

00521
89



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

“ ANÁLISIS DE RIESGOS DE UN CIRCUITO DE
RECUPERACIÓN DE VAPORES EN UNA PLANTA
CATALÍTICA TIPO FCC ”

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERA QUÍMICA

P R E S E N T A :
LETICIA MARTÍNEZ LÓPEZ



EXAMENES PROFESIONALES
FACULTAD DE QUÍMICA

MÉXICO, D.F.

2003

III



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

https://doi.org/10.1016/j.procs.2017.05.004

PAGINACION

DISCONTINUA

Jurado asignado:

Presidente	Prof. Ramón Domínguez Betancourt
Vocal	Prof. Celestino Montiel Maldonado
Secretario	Prof. Modesto Javier Cruz Gómez
1er sup .	Prof. Mirna Rosa Estrada Yañez
2do sup .	Prof. Eduardo Vivaldo Lima

Sitio donde se desarrolló el tema
Laboratorio E-212 Facultad de Química



Dr. Modesto Javier Cruz Gómez

Asesor del tema



Ing. Mario Muñoz Medina

Supervisor Técnico



Leticia Martínez López

Sustentante

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo profesional.
NOMBRE: Leticia Mtz López

FECHA:

11 - Dic - 98

FIRMA:



CONTENIDO

CONTENIDO.....	V
ÍNDICE DE TABLAS.....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	X
ÍNDICE DE DIAGRAMAS.....	X
CAPITULO 1 INTRODUCCIÓN.....	1
JUSTIFICACIÓN.....	2
OBJETIVOS.....	5
CAPITULO 2 ANTECEDENTES.....	6
GENERALIDADES DE LOS ANÁLISIS DE RIESGOS.....	7
Conceptos: Peligro, Riesgo, Accidente, Análisis de Riesgos, Análisis de riesgos, Análisis de riesgos de procesos.....	9
Tipos de riesgos.....	11
Clasificación de los Riesgos.....	14
Secuencia de un accidente.....	16
Clasificación de las causas de un accidente.....	17
Métodos para la Evaluación de Riesgos.....	20
Metodologías de Identificación de Riesgos.....	23
DESCRIPCIÓN DE LAS METODOLOGÍAS DE ANÁLISIS DE RIESGOS.....	27
Información de Seguridad (Safety Review).....	27
Lista de Verificación.....	28
¿Qué pasa si? What if Analysis?.....	30
Análisis de Fiabilidad Humana (Human Reliability Análisis).....	31
Análisis y Efectos de Modo de Falla.....	31

Árbol de Fallas (Fault Tree Análisis).....	32
Árbol de Eventos (Event Tree Analysis).....	34
Análisis de Riesgos y Operabilidad (HazOp).....	35
METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE RIESGOS Y OPERABILIDAD (HazOp).....	36
Matriz de Riesgos.....	40
Análisis Comparativo entre las Metodologías.....	41
GENERALIDADES DE LOS ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS.....	42
Modelos de Estimación de Consecuencias.....	43
Modelos de Fuente.....	42
Modelos de Dispersión.....	45
Modelos de Fuego y Explosión.....	49
Tipos de Explosiones.....	50
Explosiones de Nubes de Vapor.....	51
Explosiones Confinadas.....	52
BLEVE.....	53
Explosiones Físicas.....	54
Tipos de Fuegos / Incendios.....	55
Flash Fire / Bola de Fuego ("Fire ball").....	56
Incendios o Fuegos de Charcos ("Pool Fire").....	56
Chorro de Fuego ("Jet Fire").....	58
Modelos de Efecto.....	59
CAPITULO 3 TRABAJO DE CAMPO.....	60
LA PLANTA DE CRAQUEO CATALÍTICO FLUIDIZADO.....	61
Sección de recuperación de vapores.....	63
Planta de Tratamiento de Aguas Amargas.....	65
Metodología del Análisis HazOp.....	68
Hojas de Registro de las Sesiones HazOp.....	69
ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS.....	73
Metodología.....	74
Datos para el Modelo de Dispersión de Vapores Tóxicos.....	75
Escenario de nube tóxica Causas y Efectos.....	77

ANÁLISIS DE ÁRBOL DE EVENTOS (AAE).....	82
Metodología.....	83
Definición del Evento Iniciante.....	84
Escenario, Causas y Consecuencias.....	85
CAPITULO 4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	87
CONCLUSIONES DEL HAZOP.....	88
CONCLUSIONES DEL ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS.....	89
CONCLUSIONES DEL ÁRBOL DE EVENTOS.....	92
APÉNDICE A.....	95
ACRÓNIMOS.....	98
BIBLIOGRAFÍA.....	101

