de Paraíso, Tabasco.

5.2.3 Tiempo de vida útil del proyecto

Tomando en cuenta los aspectos técnicos y constructivos, la vida útil del proyecto está en función de las condiciones de explotación eficiente de la producción del pozo Tajón 101, el cual tiene un estimado de 20 años.

5.2.4 Naturaleza del proyecto

El presente proyecto nace de la necesidad de recuperar la reserva actual de hidrocarburos del pozo Tajón 101 y contar con la infraestructura básica requerida, para transportar y

manejar la producción de hidrocarburos, bajo un esquema de seguridad en la operación del campo Tajón, por lo que es indispensable la construcción de este proyecto.

5.3 Selección del Sitio

Para caracterizar el sitio del proyecto, fue necesario realizar visitas al lugar de ubicación para obtener la información necesaria y específica del área; con los datos obtenidos en campo se pudo caracterizar los atributos del sitio en forma integral como el medio biótico y abiótico existente e infraestructura que se encuentra en cercanía, con el objeto de hacer una correcta identificación de sus condiciones ambientales actuales.

El área más conveniente para el trazo de la línea de descarga se seleccionó de acuerdo al análisis de minimizar los impactos negativos a la vegetación, fauna y topografía del área, evitando los asentamientos humanos, áreas de vegetación protegida, cruzamiento de cuerpos de agua y zonas sensibles, así como de fácil acceso para la introducción de los insumos requeridos durante su construcción y mantenimiento futuro.

Se tomaron en cuenta los criterios ecológicos mediante los cuales se previene la afectación a los factores ambientales en el sitio y en su área de influencia, a fin de que el proyecto no presente problema alguno durante su ejecución. Lo anterior representa para PEMEX Exploración y Producción una opción técnica y económicamente viable por la infraestructura industrial de la que formará parte el proyecto.

Los criterios que se consideraron para la ubicación del proyecto son los siguientes:

- Criterio Ambiental
- Criterios Técnico

5.3.1 Inversión requerida

El costo estimado para la construcción del proyecto será de \$ 25'649,835.00 M.N.).

5.4 Nodos, palabras guía y parámetros involucrados

En el análisis *HAZOP* para este proyecto se consideraron los siguientes nodos de estudio:

Tabla 5. 1 Nodos de estudio

Nodo	Descripción
1	Traza de la L.D.D. desde el punto de origen hasta el punto final
2	Accesorios (válvulas, juntas bridadas, empaques y uniones soldadas)
3	Cabezal general
4	Bayoneta

A continuación se mencionan las palabras guías seleccionadas que se relacionan con la actividad que se pretende realizar y que se utilizarán en el análisis *HAZOP* para los nodos propuestos:

Tabla 5. 2 Palabras guía

Palabra guía	Descripción
Más	Aumento
Menos	Disminución
Sí	Existencia
No	Ausencia

Los parámetros que se relacionan con el transporte de la sustancia analizada en este proyecto y los cuales fueron seleccionados, son los siguientes:

Tabla 5. 3 Parámetros

Parámetros
Presión
Corrosión
Agentes externos
Errores humanos

5.4.1 Agentes externos

Cabe mencionar que durante el funcionamiento de la línea de descarga se pueden presentar agentes externos, los cuales son aquellos factores que pueden provocar un accidente durante la operación, en los que es difícil realizar medidas para prevenirlos o evitarlos, este concepto engloba a todos los fenómenos naturales y golpes o fracturas que pueden dañar a la infraestructura de la línea, ocasionados por vandalismo, sabotaje o equipo pesado, entre otros.

Para poder identificar los riesgos que se pueden originar durante la etapa de operación de la línea de descarga, se consideran los siguientes criterios:

- Riesgos a propiedades y/o zonas aledañas (por ubicación de la línea de descarga y características de la sustancia que será transportada).
- Condiciones de operación con las cuales funcionará la línea de descarga (diámetro, presión, temperatura y flujo).
- Longitud y vida útil de la tubería.

Los puntos de riesgo del proyecto son aquellos que en un determinado momento pueden causar daños al personal, al medio ambiente o a la infraestructura de la tubería y pueden presentarse de forma aislada o secuencial, dependiendo de la magnitud del riesgo y las condiciones atmosféricas imperantes en el momento de que éste ocurra.

5.5 Eventos de riesgo

Para el caso del ducto en análisis, los eventos de riesgo pueden ser provocados por una fuga debido a la disminución del espesor en las paredes de éste; el hidrocarburo fugado puede alcanzar el límite inferior de inflamabilidad, mezclarse con el aire y/o entrar en contacto con una fuente de ignición, formando un evento de incendio o antorcha. A continuación se describen cada uno de los eventos en orden de ocurrencia:

5.5.1 Fugas y/o derrames

Las fugas y/o derrames son los eventos de riesgo que se pueden presentar en este tipo de tuberías y las causas que los pueden ocasionar son las siguientes:

- Corrosión interna o externa en las tuberías (pérdida de espesor).
- Materiales de construcción fuera de norma o fin de vida útil.
- Golpes ocasionados por agentes externos (maquinaria pesada o fenómenos meteorológicos).

- Deficiencias en el procedimiento constructivo como soldadura, recubrimiento exterior y pruebas de aceptación (radiográfica e hidrostática), entre otras. Deficiencia en el mantenimiento preventivo o correctivo (válvulas, tuberías y otros).

5.5.2 Flamazo o antorcha

Se presenta cuando existe una fuga y el material inflamable se dispersa, de manera que se incendia a una distancia del punto de la descarga. La nube dispersa produce la antorcha en cualquier momento, siempre y cuando esté por encima de su punto inferior de inflamabilidad y por debajo de su límite superior de inflamabilidad.

5.5.3 Daños a equipos e instalaciones

Los daños que pueden provocarse debido a los eventos mencionados podrían ser al personal que se encuentre en esos momentos, al medio ambiente o a la infraestructura de la tubería, esto como consecuencia de la radiación térmica en caso de antorcha o sobrepresión.

5.6 Identificación y jerarquización de riesgos

Para identificar y jerarquizar los riesgos ambientales se requirieron realizar las siguientes actividades:

- Visitas al sitio del proyecto para identificar los posibles puntos de riesgo ambiental.
- Datos meteorológicos de la zona donde se ubicará la línea de descarga.
- Propiedades físicas y químicas del hidrocarburo que será transportado a través del ducto (mezcla gas dulce – aceite ligero).
- Condiciones de operación (presión, temperatura y flujo).
- Información actualizada de la ingeniería de la obra, así como los planos de trazo y perfil.
- Información actualizada referente a las bases de usuario y diseño, y estadísticas de accidentes ocurridos en actividades similares.
- Metodología de jerarquización de riesgos.

5.6.1 Índice de consecuencia y gravedad

Tabla 5. 4 Índice de consecuencia o gravedad

Rango	Consecuencia o gravedad	Descripción
1	Ninguno (N)	Sin impacto. Este evento no alcanza áreas externas a los terrenos de la línea de descarga.
2	Reparable (R)	Este evento puede afectar áreas externas a los terrenos de la línea de descarga con suficiente nivel de peligro para causar efectos ecológicos adversos reversibles.
3	Significativo (S)	Lesión. Este evento puede afectar áreas externas a los terrenos de la línea de descarga con suficiente nivel de peligro para causar efectos ecológicos adversos recuperables.
4	Grave (G)	Este evento puede afectar áreas externas a los terrenos de la línea de descarga con suficiente nivel de peligro para causar efectos ecológicos adversos temporales.
5	Catastrófico (C)	Este evento puede afectar áreas externas a los terrenos de la línea de descarga con un nivel de peligro (por ejemplo, gases inflamables, radiación térmica o deflagración causada por sobrepresión) que puede causar efectos ecológicos adversos irreversibles o grave desequilibrio al ecosistema.

5.6.2 Índice de frecuencia o probabilidad

Tabla 5. 5 Índice de frecuencia o probabilidad

Rango	Frecuencia o probabilidad	Descripción
1	Improbable	Ocurre menos de una vez cada cincuenta (50) años. No se espera la ocurrencia de este evento en ninguna industria durante la vida operativa de la línea de descarga.
2	Extremadamente rara	Ocurre una vez cada diez años (10) o una vez cada veinte (20) años. No se espera la ocurrencia de este evento en instalaciones similares durante la vida operativa de la línea de descarga.
3	Rara	Ocurre una vez cada cinco (5) años o una vez cada diez (10) años. Podría esperarse la ocurrencia de este evento en alguna instalación similar de algún sitio del mundo durante la vida operativa de la línea de descarga.
4	Posible	Ocurre una vez al año o una vez cada cinco (5) años. Podría esperarse la ocurrencia de este evento durante la vida operativa de la línea de descarga.
5	Frecuente	Ocurre más de una vez por año. Se trata de un evento cuya ocurrencia se espera en forma regular mientras funciona la línea de descarga.

La jerarquización del riesgo se realizó mediante la combinación de las dos tablas mostradas anteriormente, observándose que a mayor calificación, mayor riesgo y viceversa, determinándose lo anterior de acuerdo a las siguientes tablas:

5.7 Matriz de riesgos

Tabla 5. 6 Matriz de jerarquización de riesgos

Índice de riesgo			Consecuencia				
			Ninguno	Reparable	Significativo	Grave	Catastrófico
			1	2	3	4	5
Frecuencia	Improbable	1	1	2	3	4	5
	Extremadamente rara	2	2	4	6	8	10
	Rara	3	3	6	9	12	15
	Posible	4	4	8	12	16	20
	Frecuente	5	5	10	15	20	25

5.7.1 Nivel de riesgo

Tabla 5. 7 Nivel de riesgo

Rango	Riesgo	Descripción
1, 2, 3, 4, 5 y 6	Normal	Este riesgo se encuentra entre los parámetros aceptables y es consistente con el riesgo aceptable en otras líneas de descarga a nivel mundial.
8, 9, 10 y 12	Se debe mejorar	Este riesgo se debe reducir o mitigar para que la línea de descarga sea aceptable en el sitio propuesto.
15, 16, 20 y 25	No aceptable	Riesgo no tolerable.

5.8 Estimación de consecuencias de riesgos ambientales

Las desviaciones que mostraron el índice de riesgo más probable y el índice de riesgo más alto o catastrófico en la metodología *HAZOP* serán consideradas para desarrollar las modelaciones matemáticas de emisión de la sustancia manejada mediante el software *Automated Resource for Chemical Hazard Incident Evaluation (ARCHIE)*, que es un modelo de dispersión elaborado por la *Environmental Protection Agency (EPA)*, Agencia de Protección Ambiental de los *E.E.U.U.*, para la evaluación de consecuencias por la descarga de sustancias peligrosas.

El propósito fundamental del simulador *ARCHIE* es suministrar al personal de planeación, métodos integrados para evaluar el riesgo de la dispersión de derrames o un posible incendio, relacionados con la descarga de materiales peligrosos en el ambiente. El programa no sólo aumenta el conocimiento de las características de eventos y riesgos de accidentes potenciales, sino que proporciona las bases para la elaboración de los planes de emergencias.

Con la aplicación del modelo *ARCHIE* se simularon los eventos de fugas y/o derrames, evaluándose los efectos máximos en caso de encontrarse una fuente de ignición cercana y presentarse posiblemente los eventos de flamazo o antorcha, en estos casos se determinaron los radios de máxima afectación al entorno, observando las repercusiones al personal, el medio ambiente y a la infraestructura que integra a la línea de descarga.

5.8.1 Criterios utilizados para la simulación de eventos de riesgo

Para proporcionar los datos al simulador se consultó la siguiente información disponible:

- Bases de usuario y planos de trazo y perfil de la línea de descarga en proyecto.
- La experiencia del personal operativo de P.E.P.
- Estadísticas de accidentes en algunas fuentes de información como la AICHE (Instituto Americano de Ingenieros Químicos), entre otras.

5.9 Resultados obtenidos con la aplicación de la metodología *HAZOP*

Adicionalmente, se tomaron las siguientes consideraciones:

- El orificio formado por corrosión o desgaste en la línea de descarga y accesorios es de forma regular, con los bordes hacia afuera y de un diámetro determinado. El diámetro equivalente del orificio varía desde 3.17 mm (0.125") hasta 19.05 mm (0.75"), sin embargo, por considerar la situación de riesgo más crítica se utilizará el mayor diámetro (0.75"). Lo anterior de acuerdo con las estadísticas de frecuencia de fugas en tuberías y accesorios publicadas por *European PiPeline Incident Data Group*.
- Para las simulaciones por ruptura parcial de la línea de descarga debido a golpes con agentes externos (actos de sabotaje, vandalismo y maquinaria pesada) o represionamiento se considerará el 20% del diámetro total de éste (1.6" \varnothing), lo anterior, es de acuerdo con la bibliografía "Riesgo Ambiental" de E. Valdés de la Facultad de Ingeniería de la UNAM y a la guía emitida por la Dirección General de Impacto y Riesgo Ambiental (DGIRA).