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA.No	NOMBRE	PAGS.
2.1	Clasificación de algunas metodologías de Análisis de Riesgos	22
2.2	Información utilizada en una evaluación de peligros	25
2.3	Simbología y significado de puertas logicas para el AAF	33
2.4	Equivalencia de la probabilidad	33
2.5	Lista de parámetros	36
2.6	Palabras guía	37
2.7	Matriz de riesgos	40
2.8	Usos más comunes para las metodologías de evaluación	41
2.9	Tres tipos de accidentes	43
2.10	Escenarios típicos de emisiones	44
3.1	Datos requeridos para el análisis de consecuencias	75
3.2	Escenario de nube tóxica, causas y efectos	77
3.3	Resultados de Efectos de la Nube Tóxica	78
3.4	Resultados de Efectos de la Nube Tóxica. (Continuación)	79
3.5	Concentraciones Máximas Permisibles para la Nube	80
3.6	Escenario Tóxico de Acido Sulfhídrico	85
4.1	Recomendadas obtenidas del Hazop	106
4.2	Lista de buenas practicas de operación	107
4.3	Recomendación para reducir los efectos por fuga de H2S	109
4.4	Recomendación para reducir probabilidad del evento	110

ÍNDICE FIGURA

FIG.No	NOMBRE	PÁG
2.2	Reducción del Riesgo por Acciones de Protección	13
2.3	Secuencia de un Accidente	16
2.4	Evaluación predictiva del riesgo	21
2.5	Pasos para un Análisis de Riesgos de Proceso	26
2.6	Ilustraciones de ejemplos de mecanismos de emisión	44
2.7	Ejemplos de Emisiones Continuas	47
2.8	Formación de un "Puff"	48
2.9	Ilustración de un BLEVE	54
2.1.0	Ilustración de una Bola de fuego	56
2.1.1	Ilustración de un "Pool of Fire"	58
2.1.2	Ilustración de un Charco de fuego	58

INDICE DE DIAGRAMAS

DIAG No.	NOMBRE	PAG
FQ 332-D1	Diagrama de flujo de proceso Aguas Amargas	67
FQ 332-D2	Diagrama de tubería e instrumentación Aguas Amargas	68
FQ 332-D3	Diagrama Análisis de consecuencias	81
FQ 332-D4	Análisis de árbol de eventos	86

CAPITULO 1

INTRODUCCION

JUSTIFICACIÓN

Desde la antigüedad los seres humanos y los animales han buscado la manera de satisfacer sus necesidades básicas como alimento, vestido y techo.

El hombre ha experimentado a lo largo de la historia un proceso de aprendizaje, enfrentando terribles fracasos, el proceso que ha llevado al hombre a ser lo que es hoy, ha sido una combinación de desarrollos filosóficos, científicos y tecnológicos.

Estos últimos y los intereses económicos, políticos y sociales de las comunidades impulsaron el desafío del ser humano para transformar los bienes y recursos de la naturaleza en productos que satisfacen sus demandas y por ende, a la creación de centros industriales de producción.

La búsqueda de la seguridad en forma de bienestar personal o social es una necesidad básica del hombre y por ésta razón siempre ha estado presente dentro de sus prioridades.

Existe una creciente necesidad de las economías desarrolladas y no desarrolladas por asegurar a: la gente, la propiedad y medio ambiente, tanto de los riesgos de las operaciones como, de las actividades asociadas a industrias potencialmente peligrosas y contaminantes, para que sean adecuadamente estudiados y manejados apropiadamente.

Así mismo, existe la necesidad de asegurar de forma eficiente y óptima la distribución de los escasos recursos en los procesos de manejo y evaluación del riesgo.

En el presente, la clasificación y la jerarquización de los diferentes riesgos de un proceso (transformación, almacenamiento, carga/descarga, etc.) para su posterior evaluación detallada es un tema de gran importancia.

Las instalaciones industriales y los grandes corredores industriales tienen un número muy grande de actividades de naturaleza y alcance diferentes, con riesgos asociados de diferente magnitud a cada una de ellas. Dentro de las actividades consideradas peligrosas se pueden mencionar entre otras: los procesos productivos de las plantas, plantas, las terminales de almacenamiento, actividades de carga y descarga y el

transporte de materiales. Todas las actividades industriales están reglamentadas en mayor o menor grado dependiendo del país del que se trate.

En México, la regulación sobre las actividades industriales y especialmente las actividades altamente riesgosas comenzó en forma en 1988 con la publicación de la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LEGEEPA) y su reforma en 1996, así como con la posterior Instrumentación de los diversos reglamentos y normas oficiales mexicanas.

La LEEGEPA, en el Art. 147 dice: "La realización de actividades industriales, comerciales o de servicios altamente riesgosa, se llevarán a cabo con apego a lo dispuesto por esta Ley, las disposiciones reglamentarias que de ella emanen y las normas oficiales mexicanas a que se refiere el artículo anterior.

Quienes realicen actividades altamente riesgosas, en los términos del Reglamento correspondiente, deberán formular y presentar a la Secretaría un estudio de riesgo ambiental, así como someter a la aprobación de dicha dependencia y de las Secretarías de Gobernación de Energía, de comercio y fomento Industrial, de accidentes en la realización de tales actividades que puedan causar graves desequilibrios ecológicos".

Como se puede observar en lo citado antes, la Ley establece la obligación de presentar dos instrumentos básicos para la administración del riesgo: el estudio de riesgo ambiental y el programa para la prevención de accidentes (PPA). Ambos documentos sirven al industrial para establecer prioridades de atención entre los diferentes riesgos que tiene su instalación y para la implementación de programas de prevención y atención adecuada de emergencias.