- Para el caso de las fugas de gas dulce se simulará como componente riesgoso al metano, por ser la sustancia que se encuentra en mayor porcentaje (66.03% mol); también se simularán los derrames que puedan originarse por el crudo, cuyas características físicas y químicas están descritas en las hojas de datos de seguridad correspondiente para estos tipos de fluidos.
- Para los eventos de fugas o derrames, la tasa máxima de descarga se calculó mediante el simulador *ARCHIE*.
- Para la detección y control de las fugas (gas) y derrames (crudo) se considerará un tiempo estimado, tomando en cuenta las siguientes consideraciones: tiempo máximo para la detección del evento por parte del personal de P.E.P. y considerando que la línea de descarga dispondrá con manógrafo en el punto de inicio (en donde se puede observar la producción o disminución de flujo). Tomando en cuenta lo anterior, para el caso de fugas de gas o derrames de crudo se considerará un tiempo de 45 minutos.
- La velocidad del viento utilizada será de 5 Km/hr (3.10 millas/hr) por ser el promedio en la zona donde se localizará el proyecto y la estabilidad ambiental considerada será clase B, debido a que en la zona es muy difícil que se presenten condiciones extremadamente estables.
- En eventos de incendio, los radios de seguridad se evaluarán a diferentes niveles de radiación, los cuales se describen a continuación:

Tabla 5. 8 Niveles de radiación

Radiación	Descripción
5.0 Kw/m ² (1,500 BTU/ft ² /h)	Nivel de radiación térmica suficiente para causar daños al personal si no se protege adecuadamente en 20 segundos, sufriendo quemaduras hasta de 2 ^o grado sin protección adecuada. Esta radiación es considerada como límite de zona de alto riesgo
1.4 Kw/m ² (440 BTU/ft ² /h)	Es el flujo térmico equivalente al del sol en verano y al medio día. Este límite se considera como zona de amortiguamiento

5.10 Reportes HAZOP

NODO 1: Trazo de la línea de descarga de 8" Ø desde el punto de origen hasta el punto final.	
TIPO: Tubería.	Dibujo: Planos de trazo y perfil.
CONDICIONES DE DISEÑO/PARÁMETROS: Presión.	

DESVIACIÓN	CAUSAS	CONSECUENCIAS	C	F	IR	REACCIONES	RECOMENDACIONES
1.1. Más presión.							
1. Bloqueo parcial o total de válvulas en el punto de llegada.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Esfuerzos mecánicos en la tubería, válvulas, juntas bridadas, empaques y uniones soldadas, pudiéndose presentar fugas. 2. En caso de fugas, puede originarse un incendio si el hidrocarburo logra entrar en contacto con una fuente de ignición. 3. Falla en el suministro de hidrocarburo y, por lo tanto, pérdida de producción. 4. Represionamiento de la tubería con posible incendio. 	<ol style="list-style-type: none"> 1 3 1 4 	<ol style="list-style-type: none"> 3 2 2 1 	<ol style="list-style-type: none"> 3 6 2 4 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Actuación de acuerdo al plan de contingencias y desastres en instalaciones de P.E.P., región Sur. 2. Procedimientos operativos para el manejo y suministro del hidrocarburo a través de la tubería. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Aplicar los programas de mantenimiento preventivo de acuerdo a los procedimientos establecidos, según frecuencia por datos estadísticos y normas. 2. Realizar los procedimientos para el cierre de válvulas en caso de presentarse fugas, dando a conocer el evento a los departamentos operativos y de mantenimiento. 3. Cumplir con los programas de celaje terrestre. 4. Reponer los tramos de tuberías que se encuentren con espesor menor a la especificación. 5. Capacitar al personal de operación y mantenimiento con respecto a la seguridad. 	

C = CONSECUENCIA O GRAVEDAD

F = FRECUENCIA O PROBABILIDAD

IR = ÍNDICE DE RIESGO

NODO 1: Trazo de la línea de descarga de 8" Ø desde el punto de origen hasta el punto final.	
TIPO: Tubería.	Dibujo: Planos de trazo y perfil.
CONDICIONES DE DISEÑO/PARÁMETROS: Presión	

DESVIACIÓN	CAUSAS	CONSECUENCIAS	C	F	IR	REACCIONES	RECOMENDACIONES
1.2. Menos presión.							
1. Fracturas o fisuras por corrosión en la tubería o fallas de soldaduras y conexiones.	<p>1. Disminución del flujo en el punto de llegada y, por lo tanto, pérdida de producción.</p> <p>2. En caso de presentarse fugas, formación de un incendio si el hidrocarburo logra entrar en contacto con una fuente de ignición cercana.</p>	<p>1</p> <p>3</p>	<p>2</p> <p>2</p>	<p>2</p> <p>6</p>	<p>1. Actuación de acuerdo al plan de contingencias y desastres en instalaciones de P.E.P., Región Sur.</p> <p>2. Procedimientos operativos para el manejo y suministro del hidrocarburo a través de la tubería.</p>	<p>1. Aplicar los programas de mantenimiento preventivo de acuerdo a los procedimientos establecidos, según frecuencia por datos estadísticos y normas.</p> <p>2. Realizar los procedimientos para el cierre de válvulas en caso de presentarse fugas, dando a conocer el evento a los departamentos operativos y de mantenimiento.</p> <p>3. Cumplir con los programas de celaje terrestre.</p> <p>4. Reponer los tramos de tuberías que se encuentren con espesores menores a la especificación.</p> <p>5. Capacitar al personal de operación y mantenimiento en cuanto a seguridad.</p>	

NODO 1: Trazo de la línea de descarga de 8" Ø desde el punto de origen hasta el punto final.	
TIPO: Tubería.	Dibujo: Planos de trazo y perfil.
CONDICIONES DE DISEÑO/PARÁMETROS: Corrosión.	

DESVIACIÓN	CAUSAS	CONSECUENCIAS	C	F	IR	REACCIONES	RECOMENDACIONES
1.3. Sí Corrosión.							
<p>1. Mala protección mecánica y/o catódica.</p> <p>2. Acumulación de agentes corrosivos en el interior de la tubería.</p>	<p>1. Disminución del espesor de diseño, pudiendo provocar fugas debido a la formación de orificios por corrosión en la superficie de la tubería.</p> <p>2. En caso de fugas, probable incendio si el hidrocarburo logra entrar en contacto con una fuente de ignición.</p> <p>3. Falla en el suministro del hidrocarburo al punto de llegada y, por lo tanto, pérdida de producción.</p>		1	3	3	<p>1. Actuación de acuerdo al plan de contingencias y desastres en instalaciones de P.E.P., Región Sur.</p> <p>2. Procedimientos operativos para el manejo y suministro del hidrocarburo a través de la tubería.</p>	<p>1. Aplicar los programas de mantenimiento preventivo de acuerdo a los procedimientos establecidos, según frecuencia por datos estadísticos y normas.</p> <p>2. Realizar los procedimientos para el cierre de válvulas en caso de presentarse fugas, dando a conocer el evento a los departamentos operativos y de mantenimiento.</p> <p>3. Cumplir con los programas de celaje terrestre.</p> <p>4. Reponer los tramos de tuberías que se encuentren con espesores menores a la especificación.</p> <p>5. Inspeccionar la protección mecánica y/o catódica, para cerciorarse que cumpla con las especificaciones de diseño.</p> <p>6. Capacitar al personal de operación y mantenimiento en cuanto a seguridad.</p>
			3	2	6		
			1	2	2		

NODO 1: Trazo de la línea de descarga de 8" – desde el punto de origen hasta el punto final.	
TIPO: Tubería.	Dibujo: Planos de trazo y perfil.
CONDICIONES DE DISEÑO/PARÁMETROS: Agentes externos.	

DESVIACIÓN	CAUSAS	CONSECUENCIAS	C	F	IR	REACCIONES	RECOMENDACIONES
1.4. Sí agentes externos.							
1.	Eventos no controlados como golpes con agentes externos (actos de vandalismo, sabotaje o maquinaria pesada).	<ol style="list-style-type: none"> 1. Esfuerzos mecánicos a la tubería, válvulas, juntas bridadas o uniones soldadas, pudiéndose presentar fugas. 2. Fuga de hidrocarburo de manera inmediata, pudiendo originar un incendio si se localiza una fuente de ignición cercana. 3. Falla en el suministro del hidrocarburo en el punto de llegada y, por lo tanto, pérdida de producción. 	2	2	4	<ol style="list-style-type: none"> 1. Actuación de acuerdo al plan de contingencias y desastres en instalaciones de P.E.P. Región Sur. 2. Procedimientos operativos para el manejo y suministro del hidrocarburo a través de la tubería. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Realizar los procedimientos para el cierre de válvulas en caso de presentarse fugas, dando a conocer el evento a los departamentos operativos y de mantenimiento. 2. Capacitar al personal de operación y mantenimiento en cuanto a seguridad. 3. Dar a conocer a los habitantes de poblaciones aledañas sobre los riesgos a los que se exponen en caso de realizar actividades sobre el derecho de vía. 4. Instalar señalamientos preventivos y restrictivos, haciendo énfasis particular en instalaciones de origen y destino. 5. Continuar con la seguridad física a instalaciones superficiales.
			3	2	6		
			1	2	2		

NODO 1: Trazo de la línea de descarga de 8" → desde el punto de origen hasta el punto final.	
TIPO: Tubería.	Dibujo: Planos de trazo y perfil.
CONDICIONES DE DISEÑO/PARÁMETROS: Errores humanos.	

DESVIACIÓN	CAUSAS	CONSECUENCIAS	C	F	IR	REACCIONES	RECOMENDACIONES
1.5. Sí errores humanos.							
1. Abandono del área por parte del personal encargado de la supervisión durante la operación y/o mantenimiento de la tubería. 2. Incumplimiento en los programas de capacitación dirigidos al personal de operación y mantenimiento.	1. Falla en el sistema, llegándose a provocar fugas debido a la formación de poros u orificios. 2. En caso de fugas, formación de un incendio si el hidrocarburo encuentra una fuente de ignición cercana. 3. Falla en el suministro del hidrocarburo en el punto de llegada y, por lo tanto, pérdida de producción.		1	3	3	1. Actuación de acuerdo al plan de contingencias y desastres en instalaciones de P.E.P. , Región Sur. 2. Procedimientos operativos para el manejo y suministro del hidrocarburo a través de la tubería.	1. Realizar los procedimientos para el cierre de válvulas en caso de presentarse fugas, dando a conocer el evento a los departamentos operativos y de mantenimiento. 2. Cumplir con los programas de celaje terrestre. 3. Capacitar al personal de operación y mantenimiento en cuanto a seguridad. 4. Realizar campañas de orientación al personal operativo y de mantenimiento sobre las causas que se tendrían por abandono durante las actividades de trabajo.
			3	2	6		
			1	2	2		

NODO 2: Accesorios (válvulas, juntas bridadas, empaques y uniones soldadas).

TIPO: Accesorios.

Dibujo: Planos de trazo y perfil.

CONDICIONES DE DISEÑO/PARÁMETROS: Presión.

DESVIACIÓN	CAUSAS	CONSECUENCIAS	C	F	IR	REACCIONES	RECOMENDACIONES
1.1. Menos presión.							
1. Bloqueo parcial o total de válvulas en la batería. 2. Fugas debido al incumplimiento en los programas de mantenimiento.	1. Falla en el suministro del hidrocarburo y, por lo tanto, pérdida de producción. 2. En caso de fugas, formación de un incendio si el hidrocarburo encuentra una fuente de ignición cercana.	1 3	3 2	3 6	1. Actuación de acuerdo al plan de contingencias y desastres en instalaciones de P.E.P. , Región Sur. 2. Procedimientos operativos para el manejo y suministro del hidrocarburo a través de la tubería.	1. Realizar los procedimientos para el cierre de válvulas en caso de presentarse fugas, dando a conocer el evento a los departamentos operativos y de mantenimiento. 2. Cumplir con los programas de celaje terrestre y de mantenimiento preventivo y correctivo. 3. Capacitar al personal de operación y mantenimiento en cuanto a seguridad. 4. Realizar campañas de orientación al personal operativo y de mantenimiento sobre las causas que se tendrían por abandono durante las actividades de trabajo. 5. Asegurar el correcto ajuste en las juntas bridadas y colocar empaques nuevos durante el mantenimiento.	

NODO 2: Accesorios (válvulas, juntas bridadas, empaques y uniones soldadas).	
TIPO: Accesorios.	Dibujo: Planos de trazo y perfil.
CONDICIONES DE DISEÑO/PARÁMETROS: Corrosión.	

DESVIACIÓN	CAUSAS	CONSECUENCIAS	C	F	IR	REACCIONES	RECOMENDACIONES
1.2. Sí corrosión.							
1. Mala protección mecánica. 2. Exceso de agentes corrosivos en el ambiente externo.	1. Fuga del hidrocarburo debido a la formación de poros con posible incendio y contaminación al medio ambiente. 2. Falla en el suministro del fluido con pérdida de producción.	1 1	3 2	3 2	1. Actuación de acuerdo al plan de contingencias y desastres en instalaciones de P.E.P., Región Sur. 2. Procedimientos operativos para el manejo y suministro del hidrocarburo a través de la tubería.	1. Aplicar los programas de mantenimiento preventivo de acuerdo a los procedimientos establecidos, según frecuencia por datos estadísticos y normas. 2. Realizar los procedimientos para el cierre de válvulas en caso de presentarse fugas, dando a conocer el evento a los departamentos operativos y de mantenimiento. 3. Cumplir con los programas de celaje terrestre. 4. Inspeccionar la protección mecánica y/o catódica, para cerciorarse que cumpla con las especificaciones de diseño. 5. Capacitar al personal de operación y mantenimiento en cuanto a seguridad.	

NODO 2: Accesorios (válvulas, juntas bridadas, empaques y uniones soldadas).	
TIPO: Accesorios.	Dibujo: Planos de trazo y perfil.
CONDICIONES DE DISEÑO/PARÁMETROS: Errores humanos.	

DESVIACIÓN	CAUSAS	CONSECUENCIAS	C	F	IR	REACCIONES	RECOMENDACIONES
1.3. Sí errores humanos.							
1. Abandono del área por parte del personal encargado de la supervisión durante la operación y/o mantenimiento.	1. Fallas durante las actividades de mantenimiento.	1. Falla en el sistema, llegándose a provocar fugas debido a la formación de poros u orificios.	1	3	3	1. Actuación de acuerdo al plan de contingencias y desastres en instalaciones de P.E.P. , Región Sur.	1. Realizar los procedimientos para el cierre de válvulas en caso de presentarse fugas, dando a conocer el evento a los departamentos operativos y de mantenimiento.
2. Incumplimiento en los programas de capacitación dirigidos al personal de operación y mantenimiento.	3. Fugas debido al incumplimiento en los programas de mantenimiento.	2. En caso de fugas, formación de un incendio si el hidrocarburo encuentra una fuente de ignición cercana.	3	2	6	2. Procedimientos operativos para el manejo y suministro del hidrocarburo a través de la tubería.	2. Cumplir con los programas de celaje terrestre.
3. Fallas durante las actividades de mantenimiento.		3. Falla en el suministro del hidrocarburo en el punto de llegada y, por lo tanto, pérdida de producción.	1	2	2		3. Capacitar al personal de operación y mantenimiento en cuanto a seguridad.
4. Fugas debido al incumplimiento en los programas de mantenimiento.							4. Realizar campañas de orientación al personal operativo y de mantenimiento sobre las causas que se tendrían por abandono durante las actividades de trabajo.