En Europa, La Directiva de Seveso es la regulación que la Comunidad Económica Europea (CEE) , actualmente Comunidad Europea, implementó en 1982 y actualizó en 1996 esta directriz se desarrolló después del accidente en Seveso, Italia.

La Directiva requiere entre otras cosas, que ciertas industrias declaren los materiales peligrosos que se manejan en la instalación, que realicen estudios de riesgo, notifiquen a las autoridades los riesgos en la instalación, las medidas de reducción adoptadas, mantengan planes de respuesta a emergencias, etcétera.

En los Estados Unidos de Norteamérica, la regulación de las actividades industriales está a cargo de la "Occupational Safety and Health Administration, OSHA" y la "Environmental Protection Agency, EPA". Las regulaciones son las siguientes: por parte de la OSHA, la regla PSM 29 CFR 1910 - 119 de 1992 que regula la Administración de la Seguridad de los Procesos (Process Safety Management PSM) y por parte de la EPA, la regla 40 CFR partes 9 y 68 de 1994 y 1996 respectivamente, relativas a los requerimientos de prevención de accidentes químicos, que dañan a la sociedad y el medio ambiente.

*"La seguridad e higiene industriales deberán ser una de las mayores prioridades del negocio. Por lo que se tendrá que poner mayor atención a mejorar la seguridad en la industria química, de refinación y petroquímica como al riesgo que implica su funcionamiento para la población circundante y para el medio ambiente a largo plazo. La industria química, de refinación y petroquímica de todo el mundo tendrá que desarrollar una política más adecuada, en el corto plazo, para disminuir los riesgos, mediante el desarrollo de nuevos productos, tecnologías y procesos y/o mediante la prevención y control de riesgos, usando técnicas especializadas de identificación y evaluación de riesgos y mejorando los sistemas administrativos y de ingeniería." **

*Comité de Química de las Comunidades Europeas.

OBJETIVOS

- Identificar y clasificar los riesgos de proceso en un Sistema de tratamiento de Aguas Amargas localizada en la planta de (Craqueo Catalítico Fluidizado), mediante la técnica Análisis de Riesgos y Operatividad HazOp.
- Establecer la lista jerárquica de las recomendaciones generadas a partir del estudio HazOp, para mejorar la operabilidad en el Sistema de tratamiento de Aguas Amargas.
- Calcular el área de afectación generada por una Nube tóxica de Ácido sulfhídrico (H_2S), a través de la realización de un Análisis de Consecuencias, para evaluar el escenario “Fuga en la línea y/o conexiones de la bomba BA-1 A/B.
- Realizar un análisis cuantitativo y/o cualitativo del incidente “Alto nivel en el tanque TH-1 de aguas amargas”, mediante la técnica árbol de eventos.

CAPITULO 2

ANTECEDENTES

Generalidades de los Análisis de Riesgos

La creciente tendencia de accidentes potenciales, los cuales han provocado cuantiosas pérdidas humanas, de la calidad del aire (impacto ambiental) y materiales, ocurridos en diferentes plantas de procesos químicos, de refinación y petroquímicos, ha sido uno de los motivos principales por los cuales se desarrolló la técnica HazOP, después de reconocer que las causas de estos accidentes pueden identificarse, evitarse ó que su gravedad ó frecuencia puede reducirse, es decir, como una respuesta a la demanda de evitar estas catástrofes ó al menos, mitigar sus consecuencias. La técnica HazOP se crea oportunamente, a principios de los años 70's por ingenieros de prevención de pérdidas y confiabilidad de la empresa Imperial Chemical Industries de Gran Bretaña, cuando el control y la automatización de los procesos, más sofisticados y centralizados para aparentemente, hacer más económica su operación. Sin embargo, se encontró que un mayor control y automatización de los procesos con tecnología más sofisticada y centralizada aunado a un decremento del conocimiento de los operadores respecto de estos procesos estaba produciendo un riesgo potencial que debía reducirse incrementando el conocimiento de los operadores respecto de los procesos y sus riesgos, los cuales pueden ser identificados y analizados con la técnica HazOp.

Entre los accidentes que más han impactado a la sociedad y a los dueños de los negocios de procesos químicos, de refinación y petroquímicos, podemos citar los siguientes: La explosión ocurrida en la planta de producción de Caprolactama, a partir de la de la oxidación directa del ciclohexano, en Flixborough (Gran Bretaña) el 1° de junio de 1974; la fuga de Isocianato de Metilo (MIC) en una planta de Unión Caribe, en Bhopal (India) el 2 de diciembre de 1984, la fuga de ácido fluorhídrico (HF) en la refinería de Maratón Oil, en Texas (U.S), en octubre de 1987; la explosión de contenedores de LPG, en San Juan Ixhuatepec, en México D.F., el 19 de noviembre de 1984; entre otros.

Estos accidentes, y muchos más, han sido el motivo de una mayor preocupación por los temas de seguridad e higiene industriales y ecología, en la industria química, de refinación y petroquímica, relacionados con el manejo, almacenamiento y uso de productos químicos.

Lo anterior, es una llamada de atención a todas las partes involucradas en el manejo de sustancias químicas peligrosas y a las autoridades para continuar con el esfuerzo de regular y administrar los riesgos de la mejor forma posible.