NODO 3 y 4: Cabezal y bayoneta.	
TIPO: Tuberías.	Dibujo: Planos de trazo y perfil.
CONDICIONES DE DISEÑO/PARÁMETROS: Presión.	

DESVIACIÓN	CAUSAS	CONSECUENCIAS	C	F	ÍR	REACCIONES	RECOMENDACIONES
1.1. Más presión.							
1. Falla en el equipo de instrumentación. 2. Sabotaje. 3. Mantenimiento a las válvulas del cabezal.		1. Cierre de pozos y, por lo tanto, pérdida de producción. 2. Ruptura de líneas y posible incendio si el hidrocarburo logra entrar en contacto con una fuente de ignición.	3 3	2 2	6 6	1. Actuación de acuerdo al plan de contingencias y desastres en instalaciones de P.E.P. , región Sur. 2. Procedimientos operativos para el manejo y suministro del fluido a través de la tubería.	1. Aplicar los programas de mantenimiento preventivo de acuerdo a los procedimientos establecidos, según frecuencia por datos estadísticos y normas. 2. Realizar los procedimientos para el cierre de válvulas en caso de presentarse fugas, dando a conocer el evento a los departamentos operativos y de mantenimiento. 3. Capacitar al personal de operación y mantenimiento con respecto a la seguridad. 4. Continuar con la vigilancia en las instalaciones superficiales, para evitar eventos de sabotaje. 5. Cumplir con los programas de celaje terrestre.

NODO 3 y 4: Cabezal y bayoneta.	
TIPO: Tuberías.	Dibujo: Planos de trazo y perfil.
CONDICIONES DE DISEÑO/PARÁMETROS: Presión	

DESVIACIÓN	CAUSAS	CONSECUENCIAS	C	F	ÍR	REACCIONES	RECOMENDACIONES
1.2. Menos presión.							
1. Reparación en el cabezal. 2. Fuga en la L.D.D.. 3. Cierre de válvulas en el cabezal.	1. Disminución del flujo en el cabezal y, por lo tanto, pérdida de producción. 2. En caso de presentarse fugas, formación de un incendio si el fluido logra entrar en contacto con una fuente de ignición cercana.	3 3	2 2	6 6	1. Actuación de acuerdo al plan de contingencias y desastres en instalaciones de P.E.P. , Región Sur. 2. Procedimientos operativos para el manejo y suministro del fluido a través de la tubería.	1. Aplicar los programas de mantenimiento preventivo de acuerdo a los procedimientos establecidos, según frecuencia por datos estadísticos y normas. 2. Realizar mayor supervisión en las válvulas de control. 3. Cumplir con los programas de celaje terrestre. 4. Reponer los tramos de tuberías que se encuentren con espesores menores a la especificación. 5. Capacitar al personal de operación y mantenimiento en cuanto a seguridad. 6. Llevar un registro referente a la operación de pozos.	

NODO 3 y 4: Cabezal y bayoneta.	
TIPO: Tuberías.	Dibujo: Planos de trazo y perfil.
CONDICIONES DE DISEÑO/PARÁMETROS: Corrosión.	

DESVIACIÓN	CAUSAS	CONSECUENCIAS	C	F	ÍR	REACCIONES	RECOMENDACIONES
1.3. Sí corrosión.							
1. Falla en la protección mecánica y/o catódica. 2. Falla de la bomba inyectora del inhibidor. 3. Suministro inadecuado del inhibidor. 4. Acumulación de agentes corrosivos en las paredes de la tubería.		1. Disminución del espesor de diseño, pudiendo provocar fugas debido a la formación de orificios por corrosión en la superficie de las tuberías. 2. En caso de fugas, probable incendio si el fluido logra entrar en contacto con una fuente de ignición. 3. Falla en el suministro del fluido y, por lo tanto, pérdida de producción.	1	3	3	1. Actuación de acuerdo al plan de contingencias y desastres en instalaciones de P.E.P. , Región Sur. 2. Procedimientos operativos para el manejo y suministro del fluido a través de la tubería.	1. Aplicar los programas de mantenimiento preventivo de acuerdo a los procedimientos establecidos, según frecuencia por datos estadísticos y normas. 2. Registrar la cantidad de inhibidor inyectado. 3. Supervisión continua a la bomba inyectora de inhibidor. 4. Reponer los tramos de tuberías que se encuentren con espesores menores a la especificación. 5. Inspeccionar la protección mecánica y/o catódica, para cerciorarse que cumpla con las especificaciones de diseño.
			3	2	6		
			1	2	2		

NODO 3 y 4: Cabezal y bayoneta.	
TIPO: Tuberías.	Dibujo: Planos de trazo y perfil.
CONDICIONES DE DISEÑO/PARÁMETROS: Agentes externos.	

DESVIACIÓN	CAUSAS	CONSECUENCIAS	C	F	ÍR	REACCIONES	RECOMENDACIONES	
1.4. Sí agentes externos.								
1. Eventos no controlados como golpes con agentes externos (actos de vandalismo, sabotaje o uso de equipo pesado).	2. Falta del personal de vigilancia. 3. Problemas sociales por el reclamo de pago de afectaciones. 4. "Ordeñamiento" en la L.D.D..	1. Esfuerzos mecánicos a las tuberías, válvulas, juntas bridadas o uniones soldadas, pudiéndose presentar fugas.	2	2	4	1. Actuación de acuerdo al plan de contingencias y desastres en instalaciones de P.E.P. Región Sur. 2. Procedimientos operativos para el manejo y suministro del fluido a través de la tubería.	1. Proporcionar seguridad física a las instalaciones superficiales. 2. Realizar los procedimientos para el cierre de válvulas en caso de presentarse fugas, dando a conocer el evento a los departamentos operativos y de mantenimiento. 3. Capacitar al personal de operación y mantenimiento en cuanto a seguridad. 4. Cumplir con los programas de celaje terrestre.	
		2. Fuga del fluido de manera inmediata, pudiendo originar un incendio si se localiza una fuente de ignición cercana.						
			3. Falla en el suministro del fluido y, por lo tanto, pérdida de producción.					
			4. Obstrucción al acceso de las instalaciones para realizar programas de mantenimiento.	3	2	6		
			1	2	2		5. Dar a conocer a los habitantes de poblaciones aledañas sobre los riesgos a los que se exponen en caso de realizar actividades sobre el derecho de vía.	
			3	2	6		6. Instalar señalamientos preventivos y restrictivos, haciendo énfasis particular en instalaciones de origen y destino.	

NODO 3 y 4: Cabezal y bayoneta.

TIPO: Tubería.

Dibujo: Planos de trazo y perfil.

CONDICIONES DE DISEÑO/PARÁMETROS: Errores humanos.

DESVIACIÓN	CAUSAS	CONSECUENCIAS	C	F	ÍR	REACCIONES	RECOMENDACIONES
1.5. Sí errores humanos.							
1. Abandono del área por parte del personal encargado de la supervisión durante la operación y/o mantenimiento de las instalaciones superficiales. 2. Incumplimiento en programas de capacitación dirigidos al personal de operación y mantenimiento, con mayor énfasis al personal de nuevo ingreso.	1. Falla en el cabezal, llegándose a provocar fugas debido a la formación de poros u orificios. 2. En caso de fugas, formación de un incendio si el fluido encuentra una fuente de ignición cercana. 3. Falla en el suministro del fluido y, por lo tanto, pérdida de producción.		3	2	6	1. Actuación de acuerdo al plan de contingencias y desastres en instalaciones de P.E.P. , Región Sur. 2. Procedimientos operativos para el manejo y suministro del fluido a través de la tubería.	1. Realizar los procedimientos para el cierre de válvulas en caso de presentarse fugas, dando a conocer el evento a los departamentos operativos y de mantenimiento. 2. Capacitar al personal de operación y mantenimiento en cuanto a seguridad. 3. Realizar campañas de orientación al personal operativo y de mantenimiento sobre las causas que se tendrían por abandono durante las actividades de trabajo. 4. Continuar con los programas de celaje terrestre.
			3	2	6		
			2	2	4		

5.11 Conclusiones del proyecto

De presentarse una eventualidad se aplicará el Plan de Respuesta a Emergencias, cuyas partes medulares son las siguientes:

- Cerrar las válvulas del pozo y del cabezal.
- Alertar al personal de Seguridad Industrial y Protección Ambiental, para la evaluación del evento.
- Delimitar en campo la zona afectada.
- Recuperación del aceite libre que se encuentre mediante pozos someros.
- Aplicar técnicas de remediación física o biológica apropiadas para llevar el área afectada a los valores requeridos, en apego a la normatividad vigente.

5.12 Caso 2 de aplicación de la metodología HAZOP

5.12.1 Nombre del proyecto

Proyecto: “Construcción de infraestructura de separación y obras complementarias para la batería de separación Rabasa PEMEX exploración y producción subdirección región sur gerencia de construcción y mantenimiento, subgerencia de ingeniería de proyecto.

5.13 Objetivo del estudio

El objetivo es realizar el análisis de riesgo en los procesos, con la finalidad de identificar los peligros y analizar los riesgos partiendo de la premisa de que los problemas de operatividad se producen por causa de una desviación de las condiciones de operación, con respecto a los parámetros normales de operación en un sistema dado y en una etapa determinada (diseño, arranque, operación normal, operación en una emergencia y paro, etc.), esto permite evaluar las consecuencias a la instalación, producción, al personal, a la población y al ambiente.

5.14 Requerimientos

La documentación mínima requerida para llevar a cabo el análisis del presente proyecto a través de esta metodología son los siguientes:

Bases de diseño del proyecto.

Plano de localización general.

Diagramas de Tuberías e Instrumentación (DTI's).

Diagrama de flujo de procesos (DFP).

5.15 Alcance del estudio

El procesamiento de hidrocarburos programado para la Batería de Separación Rabasa se considera como Actividad Altamente Riesgosa, ya que el material que se maneja dará en la instalación sobrepasara la cantidad de reporte establecida, de acuerdo a la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección Ambiental (LEGPA).

Así mismo, de acuerdo a la NOM-028-STPS-2004, Organización del Trabajo-Seguridad en los Procesos de Sustancias Químicas, esta norma aplica a todos los procesos en los centros de trabajo donde se realicen operaciones con sustancias químicas peligrosas en cantidad igual o mayor a la cantidad umbral, que en el caso del petróleo crudo es de 500 Ton.

Por lo tanto, la instalación debe contar con un sistema de Administración de Riesgos de Procesos que incluya: el manejo de la información relacionada con el proceso y el equipo crítico, análisis de riesgo, administración de riesgos, investigación de accidentes mayores, trabajos peligrosos, integridad mecánica, administración de cambios, contratistas, capacitación y adiestramiento, y auditorías internas.

Por lo anterior se llevara a cabo el análisis de riesgo en los procesos del proyecto: “Construcción de infraestructura de separación y obras complementarias para la Batería de Separación Rabasa”, mediante la aplicación de la metodología del Análisis de Peligros y Operatividad (*HAZOP*) para la identificación de los riesgos, analizar sus causas y consecuencias, y definir las recomendaciones que permitan alcanzar un nivel de seguridad aceptable.

Es importante mencionar con respecto al análisis de riesgo se debe contar con un análisis de riesgo para cada uno de los procesos críticos del centro de trabajo, se deben aplicar uno o más métodos específicos para identificar, evaluar y controlar los riesgos significativos asociados con el proceso, se debe incluir una sección de recomendaciones para la administración de los riesgos de proceso identificados, y finalmente se debe actualizar el análisis de riesgo al menos cada cinco años, cuando se realicen cambios en algún proceso o cuando se proyecte un proceso nuevo o producto de una investigación de accidente mayor.

5.16 Descripción de los procesos y/o operaciones analizadas

5.16.1 Descripción del proceso actual

Actualmente los pozos del Campo Rabasa en alta presión se estrangulan para entrar a una presión de 35 kg/cm² en el cabezal de pozos de alta, enviándose los hidrocarburos de este cabezal hacia el Oleoducto Rabasa – Los Soldados para su separación posterior.

Los pozos en baja presión son tratados en el separador SHIP – 1, de donde el gas producido es regulado y enviado al quemador de fosa existente, mientras que los líquidos son almacenados en los tanques de almacenamiento de 500 BLS TV-1, TV-2 y TV-3 para su transporte por pipas hacia CPGLV.