La pérdida de una vida humana no debe suceder y no es aceptable, todos los accidentes son y deben prevenirse.

La historia nos ha enseñado que somos vulnerables, es decir, que dependiendo de las situaciones que nos rodeen podemos o no sufrir algún tipo de accidente, pero y ¿Cuál es la definición?. ¿Qué tipos de accidentes existen?. ¿Cómo se pueden clasificar?. ¿Cuáles son las medidas de análisis y prevención de los accidentes?, ¿Cómo se pueden estimar las consecuencias de los accidentes y que herramientas existen para ello?.

Algunas respuestas a las preguntas antes mencionadas se pueden encontrar en esta tesis, otras necesitarán de un estudio más profundo y minucioso para poder resolverlas, siempre teniendo en cuenta que una vez que se resuelve una duda, surgen otras más difíciles y este es un proceso de aprendizaje del humano.

Diariamente, una gran cantidad de peligros amenazan al ser humano, estos son percibidos consiente o inconscientemente y simplemente se sabe que son amenazantes, sin tener una idea precisa de cómo, cuándo, dónde y en qué medida pueden presentarse.

“Considerar la probabilidad y severidad de una amenaza potencial, permite conocer mejor el peligro percibido y es entonces cuando deja de ser una Pérdida Potencial no evaluada (**Peligro**) y se convierte en un **Riesgo**.” [1]

La palabra **riesgo** significa la posibilidad de sufrir pérdidas ó bien se puede considerar como una medida de pérdida económica ó daño a las personas, expresada en función de la probabilidad del suceso - la magnitud de las consecuencias. La palabra **pérdida** significa un derroche innecesario de recursos. Cualquier condición física y química capaz de causar daños a las personas, al medio ambiente o a la propiedad. [1]

La palabra **accidente** significa cualquier acontecimiento no planeado que implica una desviación intolerable sobre las condiciones de un sistema causando daño a las personas, al equipo, a los materiales y al medio ambiente, y pueden ser accidentes menores o mayores.

Accidente menor es un acontecimiento no deseado que provoca daños leves a las personas, siendo necesario la aplicación de primeros auxilios para que se incorporen nuevamente a sus actividades normales. Como podemos observar existe una diferencia clara entre riesgo y peligro aunque frecuentemente se habla de que hay un peligro elevado cuando en realidad se quiere decir que el nivel de riesgo es alto.

Accidente mayor cualquier suceso tal como una emisión, fuga, vertido, incendio ó explosión que sea consecuencia de un desarrollo incontrolado de una actividad industrial y que pueda provocar una situación de gran riesgo, catástrofe o calamidad pública, inmediata ó diferida, para las personas, para el medio ambiente y para los bienes propiedad de los accionistas, ya sea en el interior ó en el exterior de las instalaciones, y en el que estén implicadas una ó varias sustancias peligrosas (real decreto 886/1988, de la legislación Española, sobre prevención de accidentes mayores).

Para poder decidir si un riesgo es o no aceptable, se requiere estimar su magnitud mediante un "análisis de riesgos". Por lo tanto, analizar significa determinar el nivel potencial que representa una actividad, tanto para personas como para bienes materiales, en términos de la magnitud del daño y la probabilidad de que tenga lugar.

Análisis de riesgos. Es una disciplina que combina la evaluación ingenieril del proceso con técnicas matemáticas que permiten realizar estimaciones de frecuencias / probabilidades y consecuencias de accidentes. Los resultados del análisis de riesgos pueden ser utilizados para la toma de decisiones (gerencia ó administración de riesgos), ya sea mediante la jerarquización de las estrategias de reducción de riesgos ó mediante la comparación con los niveles de riesgo fijados como objetivo en una determinada actividad. [1]

El análisis de riesgos de procesos. Es un esfuerzo organizado para identificar, por medio de una serie de técnicas sistemáticas, las debilidades asociadas con el diseño u operación del proceso que podrían conducir a consecuencias indeseables (perjuicios personales ó daños a equipos catastróficos) y determinar las medidas para controlar estos riesgos y eliminar ó al menos mitigar sus consecuencias.[23]

En la industria química, por más que se introduzcan salvaguardas, su actividad representa un riesgo, que únicamente puede ser eliminado si eliminamos la industria química. Ya que la industria química es necesaria en el mundo actual, la solución al problema es determinar cual es el nivel de riesgo aceptable en una instalación / proceso. El proceso de decisión de aceptar ó no el nivel de riesgo es muy complejo, es necesario tomar en cuenta factores humanos económicos de responsabilidad legal y de imagen pública (análisis costo-beneficio).

TIPOS DE RIESGOS

En este mismo documento, se definen tres tipos de riesgos: [6]

- “El riesgo individual es la probabilidad de que una persona sufra un efecto nocivo como consecuencia de una exposición a un agente de riesgo (expresada en unidades de probabilidad anual o con referencia a una media al año)”.
- “El riesgo de grupo es la probabilidad referida a un año de que un grupo, caracterizado por un número mínimo de componentes, sea globalmente víctima, en un mismo momento, de un único incidente”.
- “El riesgo colectivo para ecosistemas es la probabilidad referida a un año en que un ecosistema sufra un particular efecto nocivo, como consecuencia de la exposición a un agente de riesgo o de la dispersión de una sustancia tóxica”.