5.16.2 Descripción del proceso propuesto

El cabezal de recolección primario para manejo de los pozos en alta presión, de los campos Rabasa alimentará a un tren de separación bifásico gas-líquido instrumentado que contemple un (1) separador bifásico gas-líquido de alta presión instrumentado (SVAP-101), con capacidad de 15 MBPD de líquidos y 10 MMPCSD de gas, un (1) separador bifásico gas-líquido de presión intermedia instrumentado (SVIP-102), con capacidad de 15 MBPD de líquidos y 3.5 MMPCSD de gas, un (1) separador bifásico gas-líquido de baja presión instrumentado (SVBP-103); con capacidad de 15 MBPD de líquidos y 2 MMPCSD de gas; El cabezal de recolección de grupo para manejo de los pozos en baja presión de los campos Rabasa alimentará a un separador bifásico gas-líquido de baja presión instrumentado (SVBP-104); con capacidad de 3 MBPD de líquidos y 2 MMPCSD de gas; El cabezal de prueba de pozos para medición y afore de pozos, alimentará a un tren de medición y separación bifásico gas-líquido instrumentado que contemple un (1) separador bifásico gas-líquido de alta presión instrumentado (SVMAP-110), con capacidad de 3 MBPD de líquidos y 3 MMPCSD de gas, un (1) separador bifásico gas-líquido de presión intermedia instrumentado (SVMIP-111), con capacidad de 3 MBPD de líquidos y 2 MMPCSD de gas, un (1) separador bifásico gas-líquido de baja presión instrumentado (SVMBP-112), con capacidad de 3 MBPD de líquidos y 2 MMPCSD de gas; la corriente de gas proveniente del sistema de separación se enviará a un Rectificador RVBP-120 y de aquí el gas rectificado se enviará al módulo de compresión y posteriormente al gasoducto. Los líquidos producto del proceso de separación serán medidos y almacenados en el tanque TV-100 y enviados por medio de las bombas de combustión interna GA-110 y GA-110R Oleoducto para ser enviados CPGLV para su estabilización final. La operación de válvulas será autónoma mediante el sistema de gas neumático y de instrumentos que contará con un acumulador separador (SVBP-130) de gas de instrumentos sobre patín tipo modular con todos los arreglos de tuberías e instrumentación necesaria para el manejo de la corriente de gas que dará el servicio como gas combustible y gas neumático.

El colector de pozos requiere que el diseño del cabezal de recolección cuente con arreglos de tubería e instrumentación necesarios para el manejo de las corrientes líquidas y gaseosas.

El separador bifásico vertical de alta presión (SVAP-101) deberá contar con instrumentación neumática, montado sobre patín tipo modular, con capacidad de 15 MBPD de líquidos y 10 MMPCSD de gas, para la separación aceite - gas. Los internos de separación del equipo, deberán garantizar alta eficiencia operativa con arrastres menores de 0.1 galones de líquido por MMPCS de gas, y retención de partículas con tamaño de 10 micras y mayores, a las condiciones máximas, normales y mínimas de operación.

El recipiente deberá ser bifásico del tipo vertical para alta presión y alta eficiencia, con instrumentación neumática, que permita trabajar de forma autónoma.

El separador bifásico vertical de presión intermedia (SVIP-102) deberá contar con instrumentación neumática, montado sobre patín tipo modular, con capacidad de 15 MBPD de líquidos y 3.5 MMPCSD de gas, para la separación aceite - gas. Los internos de separación del equipo, deberán garantizar alta eficiencia operativa con arrastres menores de 0.1 galones de líquido por MMPCS de gas, y retención de partículas con tamaño de 10 micras y mayores, a las condiciones máximas, normales y mínimas de operación. El recipiente deberá ser bifásico del tipo vertical para alta presión y alta eficiencia, con instrumentación neumática, que permita trabajar de forma autónoma.

El separador bifásico vertical de baja presión (SVBP-103) deberá contar con instrumentación neumática, montado sobre patín tipo modular, con capacidad de 15 MBPD de líquidos y 2 MMPCSD de gas, para la separación aceite - gas. Los internos de separación del equipo, deberán garantizar alta eficiencia operativa con arrastres menores de 0.1 galones de líquido por MMPCS de gas, y retención de partículas con tamaño de 10 micras y mayores, a las condiciones máximas, normales y mínimas de operación. El recipiente deberá ser bifásico del tipo vertical para alta presión y alta eficiencia, con instrumentación neumática, que permita trabajar de forma autónoma.

El separador de medición bifásico vertical de alta presión (SVMAP-110) deberá contar con instrumentación neumática, montado sobre patín tipo modular, con capacidad de 3 MBPD de líquidos y 3 MMPCSD de gas, para la separación aceite - gas. Los internos de separación del equipo, deberán garantizar alta eficiencia operativa con arrastres menores de 0.1 galones de líquido por MMPCS de gas, y retención de partículas con tamaño de 10 micras y mayores, a las condiciones máximas, normales y mínimas de operación. El recipiente deberá ser bifásico del tipo vertical para alta presión y alta eficiencia, con instrumentación neumática, que permita trabajar de forma autónoma.

El separador de medición bifásico vertical de presión intermedia (SVMIP-111) deberá contar con instrumentación neumática, montado sobre patín tipo modular, con capacidad de 3 MBPD de líquidos y 2 MMPCSD de gas, para la separación aceite - gas. Los internos de separación del equipo, deberán garantizar alta eficiencia operativa con arrastres menores de 0.1 galones de líquido por MMPCS de gas, y retención de partículas con tamaño de 10 micras y mayores, a las condiciones máximas, normales y mínimas de operación. El recipiente deberá ser bifásico del tipo vertical para alta presión y alta eficiencia, con instrumentación neumática, que permita trabajar de forma autónoma.

El separador de medición bifásico vertical de baja presión (SVMBP-112) deberá contar con instrumentación neumática, montado sobre patín tipo modular, con capacidad de 3 MBPD de líquidos y 2 MMPCSD de gas, para la separación aceite - gas. Los internos de separación del equipo, deberán garantizar alta eficiencia operativa con arrastres menores de 0.1 galones de líquido por MMPCS de gas, y retención de partículas con tamaño de 10 micras y mayores, a las condiciones máximas, normales y mínimas de operación. El recipiente deberá ser bifásico del tipo vertical para alta presión y alta eficiencia, con instrumentación neumática, que permita trabajar de forma autónoma.

El rectificador bifásico vertical de baja presión (RVBP-120) deberá contar con instrumentación neumática, montado sobre patín tipo modular, con capacidad de 2 MBPD de líquidos y 15 MMPCSD de gas, para la separación aceite - gas. Los internos de separación del equipo, deberán garantizar alta eficiencia operativa con arrastres menores de 0.08 galones de líquido por MMPCS de gas, y retención de partículas con tamaño de 8 micras y mayores, a las condiciones máximas, normales y mínimas de operación. El recipiente deberá ser bifásico del tipo vertical para alta presión y alta eficiencia, con instrumentación neumática, que permita trabajar de forma autónoma.

El acumulador separador SVBP-130 de gas de instrumentos deberá contar con instrumentación neumática, montado sobre patín tipo modular. El sistema de gas de instrumentos contará con todos los equipos, arreglo de tuberías e instrumentación necesaria para el manejo de la corriente de gas que dará el servicio como gas neumático y gas combustible, el recipiente deberá ser bifásico del tipo vertical para alta presión, con instrumentación neumática, que permita trabajar de forma autónoma.

5.16.3 Descripción del entorno

Ubicación:

La Batería Rabasa, se localiza geográficamente a los 18° 07'41.00" de latitud Norte y 94° 12'03.00" de longitud Oeste del meridiano de Greenwich. Sus coordenadas UTM son: X=372953 y Y=2004775.

Para acceder al área de proyecto partiendo de la Ciudad de Villahermosa, se transita por la Carretera Federal No. 180 Villahermosa – Coatzacoalcos, hasta al entronque de la carretera que conduce al municipio de Agua Dulce, de este punto en dirección al Norte aproximadamente 10+000 km se llega a la ciudad de Agua dulce, Veracruz, al llegar al municipio de Agua Dulce se continua en dirección al Noroeste por la carretera que conduce a la localidad de Guillermo Prieto, recorriéndose aproximadamente 5+000 km, y se llega al camino de acceso a la Batería de Separación y Estación de Compresión Rabasa.

5.16.4 Condiciones ambientales

Las condiciones ambientales para el desarrollo del presente proyecto son las siguientes:

Temperatura:

Máxima	40.0 °C
Mínima	17.0°C
Promedio	30.0°C

Precipitación pluvial:

2250 mm a 3000 mm.

Vientos:

Máximo	100 Km./hr
Mínimo	00 Km./hr
Promedio	15 Km/hr

Dirección de los vientos

Dominantes por nortes (máxima intensidad ocasionales en invierno).

Reinantes todo el año Alisios, Noreste-Suroeste

Humedad relativa:

Esta zona es considerada como muy húmeda.

Máxima	85 %
Mínima	79.5 %
Promedio	74%

Atmosféricas.

Presión atmosférica: 760.0 mmHg (14.7 psia)

Clima.

Cálido húmedo con lluvias abundantes en verano (Mayo-Octubre) con periodo “canicular” intermedio entre (Noviembre - Abril) con periodo de lluvias invernales (nortes).

Regularmente los “Nortes” ocurren en los meses de Octubre a Marzo y son acompañados por vientos con velocidades de 50 a 70 Km/hr.

Zona sísmica.

Clasificación de zona sísmica “B” de acuerdo a la regionalización sísmica de la CFE a una altitud de 15 a 20 metros sobre el nivel del mar.

5.17 Premisas y consideraciones hechas para seleccionar la(s) metodología(s) aplicada(s)

Con base en el diseño conceptual, las metodologías de evaluación pueden ser cualitativas y diseñadas específicamente para el proyecto identificando y jerarquizando los riesgos ambientales en cada una de las áreas de proceso, almacenamiento y transporte, respecto a uno o más componentes ambientales identificados. Como ejemplo indicativo más no limitativo, podemos citar las siguientes metodologías que se pueden adaptar a cada proyecto en particular:

Análisis de seguridad.

Lista de verificación.

Jerarquización.

Análisis preliminar de riesgo.

¿Qué pasa sí...?

Análisis de peligros y operatividad (*HAZOP*).

Sin embargo es importante acotar que éstas siguen siendo metodologías usadas en vidas humanas y bienes materiales, por lo que dichas metodologías, así como los radios de afectación, se tienen que adaptar a los componentes ambientales afectados.

El presente análisis de riesgos de procesos tiene como principio básico identificar las posibles causas por las que se pueden producir los accidentes además de dar a conocer la manera en la cual pueden prevenirse. El análisis de riesgos es utilizado para puntualizar aquellas debilidades en el diseño y la operación de las instalaciones donde se puedan ocasionar fugas, derrames, incendios o explosiones (deflagraciones).

Para prevenir acontecimientos o eventos con repercusiones sobre la población, el medio ambiente y las instalaciones, es necesaria la aplicación de diversas técnicas de identificación de los riesgos potenciales los cuales están intrínsecamente ligados en la operación y manejo del mismo que es por lo general donde se presentan los mayores riesgos.

5.18 Objetivos

Con la aplicación de las técnicas de identificación de riesgos y posteriormente su jerarquización lo que se pretende es lo siguiente:

- Evaluar y reducir las consecuencias de accidentes.
- Identificar la probabilidad de aparición de estos sucesos no deseados.
- Identificar las causas de los riesgos.
- Verificar o comprobar la fiabilidad de los sistemas.
- Establecer medidas de prevención y protección.

Para la presente instalación bajo análisis fue necesario realizar recorridos (visita de campo) en el área en la cual se construirá el sistema de tratamiento de aguas congénitas e inyección a pozos, así como el área de influencia de estos, consulta a la información como: bases de diseño, especificaciones técnicas, etc.; así como de la revisión de información plasmada en los planos de localización general, (PLG), diagrama de tubería e instrumentación (DTÍ's) y diagrama de flujo de proceso (DFP), en donde están descritos las características particulares del proyecto.

Es así que en base a la revisión de toda la información anterior, se identificaron y jerarquizaron los riesgos probables en el sistema de tratamiento de aguas congénitas e inyección a pozos, de proyecto. Todo esto mediante la utilización de una metodología de riesgo que nos proporcionó información de los posibles riesgos que pudiesen presentarse en ambos sistemas. Así también de establecer recomendaciones e incorporar medidas de seguridad para evitar o minimizar los efectos potenciales en caso de un accidente.

El propósito de la identificación y evaluación de riesgos es localizar posibles accidentes potenciales, determinar su causa y sus consecuencias, así como estimar los parámetros de frecuencia y severidad, por lo que para este fin se define un accidente, como una secuencia de sucesos imprevistos que provoca consecuencias indeseadas.

5.19 Criterios a considerar

Es por eso que los criterios a considerar para la selección de la metodología utilizada para la identificación y jerarquización de riesgos, son los que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 5. 9 Criterios a considerar para la selección de la metodología adecuada para la identificación de posibles riesgos

Criterio a considerar	Definición
Objetivo	¿Qué buscamos?, ¿Qué queremos identificar y/o evaluar?
Etapas	¿Cuándo lo vamos a utilizar?, en fase de diseño, arranque, operación, etc.
Resultados	¿Lista, clasificación o grado de riesgos, etc.?
Naturaleza de los resultados	¿Cuantitativos y/o cualitativos?
Información necesaria	¿Suficiente y de buena calidad relativa a los riesgos en estudio?
Personal	Clasificación por especialidad, No. de participantes, etc.
Tiempo y costo	Costo/beneficio.

Fuente: Metodología cuantitativa de *Facility Risk Review (FRR)*, Técnica de Revisión de Riesgos.

Es así que mediante el análisis de la información del proyecto, de las características fisicoquímicas de las sustancias a manejar, así como de la operación de cada uno de los elementos (recipientes, tuberías, válvulas, bridas, conexiones, empaques y demás componentes), con que contará el proyecto, se determinó la selección de la metodología de identificación de riesgo *HAZOP (Hazard and Operability)*, ya que nos permite identificar los escenarios de riesgos probables.

Posteriormente, son jerarquizados a fin de poder seleccionar los escenarios para la caracterización de una situación de riesgo, que permita una etapa operativa confiable en las instalaciones que conforman el proyecto, sin descuidar los aspectos de protección a la misma instalación y entorno (infraestructura de las mismas, instalaciones cercanas, personal laboral, medio ambiente, población y pérdida de producción).

Todo esto en apoyo con la experiencia y el juicio profesional del equipo multidisciplinario participante en este estudio de evaluación de riesgo, cualitativo. Es por eso que con un análisis *HAZOP*, se pretende:

Descripción y desarrollo de la metodología seleccionada para la identificación de los riesgos.

5.20 Definición de nodos

Los nodos se definieron en base al esquema de flujo de proceso del proyecto de “Construcción de infraestructura de separación y obras complementarias para la Batería de Separación Rabasa”. A continuación se presentan los Nodos y los escenarios que se consideraron de estudio, y los escenarios a los cuales se les aplicaron que contempla el presente proyecto, así como también los parámetros a evaluar:

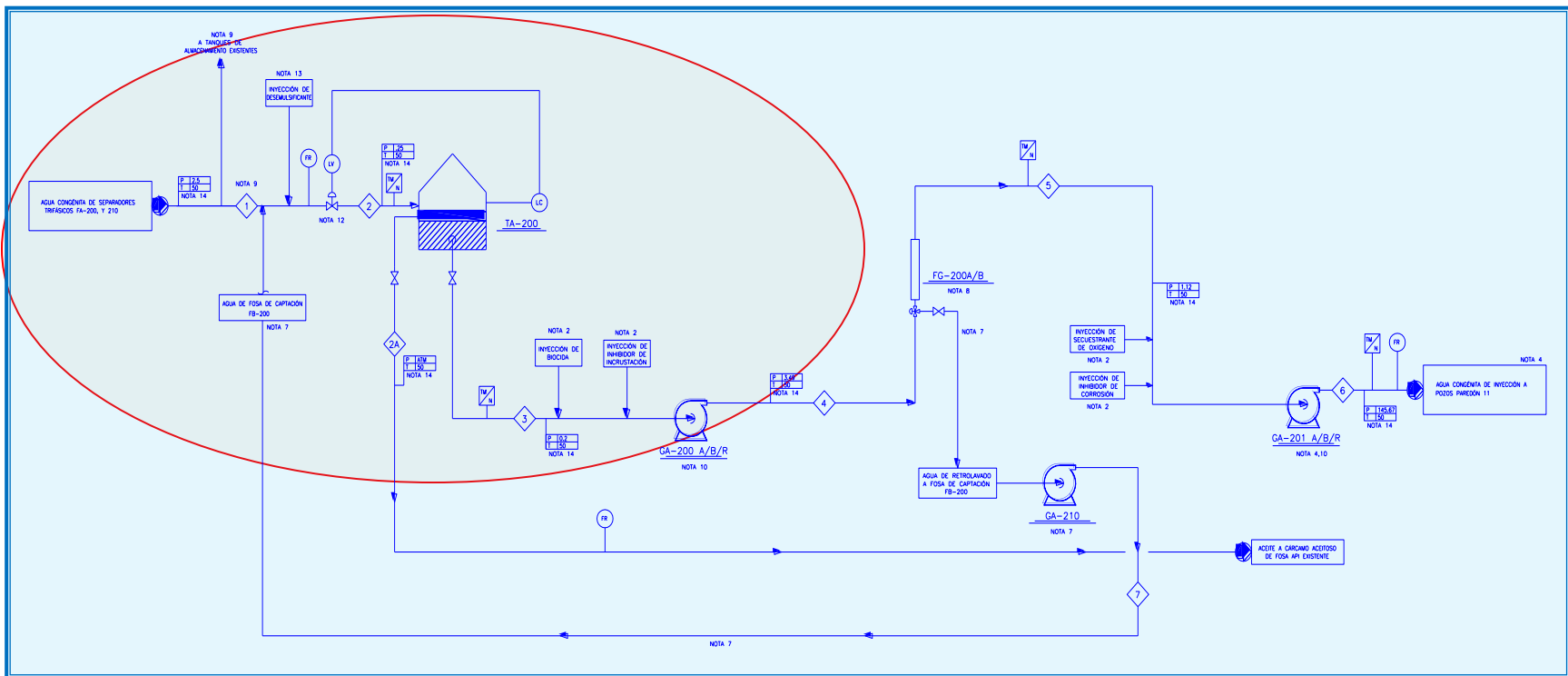


Figura 5. 1 Nodo 1: Sistema de separación bifásica de alta presión, FA-101

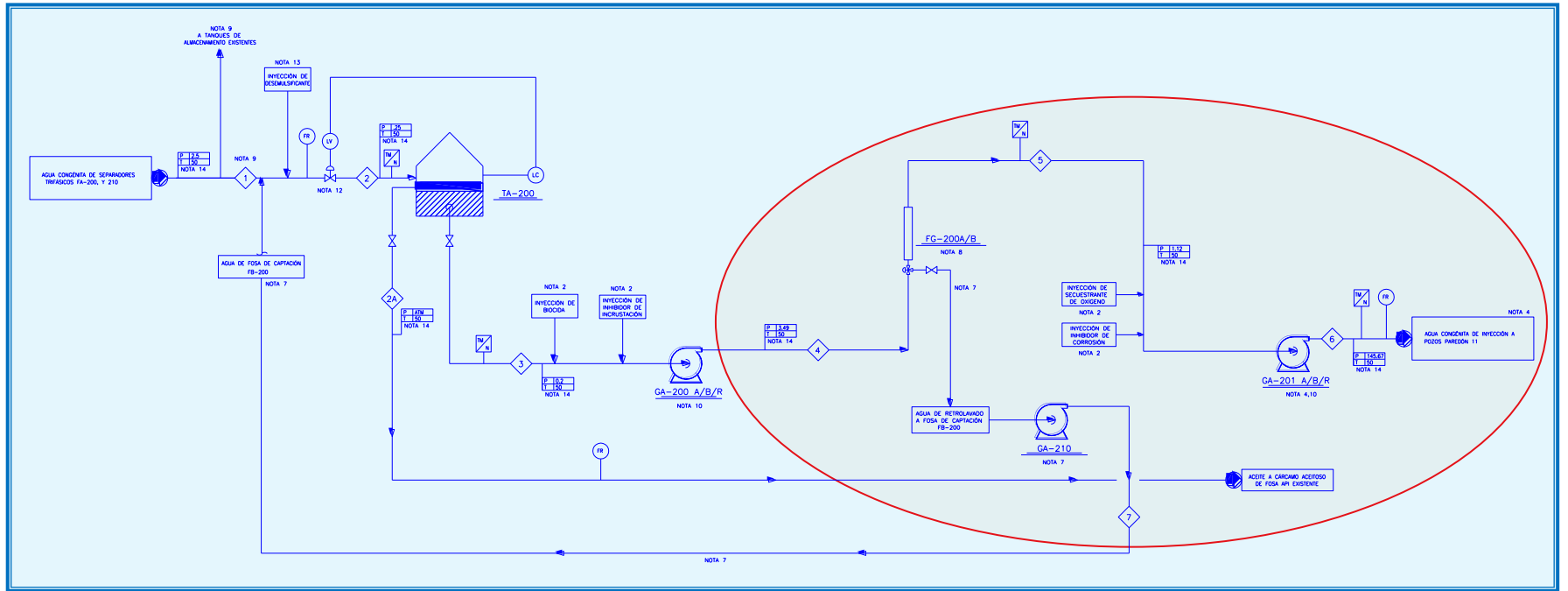


Figura 5. 2 Nodo 2: Sistema de separación bifásica de baja presión, FA-102

5.21 Descripción de la Intención

Se establece la intención de diseño del equipo. Esta incluye una descripción del diseño y operación normal en cada nodo de estudio, así como, funciones de nodo, composiciones del proceso y rangos de valores numéricos de todos los parámetros de importancia. (Cabe mencionar que si la instalación está funcionando fuera de la capacidad de su intención de diseño, esto representa un riesgo potencial).

5.22 Análisis de las desviaciones

Se selecciona la palabra guía combinada con un parámetro de proceso para definir la desviación en un nodo de estudio (escenario) y asignarle un número de identificación (revisar todas las palabras guía con cada parámetro y entonces, cambiar de parámetro).

Se evalúan las posibles consecuencias (asumiendo que todas las protecciones fallan).

Se listan las causas que originan la desviación.

5.22.1 Generación de recomendaciones

Se listan todas las protecciones existentes (la protección mitiga las consecuencias para una desviación dada), y de ser necesario se consideran recomendaciones a fin de tomar las acciones necesarias para mitigar la desviación.

5.22.2 Evaluación del riesgo

Finalmente se evalúan, la frecuencia de ocurrencia del escenario y la severidad de la consecuencia de la desviación analizada, con el fin de establecer un nivel de riesgo, y fijar criterios para implementar las recomendaciones necesarias para lograr un nivel de riesgo aceptable; de acuerdo a la Ponderación de la Frecuencia de la Causa y a la Ponderación de la Severidad de la Consecuencia.

5.23 Documentación

Los resultados del análisis de riesgo (*HAZOP*) se registran en forma tabular considerando un formato estandarizado (Hoja de Trabajo) y de la forma denominada Causa por Causa, que es una manera de presentar todas las consecuencias, salvaguardas y recomendaciones relacionadas a cada una de las causas de una desviación; es decir, cada causa tiene un juego independiente de consecuencias, salvaguardas y recomendaciones, lo cual permite una mejor precisión en la selección de los escenarios a considerar como eventos importantes para su simulación.

Para la adecuada utilización de la metodología se utilizaron las guías y procedimientos del *Guidelines for Hazard Evaluation Procedures, Center for Chemical Process Safety, AIChE, New York, Second Edition*, el Procedimiento para realizar Análisis de Riesgo de Procesos en Pemex Exploración y Producción (Desarrollado por el grupo de trabajo que es coordinado por el Cuerpo de Gobierno de Administración de la Seguridad de los Procesos, ASP) y la NRF-018-PEMEX-2007 Estudios de Riesgo.

5.24 Relación y ponderación de escenarios identificados

Con la aplicación de la Metodología de Identificación de Riesgo (*HAZOP*), se consideraron los siguientes escenarios de riesgo:

Nodo 1: Sistema de separación bifásica de alta presión, FA-101.

Nodo 2: Sistema de separación bifásica de baja presión, FA-102.

Nodo 3: Separador de medición bifásica de alta presión, FA-110.

Nodo 4: Separador de medición bifásica de baja presión, FA-111.

Nodo 5: Sistema de rectificación de baja presión, A-320.

Nodo 6: Sistema de estabilización de líquidos de baja presión, DA-100.

Nodo 7: Sistema de tanque de almacenamiento (TV-101).

Nodo 8: Tanque de medición (TM-100).

Nodo 9: Sistema y módulos de compresión.

Nodo 1: Tanque Desnatador y Trasiego de Agua Congénita:

En este nodo se identificaron y analizaron los siguientes escenarios de riesgo:

- Descarga de agua del separador trifásico obstruida por sedimentos
- Válvulas de compuerta de 6" de carga al tanque desnatador bloqueada por falta de mantenimiento.
- Válvulas de compuerta de 6" de carga al tanque desnatador cerrada por mala operación.
- Línea de 6" de carga del tanque desnatador, obstruida por sedimentos.
- Válvula controladora de nivel (LV-200-1) Cerrada por Falla de aire de instrumentos.
- Falla mecánica en la válvula controladora de nivel (LV-200-1).
- Separadores trifásicos fuera de operación.
- Válvulas de compuerta de 6" de carga al tanque desnatador obstruida por sedimentos.
- Válvulas de compuerta de 6" de carga al tanque desnatador parcialmente cerrada, por mala operación.
- Línea de 6" de carga al tanque desnatador parcialmente obstruida por sedimentos.
- Baja producción de agua en los sistemas de separación, por cierre de pozos.
- Falla de válvula de control de nivel de equipos de separación corriente arriba.
- Incremento de producción de agua congénita en los campos Jacinto y Rabasa.
- Recirculación del agua de la descarga de bombas de trasiego.
- Válvula de dren abierta.
- Falla en el sistema de bombeo de trasiego.
- Rechazo por represionamiento en la descarga de bombas de trasiego.
- Falla en el control de recirculación de flujo.
- Obstrucción de línea corriente abajo.
- Vaciado del tanque por operación de bombas.
- Falla de operación en las válvulas de relevo presión – vacío.
- Gas presente en la carga y en cuerpo del tanque.
- Obstrucción del venteo.
- Falla en válvulas de presión-vacío.
- Falla estructural del tanque.
- Corrosión en líneas y accesorios.
- Falla de materiales y empaques en válvulas y bridas.

- Falla en el sistema de control de nivel de líquidos.
- Agentes externos.
- Falla en materiales.
- Fuga en líneas, accesorios o tanque.
- Ruptura en líneas, accesorios o tanque.
- Descargas atmosféricas.

Nodo 2: Sistema de filtración e inyección a pozos:

- Falla en la válvula de compuerta de descarga de filtros.
- Obstrucción total en filtros por sedimentos.
- Obstrucción total por sedimentos en línea de descarga de filtros.
- Falla de energía eléctrica en bombas de trasiego.
- Interrupción de flujo en la succión de bombas de inyección de agua.
- Obstrucción parcial en la válvula de compuerta de descarga de filtros.
- Obstrucción parcial en filtros por sedimentos.
- Obstrucción parcial por sedimentos en línea de descarga de filtros.
- Interrupción parcial de flujo en la succión de bombas de inyección de agua.
- Obstrucción en línea y filtro en la succión de bombas de inyección a pozos.
- Cierre de válvulas en la succión de bombas de inyección a pozos.
- Cierre parcial de válvulas en la succión de bombas de inyección a pozos.
- Falla mecánica en bombas de inyección a pozos.
- Obstrucción parcial en la descarga de bombas de inyección.
- Cierre de válvula en la descarga de bombas de inyección.
- Falla en la válvula de seguridad de presión de la bomba de inyección de agua a pozos.
- Corrosión en líneas y/o accesorios.
- Falla de materiales y empaques en válvulas y bridas.
- Agentes externos.
- Fugas por los sellos de las bombas.
- Altas temperaturas en cajas de baleros de las bombas.
- Falla del disparo por alta presión en bomba de inyección.