La palabra riesgo es frecuentemente utilizada dependiendo del tipo de consecuencia, por ejemplo, en el campo de la salud se habla del riesgo sanitario, y en el campo económico, del riesgo financiero.

En la industria, se ha evidenciado, al riesgo como un parámetro para cuantificar las alternativas de cualquier decisión, de aquí que el riesgo es considerado en todos los campos donde será necesario tomar decisiones. No es correcta la percepción de algunas empresas que el riesgo es solo un parámetro de referencia para las plantas e implique exclusivamente consideraciones sobre los posibles daños a personas, instalaciones o al ambiente.

Anteriormente, se definió riesgo como “La consecuencia indeseable de una actividad particular en relación con la probabilidad de ocurrencia de la misma”, de donde se puede deducir el cálculo de riesgo (R) como el producto de la probabilidad (P) de que suceda un evento no deseado por la magnitud (M) de su consecuencia:

$$R = P * M$$

Sin embargo, en la mayor parte de los casos, la probabilidad de que se verifique un evento debe ser estimada dentro de un intervalo de tiempo prefijado por lo tanto, la ecuación anterior se puede expresar de la siguiente forma:

$$R = F * M$$

Donde :

F = probabilidad que se verifique un evento dentro de un intervalo de tiempo prefijado.

M = gravedad de las consecuencias, o simplemente magnitud.

Desde el punto de vista dimensional, la variable F se expresa como el nivel del tiempo. Muchos analistas la expresan, aunque no siendo del todo correcto, como frecuencia (tiempo⁻¹).

En cambio, las unidades de la magnitud de la consecuencia no son únicas y por está razón no son tan fáciles de determinar. Generalmente se expresan como:

Número de muertos, daños a las instalaciones, daños al medio ambiente y pérdidas económicas.[3]

El cálculo del riesgo aún puede considerar un parámetro más, llamado factor de utilidad, U, (factor de costo-beneficio), pero no será objeto de estudio en esta tesis debido a que es un parámetro de decisión, mismo que se deja a consideración de quien toma las decisiones.

El nivel de riesgo se ha fijado, para muchos agentes de riesgo, en el principio del 1% del máximo nivel permitido. Entre el intervalo límite y el aceptable se adopta el criterio ALARP ("As Low As Reasonably Practicable"), tan bajo como sea razonablemente posible.

Se han estimado y establecido límites aceptables para daños individuales (muertes en un único instante/año). También se han establecido estos límites para los riesgos acumulativos, que son los relativos a situaciones en las cuales las personas son expuestas a peligros derivados con numerosas actividades, diferentes entre ellas o a actividades combinadas y en nuevas situaciones. Es conveniente señalar que el riesgo nulo es un concepto utópico que generalmente significa completa inactividad; y a menos que se elimine la causa no es prácticamente posible reducir el riesgo sino hasta un cierto nivel, el cual depende de los recursos disponibles.

Se puede reducir el riesgo empleando las técnicas de protección o de prevención y/o su combinación. Como se muestra en la figura 2.1

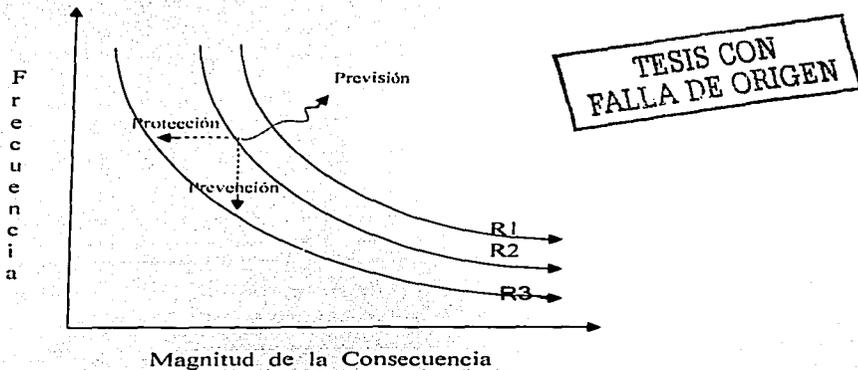


Figura 2.1 Reducción del Riesgo por acciones de protección o prevención.

CLASIFICACIÓN DE LOS RIESGOS. [3]

Existen eventos que dañan al individuo o a la comunidad y pueden ser eventos inmediatos o retardados, con efectos no-inmediatos o una combinación.

Una manera de clasificar los riesgos de una actividad industrial es la siguiente:

- **Riesgos Convencionales.** Son aquellos ligados a las actividades laborales (ej. Caídas desde escaleras, accidentes por descargas eléctricas, riesgos derivados de máquinas dinámicas, etc).
- **Riesgos Específicos.** Son los relacionados con la utilización de sustancias particulares y productos químicos, que por su naturaleza, puedan producir daños a corto y largo plazo a las personas, las instalaciones y el ambiente.
- **Grandes Riesgos Potenciales.** Son los que están ligados a accidentes anómalos, cuyas consecuencias pueden ser explosiones o emisiones de sustancias peligrosas que afectan vastas áreas en el interior y exterior de la planta industrial.