5.25 Jerarquía de Riesgos

La jerarquización de los riesgos identificados permite establecer los diferentes niveles de riesgo para cada una de las desviaciones que se presenten en el proceso o la instalación, detectar el número de eventos inaceptables o indeseables, además de ayudar a la identificación de las desviaciones que requieran acciones de mitigación pronta y aquellas que son aceptables.

Para esta Jerarquización de Riesgos se utilizó la Matriz de Riesgos, la cual determina la metodología cuantitativa de *Facility Risk Review FRR*, Técnica de Revisión de Riesgos donde se aplica la frecuencia con que suceden los eventos y las consecuencias ambientales que estos puedan traer (fugas, incendios, deflagraciones, derrames, etc.) misma que toma en cuenta el daño al personal, efecto en la población, el impacto ambiental, pérdida de producción, daños a la instalación, y a la reputación e imagen.

5.26 Conclusiones

Los criterios de evaluación para jerarquizar los riesgos identificados mediante la metodología *HAZOP* están basados en los niveles de riesgo definidos por PEMEX Exploración y Producción en el Procedimiento para realizar análisis de riesgos de procesos en Pemex Exploración y Producción, con clave PG-SS-TC-003-2007, desarrollado por el grupo de trabajo que es coordinado por el consejo de gobierno de Administración de la Seguridad de los Procesos (ASP), con fecha diciembre de 2007, Rev. Segunda y en la NRF-018-PEMEX-2007 Estudios de Riesgo.

Una vez determinadas las categorías de frecuencia y consecuencia de los eventos planteados en las tablas 4, 5, 6, estos son jerarquizados en las matrices de riesgo para saber los niveles de riesgos, es decir se realiza una evaluación (definición y ponderación) de consecuencia contra frecuencia para situar en que margen de riesgo se encasillan los eventos que pueden generar interacciones con daños al personal, efecto en la población, el impacto ambiental, pérdida de producción, daños a la instalación, y a la reputación e imagen.

De manera que en las matrices de riesgos que se muestran a continuación se presentan las ponderaciones de frecuencia contra consecuencia de cada categoría de riesgo analizada para el presente proyecto, basado en las hojas de trabajos generadas durante el análisis de riesgo *HAZOP*.

Tabla 5. 10 Matriz de riesgos (daños a la seguridad del personal, contratistas y población aledaña a la instalación)

F R E C U E N C I A	Alta F4	B	B	A	A
	Media F3	C 2.6	B	B	A
	Baja F2	D 1.1, 1.2, 1.4, 1.5, 1.7, 2.1, 2.2, 2.4, 2.5, 2.10	C 1.3, 1.6, 1.9, 1.10, 1.11, 2.11	B	A
	Remota F1	D	D 1.12	C	B
		Menor C1	Moderada C2	Grave C3	Catastrófica C4
	C O N S E C U E N C I A				

Fuente: Procedimiento para realizar análisis de riesgos de procesos en Pemex Exploración y Producción.

Tabla 5. 11 Matriz de riesgos (daños al ambiente por fugas y derrames dentro y fuera de las instalaciones)

F R E C U E N C I A	Alta F4	B	B	A	A
	Media F3	C 2.6	B	B	A
	Baja F2	D 1.1, 1.2, 1.4, 1.5, 1.7, 2.1, 2.2, 2.4, 2.5, 2.10	C 1.3, 1.6, 1.9, 1.10, 1.11, 2.11	B	A
	Remota F1	D	D 1.12	C	B
		Menor C1	Moderada C2	Grave C3	Catastrófica C4
	C O N S E C U E N C I A				

Fuente: Procedimiento para realizar análisis de riesgos de procesos en Pemex Exploración y Producción.

Tabla 5. 12 Matriz de riesgos (daños al negocio por pérdida de producción, daños a terceros y a instalaciones)

F R E C U E N C I A	Alta F4	B	B	A	A
	Media F3	C 2.6	B	B	A
	Baja F2	D 1.1, 1.2, 1.4, 1.5, 1.7, 2.1, 2.2, 2.4, 2.5, 2.10	C 1.3, 1.6, 1.9, 1.10, 1.11, 2.11	B	A
	Remota F1	D	D 1.12	C	B
		Menor C1	Moderada C2	Grave C3	Catastrófica C4
	C O N S E C U E N C I A				

Fuente: Procedimiento para realizar análisis de riesgos de procesos en Pemex Exploración y Producción.

Tabla 5. 13 Matriz de riesgos (daños al negocio por pérdida de producción, daños a terceros y a instalaciones)

F R E C U E N C I A	Alta F4	B	B	A	A
	Media F3	C 2.6	B	B	A
	Baja F2	D 1.1, 1.2, 1.4, 1.5, 1.7, 2.1, 2.2, 2.4, 2.5, 2.10	C 1.3, 1.6, 1.9, 1.10, 1.11, 2.11	B	A
	Remota F1	D	D 1.12	C	B
		Menor C1	Moderada C2	Grave C3	Catastrófica C4
	C O N S E C U E N C I A				

Fuente: Procedimiento para realizar análisis de riesgos de procesos en Pemex Exploración y Producción.

De acuerdo con los niveles definidos en las matrices de riesgo y de acuerdo con la ponderación de frecuencias y consecuencias determinadas durante el análisis de riesgo registradas en las Hojas de Trabajo *HAZOP*, pueden concluirse que los niveles de riesgo de las desviaciones del proceso para la “Construcción de infraestructura de separación y obras complementarias para la Batería de Separación Rabasa”, son los siguientes:

En la matriz de riesgo de daños a la seguridad del personal, contratistas y población aledaña a la instalación, el 61% de las desviaciones están ubicadas en un nivel de riesgo razonablemente aceptable, el 39% de las desviaciones en un nivel de riesgo aceptable con controles y ninguna de las desviaciones se ubica en un nivel de riesgo indeseable e intolerable.

En la matriz de riesgo de daños al ambiente por fugas y derrames dentro y fuera de las instalaciones, el 61% de las desviaciones están ubicadas en un nivel de riesgo razonablemente aceptable, el 39% de las desviaciones en un nivel de riesgo aceptable con controles y ninguna de las desviaciones se ubica en un nivel de riesgo indeseable e intolerable.

En la matriz de riesgo de daños al negocio por pérdida de producción, daños a terceros y a instalaciones, el 61% de las desviaciones están ubicadas en un nivel de riesgo razonablemente aceptable, el 39% de las desviaciones en un nivel de riesgo aceptable con controles y ninguna de las desviaciones se ubica en un nivel de riesgo indeseable e intolerable.

En la matriz de riesgo de daños a la reputación e imagen y a la relación con las comunidades vecinas, el 61% de las desviaciones están ubicadas en un nivel de riesgo razonablemente aceptable, el 39% de las desviaciones en un nivel de riesgo aceptable con controles y ninguna de las desviaciones se ubica en un nivel de riesgo indeseable e intolerable.

Como se puede apreciar en las matrices de riesgo anteriores, para cada categoría analizada, es nulo que se presenten eventos en la margen de riesgos intolerables, por tal motivo no es necesario de un análisis detallado (análisis cuantitativo) y medidas (acciones inmediatas) más agresivas destinadas a reducir los riesgos potenciales, que pudiesen ocasionar riesgos en caso de presentarse.

5.26.1 Recomendaciones para los riesgos analizados y evaluados

De acuerdo con el listado de recomendaciones documentadas en las Hojas de Trabajo (*HAZOP, Anexo B*) se aplicaron un total de 2 recomendaciones, principalmente al Diagrama de Tubería e Instrumentación del Proyecto de “Construcción de infraestructura de separación y obras complementarias para la Batería de Separación Rabasa”. Estas recomendaciones derivadas del HAZOP son las que se listan a continuación y las cuales deberán aplicarse al proyecto:

1. Eliminar el paquete de regulación al quemador de fosa.
2. Continuidad de la red de tierras.

Por otra parte, las recomendaciones que se mencionan a continuación forman parte de las actividades regulares, estas se deben vigilar que se apliquen durante la operación de la instalación y son responsabilidad de PEMEX Exploración y Producción:

1. Capacitación al personal constantemente en los procesos de bombeo e inyección de agua.
2. Dar seguimiento al programa de mantenimiento de equipos, válvulas y líneas.
3. Aplicación de los procedimientos operativos y de mantenimiento actualizados.
4. Aplicación del Plan de Respuesta de Emergencia existente de la instalación.

5.27 Reportes *HAZOP*

Compañía: Activo Integral 5 Presidentes.					Fecha: 27/10/2010					
Evaluación del sistema: "Construcción de infraestructura de separación y obras complementarias para la Batería de Separación Rabasa"										
Elaboró: Grupo de Ingeniería y Construcción ZETA S. A. de C. V.					Reviso:			Aprobo:		
Nodo 1: Separador vertical bifásico de alta presión, FA-101.					Dibujo de referencia: A-300, Sistema de separación bifásica de alta presión, Diagrama de Tubería e Instrumentación.					
Intención del diseño				Separar la mezcla de gas-aceite proveniente de los cabezales de recolección de alta presión, con las características de operación siguientes: flujo 10 MMPCSD de gas y 10,000 BPD de líquido, con presión de operación de 60 kg/cm ² .man y presión de diseño de 66 kg/cm ² .man y temperatura de operación de 40 °C temperatura de diseño de 55 °C.						
No. Esc.	Palabra guía	Variable	Desviación	Causas	Consecuencias	Protecciones	F	C	Nivel de Riesgo	Recomendaciones
1.1	NO	Flujo	No Flujo	<p>Libranza programada.</p> <p>Falla de la válvula de compuerta.</p> <p>Mala operación de la válvula de carga del separador.</p>	No se recibe producción en el separador.	<p>Indicador local de nivel.</p> <p>Alarmas por bajo nivel.</p>	F2	C1	D	<p>Capacitación al personal constantemente.</p> <p>Dar seguimiento al programa de mantenimiento preventivo a válvulas.</p> <p>Aplicación de los procedimientos operativos y de mantenimiento.</p>
Comentarios:										

Compañía: Activo Integral 5 Presidentes.							Fecha: 27/10/2010			
Evaluación del sistema: "Construcción de infraestructura de separación y obras complementarias para la Bateria de Separación Rabasa"										
Elaboró: Grupo de Ingeniería y Construcción ZETA S. A. de C. V.					Reviso:		Aprobo:			
Nodo 1: Separador vertical bifásico de alta presión, FA-101.							Dibujo de referencia: A-300, Sistema de separación bifásica de alta presión, Diagrama de Tubería e Instrumentación.			
Intención del diseño				Separar la mezcla de gas-aceite proveniente de los cabezales de recolección de alta presión, con las características de operación siguientes: flujo 10 MMPCSD de gas y 10,000 BPD de líquido, con presión de operación de 60 kg/cm ² .man y presión de diseño de 66 kg/cm ² .man y temperatura de operación de 40 °C temperatura de diseño de 55 °C.						
No. Esc.	Palabra guía	Variable	Desviación	Causas	Consecuencias	Protecciones	F	C	Nivel de Riesgo	Recomendaciones
1.2	Menor	Flujo	Menor Flujo	<p>Fuga en la línea de carga al separador.</p> <p>Obstrucción parcial por sedimentos en la válvula de compuerta.</p> <p>Obstrucción por sedimentos en el cabezal de llegada.</p> <p>Cierre parcial de la válvula de compuerta.</p> <p>Obstrucción parcial en el estrangulador superficial del pozo.</p>	Disminución de la producción.	<p>Mantenimiento preventivo.</p> <p>Indicador local de nivel.</p> <p>Alarmas por bajo nivel.</p>	F2	C1	D	<p>Capacitación al personal constantemente.</p> <p>Dar seguimiento al programa de mantenimiento preventivo a válvulas.</p> <p>Aplicación de los procedimientos operativos y de mantenimiento.</p>

				Obstrucción dentro del aparejo de producción del pozo. Declinación de producción.						
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Comentarios:

Compañía: Activo Integral 5 Presidentes.				Fecha: 27/10/2010						
Evaluación del sistema: "Construcción de infraestructura de separación y obras complementarias para la Batería de Separación Rabasa"										
Elaboró: Grupo de Ingeniería y Construcción ZETA S. A. de C. V.				Reviso:			Aprobo:			
Nodo 1: Separador vertical bifásico de alta presión, FA-101.							Dibujo de referencia: A-300, Sistema de separación bifásica de alta presión, Diagrama de Tubería e Instrumentación.			
Intención del diseño				Separar la mezcla de gas-aceite proveniente de los cabezales de recolección de alta presión, con las características de operación siguientes: flujo 10 MMPCSD de gas y 10,000 BPD de liquido, con presión de operación de 60 kg/cm ² .man y presión de diseño de 66 kg/cm ² .man y temperatura de operación de 40 °C temperatura de diseño de 55 °C.						
No. Esc.	Palabra guía	Variable	Desviación	Causas	Consecuencias	Protecciones	F	C	Nivel de Riesgo	Recomendaciones
1.3	Mas	Flujo	Mas Flujo	Entrada de pozos nuevos. Movimientos de estranguladores de pozos. Reparaciones mayores, menores y estimulación de pozos.	Incremento en el nivel del separador. Arrastre de líquidos en el gas.	Válvula de control de nivel. Indicador local de nivel. Alarmas por bajo nivel.	F 2	C 1	D	Capacitación al personal constantemente. Dar seguimiento al programa de mantenimiento preventivo a válvulas. Aplicación de los procedimientos operativos y de mantenimiento.
Comentarios:										