EVALUACIÓN DE RIESGOS. [6]

Conforme la tecnología de los procesos químicos avanza, el personal técnico se ve en la necesidad de entender los fundamentos y detalles de la seguridad industrial, salud y protección del medio ambiente. H:H.Fawcett dijo: “To know is to survive and to ignore fundamentals is to court disaster” (Saber es sobrevivir e ignorar los fundamentos es provocar un desastre).

Algunos factores importantes a considerar en una Evaluación de riesgos son :

- La ocurrencia de grandes accidentes industriales;
- El desarrollo y evolución de modelos para el manejo de programas de seguridad por varias organizaciones e industrias;
- Legislaciones restrictivas e iniciativas de normatividad para la seguridad de los procesos;
- Ahorro económico por pago de las consecuencias de accidentes; y
- Que las industrias tuviesen una mayor relación con la comunidad y el gobierno.

La evaluación de riesgos ayuda a entender porqué y como pueden ocurrir los accidentes, a prevenirlos y a reducir su frecuencia y consecuencias, resolviendo las tres siguientes preguntas:

1. ¿Qué se hizo mal y cómo?
2. ¿Qué probabilidad hay de que ocurra?
3. ¿Cuáles son las consecuencias?

Está plenamente demostrado que los antecedentes que desencadenan un accidente son los mismos que producen un incidente. La diferencia entre un accidente y un incidente es que en éste último no hay lesiones ni daños, mientras que el accidente ocasiona lesiones o pérdidas humanas, daños materiales o daño al medio ambiente. Sin embargo, lo que produjo el hecho es el mismo. La única diferencia entre ambos es la casualidad. [8]

SECUENCIA DE UN ACCIDENTE.

Siempre que existe un peligro podrá ocurrir un accidente si no se toman las medidas adecuadas para evitarlo o disminuirlo. Los accidentes comienzan con un evento iniciador, continúan si las respuestas del sistema (equipos y sistemas de protección) o humanas (entrenamiento y procedimientos de emergencia) no son satisfactorias, dando lugar a eventos intermedios, mismos que pueden ser factores propagadores o de reducción del riesgo, conduciendo finalmente a consecuencias. Éstas pueden ser nulas, mínimas, locales o sociales y de efecto agudo o crónico. Como se muestra en la Figura 2.2

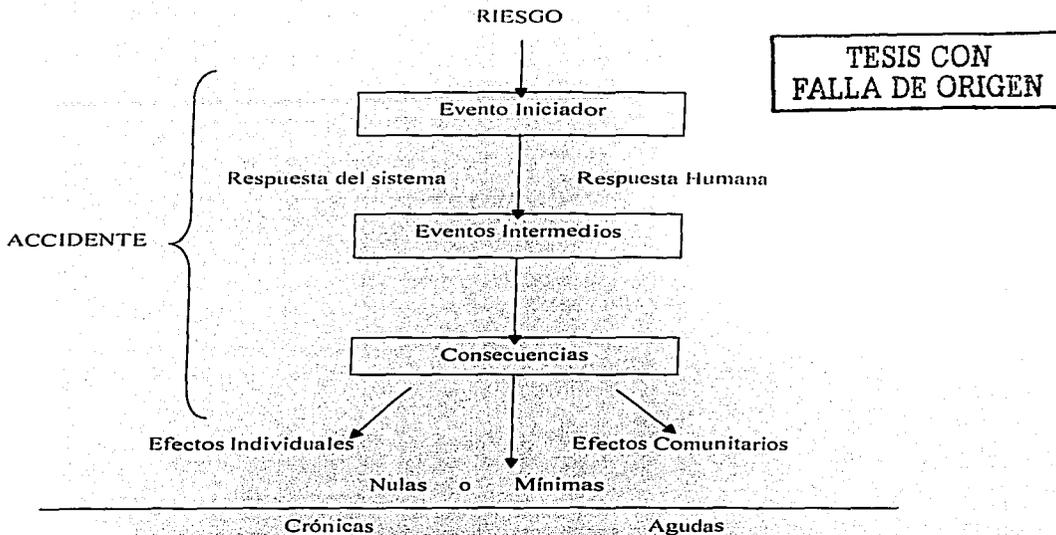


Figura 2.2 Secuencia de un Accidente.

H.H.Fawcett and W. S. Wood. "Safety and Accident Prevention in Chemical Operations"

Una peculiaridad destacable en las instalaciones de procesos, es que suele existir interrelación entre los riesgos y sus factores causales, que en función de las circunstancias desencadenantes generan diferentes niveles de peligrosidad y de gravedad de las consecuencias.

Todos los componentes deben de estar sometidos a un programa de mantenimiento preventivo y correctivo para garantizar su correcto estado además a un mantenimiento predictivo que garantice su renovación antes e haberse agotado su vida media, establecida por el fabricante.

Estos accidentes, y muchos más, han sido el motivo de una mayor preocupación por los temas de seguridad e higiene industriales y ecología, en la industria química, de refinación y petroquímica, relacionados con el manejo, almacenamiento y uso de productos químicos.

CLASIFICACIÓN DE LAS CAUSAS DE UN ACCIDENTE

Evidentemente, las instalaciones son diseñadas para adecuarse a las condiciones normales de trabajo, pero deben de ser capaces de soportar alteraciones previsibles, aunque sean ocasionales, sin generar daños a personas o instalaciones.

Es importante que se visualice el accidente como una secuencia de eventos, porque en teoría, cada evento individual representa una oportunidad para reducir la frecuencia o la consecuencia de un accidente.

La estimación de consecuencias puede ser de dos tipos: 1) la investigación de los efectos resultantes de cierto fenómeno físico; y 2) el estudio de los daños causados por dichos efectos sobre el área afectada y su entorno, mediante modelos de vulnerabilidad, toxicidad, efectos térmicos y efectos de explosiones. [5]

La experiencia de los accidentes sucedidos en instalaciones industriales muestra que las causas de los mismos pueden clasificarse en tres grupos:

- a) Fallas de componentes
- b) Desviaciones de las condiciones normales de operación,
- c) Errores humanos y de organización.

Esta clasificación es sin considerar los agentes externos al proceso y las fuerzas naturales (proximidad a instalaciones peligrosas, viento, heladas, incendios, etc.).

A continuación se mencionan ejemplos de cada uno de los grupos arriba mencionados²:

a) Fallas de Componentes

- Diseño inapropiado para la presión de operación (o presión interna), fuerzas externas (ej. Vientos nivel huracán), corrosión a causa del medio ambiente y temperatura;
- Fallas de equipo de proceso tales como bombas, compresores, ventiladores, agitadores, etc.;
- Fallas de sistema de control (sensores de presión, temperatura, controladores de nivel, reguladores de flujos, unidades de control computarizadas, etc.);
- Fallas de sistemas específicos de seguridad (válvulas, discos de ruptura, sistemas de alivio de presiones, sistemas de neutralización, etc.)

b) Desviaciones de las condiciones normales de operación

- Alteraciones incontroladas de los parámetros fundamentales del proceso (presión, temperatura, flujo, concentración);
- Fallas en los servicios, tales como:
 - Insuficiente enfriamiento para reacciones exotérmicas
 - Insuficiente suministro de vapor; corte del suministro;
 - Ausencia de nitrógeno o agente inertizante;
 - Ausencia de aire comprimido (de instrumentación o de agitación).
- Fallas en los procedimientos de paro y arranque;
- Formación de subproductos, residuos o impurezas, causantes de reacciones colaterales indeseadas.

c) Errores humanos y de organización

- Errores de operación, errores de comunicación
- Desconexión de sistemas de seguridad a causa de frecuentes falsas alarmas; Confusión en el manejo de sustancias químicas.
- Incorrecta reparación o trabajos de mantenimiento mal hechos;
- Realización de trabajos no autorizados (soldadura, entrada en espacios no confinados, etc)

Los errores humanos suelen suceder entre otros, por alguno de los siguientes motivos:

1. No conocer suficientemente los riesgos y su forma de prevención;
2. Insuficiente información y adiestramiento en el trabajo;
3. Carga psíquica excesiva / Operadores enfermos que se presenten a trabajar.

¿CÓMO HACER UNA IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS? [8]

Los procedimientos de identificación de riesgos han sido desarrollados para evaluar los peligros que existen, las consecuencias que podrían ocurrir como resultado del riesgo, la probabilidad de que el evento pueda ocurrir, la posibilidad de que suceda la secuencia de eventos y la probabilidad de que los sistemas de seguridad, sistemas de prevención (mitigación), alarmas de emergencia y planes de evaluación funcionen apropiadamente y eliminen o reduzcan las consecuencias.

El objetivo principal de un Análisis de Riesgos es la “Reducción del Riesgo”. La clave para el éxito del análisis es usar una metodología adaptable a las circunstancias particulares y a los resultados esperados y que el líder del análisis establezca: el o los objetivos, el alcance, la programación en tiempo, calendarice las sesiones e integre al equipo adecuado para realizarlo.

MÉTODOS PARA LA EVALUACIÓN DE RIESGOS [2]

Existen tres métodos básicos para la evaluación de riesgos:

- a) El Recurso de la Experiencia de Ingeniería, es el repetir las buenas prácticas y consiste básicamente en observar reglas y regulaciones, así como cumplir con los requerimientos de las normas aceptadas, seguir las prácticas probadas por los años de experiencia en el mismo proceso. mantener los mismos procedimientos de operación, de mantenimiento y mantener el mismo diseño de planta con sus requerimientos.
- b) Los Bancos de Datos sobre Accidentes, son información histórica recogida a través de investigaciones de accidentes, que constantemente se están actualizando y en ellos se pueden revisar modelos que cuantifican variables de sustancias y la vulnerabilidad de personas, equipos y estructuras. Algunos ejemplos de éstos son: FACTS (Failure and Accident Technical Information System) de TNO (Holanda), WOAD (Worldwide Offshore Accident Data Bank de Veritek (Noruega) y ACQUIM (Sistema de Base de Datos para el Manejo de Información Relacionada con Accidentes Químicos) (México)
- c) La Evaluación Predictiva el Riesgo, es un enfoque analítico que busca en el sistema: a) Nuevos Riesgos, b)Nuevos Accidentes potenciales y c)Nuevas formas en la cual el sistema pueda responder a los accidentes. Los procedimientos predictivos pueden entregar una estimación cualitativa y cuantitativa de la probabilidad y consecuencia de un accidente.