Compañía: Activo Integral 5 Presidentes.					Fecha: 27/10/2010					
Evaluación del sistema: "Construcción de infraestructura de separación y obras complementarias para la Batería de Separación Rabasa"										
Elaboró: Grupo de Ingeniería y Construcción ZETA S. A. de C. V.					Reviso:		Aprobo:			
Nodo 1: Separador vertical bifásico de alta presión, FA-101.					Dibujo de referencia: A-300, Sistema de separación bifásica de alta presión, Diagrama de Tubería e Instrumentación.					
Intención del diseño				Separar la mezcla de gas-aceite proveniente de los cabezales de recolección de alta presión, con las características de operación siguientes: flujo 10 MMPCSD de gas y 10,000 BPD de líquido, con presión de operación de 60 kg/cm ² .man y presión de diseño de 66 kg/cm ² .man y temperatura de operación de 40 °C temperatura de diseño de 55 °C.						
No. Esc.	Palabra guía	Variable	Desviación	Causas	Consecuencias	Protecciones	F	C	Nivel de Riesgo	Recomendaciones
1.4.	No	Presión	No presión	Libranza programada. Falla en la válvula de carga del separador.	Producción diferida. Represionamiento en cabezal de pozos.	Indicadores de presión. Alarma por baja presión.	F 2	C1	D	Capacitación al personal constantemente. Dar seguimiento al programa de mantenimiento preventivo a válvulas. Aplicación de los procedimientos operativos y de mantenimiento.
Comentarios:										

Compañía: Activo Integral 5 Presidentes.					Fecha: 27/10/2010					
Evaluación del sistema: "Construcción de infraestructura de separación y obras complementarias para la Batería de Separación Rabasa"										
Elaboró: Grupo de Ingeniería y Construcción ZETA S. A. de C. V.					Reviso:			Aprobó:		
Nodo 1: Separador vertical bifásico de alta presión, FA-101.					Dibujo de referencia: A-300, Sistema de separación bifásica de alta presión, Diagrama de Tubería e Instrumentación.					
Intención del diseño				Separar la mezcla de gas-aceite proveniente de los cabezales de recolección de alta presión, con las características de operación siguientes: flujo 10 MMPCSD de gas y 10,000 BPD de líquido, con presión de operación de 60 kg/cm ² .man y presión de diseño de 66 kg/cm ² .man y temperatura de operación de 40 °C temperatura de diseño de 55 °C.						
No. Esc.	Palabra guía	Variable	Desviación	Causas	Consecuencias	Protecciones	F	C	Nivel de Riesgo	Recomendaciones
1.5	Menor	Presión	Menor Presión	<p>Fuga en la línea de carga al separador.</p> <p>Cierre parcial de la válvula de compuerta.</p> <p>Obstrucción parcial en el estrangulador superficial del pozo.</p> <p>Falla en la válvula de seguridad del separador (descalibrada y/o calzada).</p> <p>Paquete de regulación descalibrado.</p>	<p>Cierre de pozos por operar válvula de seguridad.</p> <p>Disminución de la producción.</p> <p>Emisión de gas a la atmosfera.</p>	<p>Válvula de seguridad en pozos.</p> <p>Mantenimiento preventivo.</p> <p>Indicadores de presión.</p> <p>Monitoreo de condiciones operativas.</p>	F2	C1	D	<p>Capacitación al personal constantemente.</p> <p>Dar seguimiento al programa de mantenimiento preventivo a válvulas.</p> <p>Aplicación de los procedimientos operativos y de mantenimiento.</p>

				Válvula de descarga de líquidos descalibrada.							
--	--	--	--	---	--	--	--	--	--	--	--

Comentarios:

Compañía: Activo Integral 5 Presidentes.						Fecha: 27/10/2010				
Evaluación del sistema: "Construcción de infraestructura de separación y obras complementarias para la Batería de Separación Rabasa"										
Elaboró: Grupo de Ingeniería y Construcción ZETA S. A. de C. V.				Reviso:			Aprobó:			
Nodo 1: Separador vertical bifásico de alta presión, FA-101.						Dibujo de referencia: A-300, Sistema de separación bifásica de alta presión, Diagrama de Tubería e Instrumentación.				
Intención del diseño				Separar la mezcla de gas-aceite proveniente de los cabezales de recolección de alta presión, con las características de operación siguientes: flujo 10 MMPCSD de gas y 10,000 BPD de líquido, con presión de operación de 60 kg/cm ² .man y presión de diseño de 66 kg/cm ² .man y temperatura de operación de 40 °C temperatura de diseño de 55 °C.						
No. Esc.	Palabra guía	Variable	Desviación	Causas	Consecuencias	Protecciones	F	C	Nivel de Riesgo	Recomendaciones
1.6	Mas	Presión	Mas presión	<p>Entrada de pozos nuevos.</p> <p>Movimientos de estranguladores de pozos.</p> <p>Reparaciones mayores, menores y estimulación de pozos.</p> <p>Falla en la válvula de control de nivel de descarga de líquidos.</p>	<p>Relevo del paquete de regulación a quemador.</p> <p>Relevo de las válvulas de seguridad a la atmosfera.</p> <p>Arrastre de líquidos en el gas.</p>	<p>Válvulas de seguridad en recipientes y pozos.</p> <p>Paquete de regulación.</p> <p>Indicadores de presión.</p> <p>By-Pass de la válvula de control de nivel.</p> <p>By-Pass del paquete de regulación.</p>	F2	C2	C	<p>Capacitación al personal constantemente.</p> <p>Dar seguimiento al programa de mantenimiento preventivo a válvulas.</p> <p>Aplicación de los procedimientos operativos y de mantenimiento.</p>
Comentarios:										

Compañía: Activo Integral 5 Presidentes.					Fecha: 27/10/2010					
Evaluación del sistema: "Construcción de infraestructura de separación y obras complementarias para la Batería de Separación Rabasa"										
Elaboró: Grupo de Ingeniería y Construcción ZETA S. A. de C. V.					Reviso:			Aprobó:		
Nodo 1: Separador vertical bifásico de alta presión, FA-101.					Dibujo de referencia: A-300, Sistema de separación bifásica de alta presión, Diagrama de Tubería e Instrumentación.					
Intención del diseño				Separar la mezcla de gas-aceite proveniente de los cabezales de recolección de alta presión, con las características de operación siguientes: flujo 10 MMPCSD de gas y 10,000 BPD de líquido, con presión de operación de 60 kg/cm ² .man y presión de diseño de 66 kg/cm ² .man y temperatura de operación de 40 °C temperatura de diseño de 55 °C.						
No. Esc.	Palabra guía	Variable	Desviación	Causas	Consecuencias	Protecciones	F	C	Nivel de Riesgo	Recomendaciones
1.7	No	Nivel	No Nivel	Separador disponible. Fuera de operación. Libranza programada.	No se recibe producción en el separador.	Indicador local de nivel. Alarmas por bajo nivel.	F1	C1	D	Capacitación al personal constantemente. Dar seguimiento al programa de mantenimiento preventivo a válvulas. Aplicación de los procedimientos operativos y de mantenimiento.
Comentarios:										

Compañía: Activo Integral 5 Presidentes.							Fecha: 27/10/2010			
Evaluación del sistema: "Construcción de infraestructura de separación y obras complementarias para la Batería de Separación Rabasa"										
Elaboró: Grupo de Ingeniería y Construcción ZETA S. A. de C. V.					Reviso:		Aprobó:			
Nodo 1: Separador vertical bifásico de alta presión, FA-101.							Dibujo de referencia: A-300, Sistema de separación bifásica de alta presión, Diagrama de Tubería e Instrumentación.			
Intención del diseño				Separar la mezcla de gas-aceite proveniente de los cabezales de recolección de alta presión, con las características de operación siguientes: flujo 10 MMPCSD de gas y 10,000 BPD de líquido, con presión de operación de 60 kg/cm ² .man y presión de diseño de 66 kg/cm ² .man y temperatura de operación de 40 °C temperatura de diseño de 55 °C.						
No. Esc.	Palabra guía	Variable	Desviación	Causas	Consecuencias	Protecciones	F	C	Nivel de Riesgo	Recomendaciones
1.8	Menor	Nivel	Menor Nivel	<p>Obstrucción en la línea de carga del separador por sedimentos.</p> <p>Cierre parcial de la válvula de compuerta a la carga del separador.</p> <p>Falla en el suministro de aire de instrumentos.</p> <p>Falla en la válvula de control de nivel.</p> <p>Válvula de drenaje abierta.</p>	<p>Disminución de la producción.</p> <p>Arrastre de gas en la descarga de líquidos.</p> <p>Falla en la pierna de nivel.</p>	<p>Mantenimiento preventivo.</p> <p>By-Pass de la válvula de control de nivel del separador.</p> <p>Generador eléctrico de combustión interna de la Batería.</p> <p>Indicador de nivel.</p>	F2	C1	C	<p>Capacitación al personal constantemente.</p> <p>Dar seguimiento al programa de mantenimiento preventivo a válvulas.</p> <p>Aplicación de los procedimientos operativos y de mantenimiento.</p>
Comentarios:										

Compañía: Activo Integral 5 Presidentes.						Fecha: 27/10/2010				
Evaluación del sistema: "Construcción de infraestructura de separación y obras complementarias para la Batería de Separación Rabasa"										
Elaboró: Grupo de Ingeniería y Construcción ZETA S. A. de C. V.				Reviso:		Aprobó:				
Nodo 1: Separador vertical bifásico de alta presión, FA-101.						Dibujo de referencia: A-300, Sistema de separación bifásica de alta presión, Diagrama de Tubería e Instrumentación.				
Intención del diseño				Separar la mezcla de gas-aceite proveniente de los cabezales de recolección de alta presión, con las características de operación siguientes: flujo 10 MMPCSD de gas y 10,000 BPD de líquido, con presión de operación de 60 kg/cm ² .man y presión de diseño de 66 kg/cm ² .man y temperatura de operación de 40 °C temperatura de diseño de 55 °C.						
No. Esc.	Palabra guía	Variable	Desviación	Causas	Consecuencias	Protecciones	F	C	Nivel de Riesgo	Recomendaciones
1.9	Mas	Nivel	Mas Nivel	<p>Entrada de pozos nuevos.</p> <p>Movimientos de estranguladores de pozos.</p> <p>Reparaciones mayores, menores y estimulación de pozos.</p> <p>Falla mecánica en la válvula de control de nivel.</p>	<p>Incremento en el nivel del separador.</p> <p>Arrastre de líquidos en el gas.</p>	<p>By-Pass de la válvula de control de nivel.</p> <p>Indicador local de nivel.</p>	F2	C1	C	<p>Capacitación al personal constantemente.</p> <p>Dar seguimiento al programa de mantenimiento preventivo a válvulas.</p> <p>Aplicación de los procedimientos operativos y de mantenimiento.</p>
Comentarios:										

Compañía: Activo Integral 5 Presidentes.					Fecha: 27/10/2010					
Evaluación del sistema: "Construcción de infraestructura de separación y obras complementarias para la Batería de Separación Rabasa"										
Elaboró: Grupo de Ingeniería y Construcción ZETA S. A. de C. V.				Reviso:			Aprobó:			
Nodo 1: Separador vertical bifásico de alta presión, FA-101.					Dibujo de referencia: A-300, Sistema de separación bifásica de alta presión, Diagrama de Tubería e Instrumentación.					
Intención del diseño				Separar la mezcla de gas-aceite proveniente de los cabezales de recolección de alta presión, con las características de operación siguientes: flujo 10 MMPCSD de gas y 10,000 BPD de líquido, con presión de operación de 60 kg/cm ² .man y presión de diseño de 66 kg/cm ² .man y temperatura de operación de 40 °C temperatura de diseño de 55 °C.						
No. Esc.	Palabra guía	Variable	Desviación	Causas	Consecuencias	Protecciones	F	C	Nivel de Riesgo	Recomendaciones
1.10			Fuga	Desgaste de empaques de bridas. Corrosión interna en separador y/o líneas. Vandalismo. Maniobras de maquinaria.	Derrame al suelo con contaminación a los registros de drenaje pluvial. Nube tóxica inflamable y/o explosiva. Posibilidad de incendio y/o explosión. Pérdida de producción. Contaminación al medio	Equipo de protección personal. Detectores de gas y fuego. Extintores. Red contraincendio.	F2	C2	C	Capacitación al personal constantemente. Dar seguimiento al programa de mantenimiento preventivo a válvulas. Aplicación de los procedimientos operativos y de mantenimiento. Aplicación del plan de respuesta a emergencias.

					<p>ambiente.</p> <p>Daños a personal que labora cerca del área.</p> <p>Daños a la instalación.</p>				
Comentarios:									

Compañía: Activo Integral 5 Presidentes.						Fecha: 27/10/2010				
Evaluación del sistema: "Construcción de infraestructura de separación y obras complementarias para la Batería de Separación Rabasa"										
Elaboró: Grupo de Ingeniería y Construcción ZETA S. A. de C. V.				Reviso:			Aprobó:			
Nodo 1: Separador vertical bifásico de alta presión, FA-101.						Dibujo de referencia: A-300, Sistema de separación bifásica de alta presión, Diagrama de Tubería e Instrumentación.				
Intención del diseño				Separar la mezcla de gas-aceite proveniente de los cabezales de recolección de alta presión, con las características de operación siguientes: flujo 10 MMPCSD de gas y 10,000 BPD de líquido, con presión de operación de 60 kg/cm ² .man y presión de diseño de 66 kg/cm ² .man y temperatura de operación de 40 °C temperatura de diseño de 55 °C.						
No. Esc.	Palabra guía	Variable	Desviación	Causas	Consecuencias	Protecciones	F	C	Nivel de Riesgo	Recomendaciones
1.11			Ruptura	Corrosión interna en separador y/o líneas. Vandalismo. Maniobras de maquinaria.	Derrame al suelo con contaminación a los registros de drenaje pluvial. Nube tóxica inflamable y/o explosiva. Posibilidad de incendio y/o explosión. Pérdida de producción. Contaminación al medio ambiente.	Equipo de protección personal. Detectores de gas y fuego. Extintores. Red contraincendio.	F2	C2	C	Capacitación al personal constantemente. Dar seguimiento al programa de mantenimiento preventivo a válvulas. Aplicación de los procedimientos operativos y de mantenimiento. Aplicación del plan de respuesta a emergencias.

					Daños a personal que labora cerca del área. Daños a la instalación.				
Comentarios:									

Compañía: Activo Integral 5 Presidentes.							Fecha: 27/10/2010			
Evaluación del sistema: "Construcción de infraestructura de separación y obras complementarias para la Batería de Separación Rabasa"										
Elaboró: Grupo de Ingeniería y Construcción ZETA S. A. de C. V.					Reviso:		Aprobó:			
Nodo 1: Separador vertical bifásico de alta presión, FA-101.							Dibujo de referencia: A-300, Sistema de separación bifásica de alta presión, Diagrama de Tubería e Instrumentación.			
Intención del diseño				Separar la mezcla de gas-aceite proveniente de los cabezales de recolección de alta presión, con las características de operación siguientes: flujo 10 MMPCSD de gas y 10,000 BPD de líquido, con presión de operación de 60 kg/cm ² .man y presión de diseño de 66 kg/cm ² .man y temperatura de operación de 40 °C temperatura de diseño de 55 °C.						
No. Esc.	Palabra guía	Variable	Desviación	Causas	Consecuencias	Protecciones	F	C	Nivel de Riesgo	Recomendaciones
1.12			Incendio	Trabajos calientes cerca del separador. Ruptura. Fugas por corrosión. Fugas por bridas. Vandalismo.	Derrame al suelo con contaminación a los registros de drenaje pluvial. Nube tóxica inflamable y/o explosiva. Posibilidad de incendio y/o explosión. Pérdida de producción. Contaminación al medio ambiente.	Procedimientos y permisos para trabajos calientes. Equipo de protección personal. Detectores de gas y fuego. Extintores. Red contraincendio.	F2	C2	C	Capacitación al personal constantemente. Dar seguimiento al programa de mantenimiento preventivo a válvulas. Aplicación de los procedimientos operativos y de mantenimiento. Aplicación del plan de respuesta a emergencias.

					Daños a personal que labora cerca del área.				
					Daños a la instalación.				

Comentarios:

Capítulo 6. Conclusiones y recomendaciones generales

En la actualidad la mayoría de las compañías que desarrollan un nuevo proyecto realizan uno o más estudios *HAZOP* durante el desarrollo de la ingeniería. Aunque se trate de tecnologías y diseños ampliamente probados, los resultados del *HAZOP* generalmente revelan situaciones no previstas en la etapa de ingeniería. En instalaciones existentes, y sobre todo en aquellas que a través de los años han sufrido modificaciones a su diseño original, un estudio de *HAZOP* identifica los riesgos con los cuales conviven día a día el personal, el medio ambiente y las instalaciones; sin un estudio de riesgo no se tiene pleno conocimiento de las contingencias factibles de ocurrir. Los riesgos, además de ser las fuentes de situaciones peligrosas, impactan directa y negativamente en la rentabilidad de la instalación. El *HAZOP* es una herramienta muy poderosa a la hora de identificar y reducir los riesgos de cualquier proceso productivo.

6.1 Conclusiones

- 1.- Una vez después de estudiar los diferentes métodos de análisis de riesgo, puedo determinar que la metodología *HAZOP*, es la más óptima y completa para su aplicación en cualquier proceso que se realice a nivel industrial.
- 2.- La información requerida para la realización de los análisis debe ser siempre actualizada y cualquier cambio realizado en la planta, debe ser registrado en los respectivos diagramas de tuberías e instrumentación (DTI, *P&ID*).
- 3.- Las escalas de medición del riesgo serán determinadas por el grupo de expertos y el líder *HAZOP* que se realizaran tomando en cuenta la infraestructura de la planta, experiencia del personal y estudios *HAZOP* realizados con anterioridad en procesos similares.
- 4.- Para la realización del análisis *HAZOP* se requiere la participación obligatoria de los supervisores de las áreas de operaciones, producción, seguridad o por lo menos un representante de cada área.
- 5.- El tiempo de desarrollo del análisis varía según la complejidad del proceso, siendo de suma importancia recalcar que cada sesión se debe realizar con el mismo equipo de trabajo, de esta manera no se pierde la continuidad y objetividad del análisis.

6.- Como resultado del análisis HAZOP en las áreas estudiadas, se debe proceder a tomar las medidas correctivas y preventivas adecuadas, para evitar consecuencias no deseadas, las cuales afectarían tanto al personal como a las instalaciones y medio ambiente.

7.- La realización oportuna y continua de un mantenimiento preventivo y correctivo en los equipos de medición y control reducirá de manera significativa el alto riesgo existente en las instalaciones.

6.2 Recomendaciones

1.- Actualizar los procedimientos existentes y dar a conocer al personal, para obtener una mejor comunicación, tanto horizontal como vertical entre la dirección de la empresa y los niveles operacionales, ya que el flujo de información garantiza un intercambio de experiencias, trabajo en equipo y la excelencia en la producción.

2.- Realizar una evaluación periódica de los procedimientos de operación, como:

- Control y monitoreo de equipos (sensores, alarmas, medidores, manómetros), así como el control y manejo de válvulas.
- Capacitar permanentemente a todo el personal de la planta en temas de seguridad y procesos.
- Cumplir con el cronograma de mantenimiento preventivo de la terminal de productos.
- Evaluar y registrar la información obtenida del mantenimiento preventivo realizado a los equipos de la planta.
- Completar los diagramas de tuberías e instrumentación (DTI, *P&ID*), con sus respectivos puntos de (flujo, nivel, presión, temperatura).
- Dentro de los diagramas de tuberías e instrumentación (DTI, *P&ID*), actualizar la nomenclatura para cada equipo.
- Reforzar el plan de contingencia para tomar acciones y medidas preventivas correspondientes para cada área de estudio.
- Reforzar el plan de emergencia para el caso de válvulas manuales cerradas en una eventualidad no deseada.
- Realizar el análisis de riesgos *HAZOP* una vez cada año.

3.- Para poder realizar un análisis más profundo se recomienda una cooperación más formal y directa con los jefes de las áreas de estudio para tener acceso a más información, como la frecuencia de mantenimiento de cada operación y el personal involucrado; así como un historial de accidentes o fallas de operatividad para poder validar los resultados obtenidos con el análisis. Además de la información de un grupo de expertos que estén totalmente involucrados en el proceso.

Anexos

A continuación se muestran las portadas y los índices de los proyectos que se utilizaron para tomar los casos de aplicación de la metodología HAZOP.



SUBDIRECCIÓN REGIÓN SUR

GERENCIA DE SEGURIDAD INDUSTRIAL, PROTECCIÓN AMBIENTAL Y
CALIDAD

ACTIVO INTEGRAL BELLOTA-JUJO

COORDINACIÓN DE CONSTRUCCIÓN Y MANTENIMIENTO

Proyecto

CONSTRUCCIÓN DE L.D.D. 8"Ø POZO TAJÓN 101 AL CABEZAL PUERTO CEIBA, MEDIANTE LA TÉCNICA DE PERFORACIÓN DIRECCIONAL CONTROLADA



Diciembre 2007

ÍNDICE

		Página
I.-	INTRODUCCIÓN.	1
II	DATOS GENERALES DEL PROYECTO	7
A	Ubicación física del proyecto y planos de localización	13
B	Inversión requerida	13
C	Dimensiones del proyecto	14
D	Uso de los cuerpos de agua aledaños al proyecto	16
E	Descripción de servicios requeridos	16
F	Características particulares del proyecto	18
G	Residuos generados:	35
III	MEDIDAS PREVENTIVAS A IMPLEMENTAR	39
IV	MEDIDAS DE COMPENSACIÓN.	47
V	RIESGO AMBIENTAL	51
A	Metodologías de identificación y jerarquización de riesgos ambientales	56
B	Estimación de consecuencias de riesgos ambientales	61
C	Radio potenciales de afectación de riesgos ambientales.	64
	Anexos (del 1 al 12)	



SUBDIRECCIÓN REGIÓN SUR

GERENCIA DE CONSTRUCCIÓN Y MANTENIMIENTO

SUBGERENCIA DE INGENIERÍA DE PROYECTO

**ANÁLISIS DE RIESGO DE PROCESOS
(ARP)**

**METODOLOGÍA: ANÁLISIS DE PELIGROS Y
OPERABILIDAD (HazOp)**

REPORTE FINAL:

PROYECTO:

**“CONSTRUCCIÓN DE INFRAESTRUCTURA DE
SEPARACIÓN Y OBRAS COMPLEMENTARIAS PARA LA
BATERÍA DE SEPARACIÓN RABASA”**

VILLAHERMOSA, TABASCO

OCTUBRE DE 2010.

ÍNDICE

	Página
1. Objetivo del estudio.	1
2. Alcance del estudio.	1
3. Descripción de los procesos y/o operaciones analizadas.	2
4. Descripción del entorno.	5
5. Premisas y consideraciones hechas para seleccionar la(s) metodología(s) aplicada(s).	6
6. Descripción y desarrollo de la metodología seleccionada para la identificación de los riesgos.	10
7. Relación y ponderación de escenarios identificados.	16
8. Evaluación de la frecuencia y consecuencia de los escenarios.	23
9. Relación de los riesgos analizados, evaluados y jerarquizados por tipo.	24
10. Conclusiones	26
11. Recomendaciones para los riesgos analizados y evaluados.	30

ANEXOS

Anexo A. E-001, Plano de localización general de equipos.

A-200, sistema de tratamiento de agua congénita, diagrama de flujo de proceso.

A-300, Tanque desnatador y trasiego de agua congénita, diagrama de tubería e instrumentación.

A-310, Sistema de filtración e inyección a pozos, diagrama de tubería e instrumentación.

Anexo B. Hojas de Trabajo (HazOp).

Anexo C. Agenda de Actividades.

Lista de Asistencia al HazOp.

Referencias Bibliográficas

AICHE- CCPS Process Equipment Reliability Database (PERD) Initiative. Piping Circuit Taxonomy, 18 Febrero 2005

Avemañay Morocho Angel Moisés, 2013 “análisis e identificación de riesgos de operabilidad en procesos críticos de servicios petroleros, mediante la aplicación de la metodología HAZOP, en la empresa BAKER HUGHES-Ecuador”

Chemical Industry Association. (1985). A guide to hazard and operability analysis.

Corporación Mexicana de investigación en materiales S.A. de C.V. (2011) Análisis de capas de protección (LOPA) conforme a la IEC-61511

Diaz Alvarez Heber Misael, Lopez Contreras Salvador, Zavala Viloría Daniel (2013) IPN Escuela superior de ingeniería mecánica y eléctrica, Aplicación del método de análisis de capas de protección (LOPA) para una planta de procesos industriales.

Pablo Freedman, TECNA S.A. Petrotecnia • abril, 2003. HAZOP como metodología de análisis de riesgos.

Ian L Herbert 2011, "Learning the Lessons - Retrospective HAZOPs", SPE 146192, ABB Consulting Copyright, Society of Petroleum Engineers.

J.R. Huse 2006, Lifting Operation Accidents: Root Causes and the Application of HAZOP Techniques in Controlling the Lifting Risk, SPE 98456, Scandpower Risk Management A/S Copyright, Society of Petroleum Engineers.

Ichem Chemical industries association (2000) HAZOP guide to best practice

Icheme Rugby Kletz, T.A. (1986). Notes on the identification and assessment of hazards.

Icosorio andinet 2005. HAZOP Estudios de Riesgos y Operabilidad Consejo colombiano de seguridad.

Mike Lihou. Planificación Estratégica - Gestión de Riesgos - Control de Gestión y de Costos Simulación de Negocios y Escenarios -Gestión de Riesgos. Preparado por Access Soluciones Avanzadas.

Mendoza Murillo Rodolfo (2009) IPN Unidad profesional interdisciplinaria de ingeniería, ciencias sociales y administrativas, Metodología para el desarrollo de algoritmos de evaluación de riesgo en estaciones de bombeo de hidrocarburos.

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.

Orlando Renzo Laura Barreto, Lima Perú 2009, “Estudio de análisis de riesgo en un generador de acetileno utilizando la metodología HAZOP”

Dr. Enrique Ortiz Nadal Impacto y Riesgo Ambiental Departamento de Ing. Química ITESM Campus Monterrey.

PEMEX Exploración y Producción, Subdirección región sur gerencia de seguridad industrial, protección ambiental y calidad, activo integral bellota-jujo, coordinación de construcción y mantenimiento, Proyecto construcción de L.D.D. 8"Ø pozo tajon 101 al cabezal puerto ceiba, mediante la técnica de perforación direccional controlada.

Grimaldi-Simonds La Seguridad Industrial- Su administración, ed. Alfaomega, México, 1996, p.305

Elaine Virginia Villegas Mantuano (2012)Análisis de Riesgos Mediante el Método HAZOP en las Áreas de Almacenamiento, Patio de Bombas y Despacho del Terminal de Productos Limpios el Beaterio de EP PetroEcuador.

David Willis and Frank Deegan, DNV Technical, and M.J. Owens 1994, HAZOP of Procedural Operations, SPE 27243, Consultant Copyright , Society of Petroleum Engineers, Inc.

Referencias Electrónicas

<http://buscador.ifai.org.mx/buscador/buscar.do>

<http://clintyanyurbis-diagramasdeflujo.blogspot.com/2007/07/diagramas-de-flujo.html>

www.monografias.com/.../diagrama-de-flujo2.shtml 2012.

<http://www.oilproduction.net/files/HAZOP-tecnica%20de%20identificacion.pdf>

<http://www.ri.pemex.com/index.cfm?action=content§ionID=134&catID=12202>

www.pirobloc.com/?wpdmact=process&did=My5ob3RsaW5r

plr@solucionesavanzadas.cl www.solucionesavanzadas.cl