Figura 2.3 Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo NTP-238 1989
 "Los Análisis de Peligros y de Operabilidad en instalaciones de Proceso"

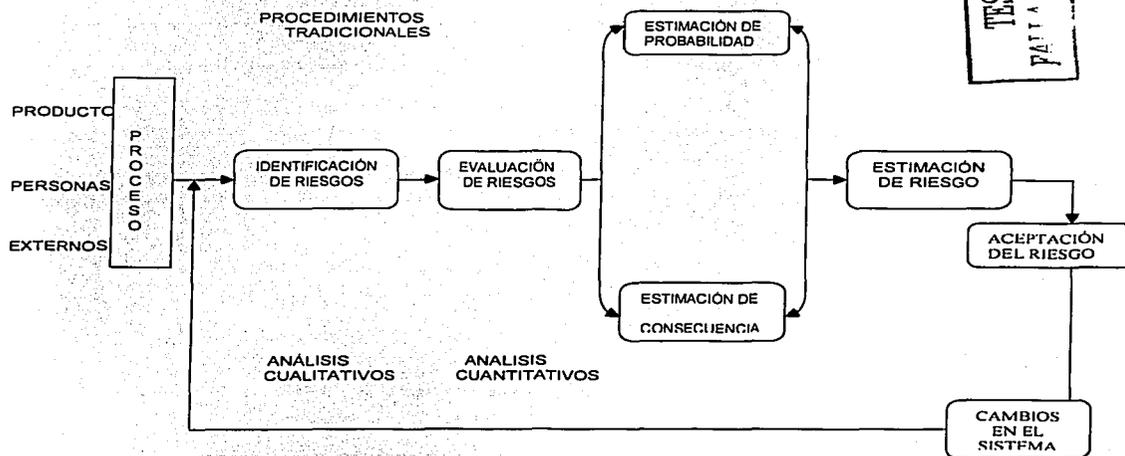


Figura 2.3 Evaluación Predictiva del Riesgo.

Las estimaciones cualitativas de riesgos son la evaluación de peligros, ya que su finalidad es identificarlos y proponer medidas para corregirlos; no incluyen parámetros de probabilidad, ni jerarquizan a los mismos.

Existen metodologías de análisis de riesgos que también pueden ser de empleadas como se verá a continuación.

METODOLOGÍAS DE IDENTIFICACION DE RIESGOS [8]

Cualesquiera que sean los métodos de análisis a emplear, éstos deberán cumplir de forma óptima los requerimientos de la tarea específica. Los diferentes métodos de análisis de riesgos tienen ventajas e inconvenientes que dependen de cómo y dónde se usen. Se pueden diferenciar dos tipos básicos de análisis de peligro: inductivo y deductivo. El inductivo, procede desde la parte simple al todo. El método deductivo, postula que el sistema bajo investigación ha fallado realmente, y se utilizan típicamente en investigaciones de accidentes para sistemas sofisticados, o productos con modos de falla conocidos.

La Tabla 2.1 muestra algunas de las metodologías de análisis de riesgos, clasificadas en deductivas, inductivas, cualitativas y cuantitativas.

Tabla 2.1 Clasificación de algunas metodologías de Análisis de Riesgos.

METODOLOGÍA	CUALITATIVA	CUANTITATIVA
Inspección de Seguridad (Safety Review)	✓ inductiva	
Lista de Verificación (Checklist Analysis)	✓ inductiva	
Jerarquización Relativa (Relativa Rankin)	✓ inductiva	✓
Evaluación Preliminar de Peligros (PHA-Preliminary Hazard Analysis)	✓ inductiva	
¿Qué pasa si? (What if Analysis)	✓ inductiva	
¿Qué pasa si? / Lista de Verificación (Checklist Analysis / What if Analysis)	✓ inductiva	
Análisis de Operabilidad (HAZOP Analysis)	✓ inductiva	
Análisis y Efectos del Modo de Falla (FMEA - Failure Mode and Effects Analysis)	✓ inductiva	
Análisis de Árbol de Fallas (FTA-Fault Tree Analysis)	✓ inductiva	
Análisis de Árbol de Eventos (ETA - Event Tree Analysis)	✓	✓ deductiva
Análisis Causa Consecuencia (CCA Cause Consequence Analysis)	✓	✓ deductiva
Análisis de Fiabilidad Humana (Human Reliability Analysis)	✓ inductiva	✓
Lista de Verificación (Checklist Analysis)	✓ inductiva	✓ deductiva
Jerarquización Relativa (Relativa Rankin)	✓	

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

Si se comparan los métodos inductivos y deductivos, se podría concluir que los inductivos son apropiados para determinar las fallas posibles en el sistema.

Sin embargo, los métodos deductivos se usan para determinar cómo se podría producir un modo de falla supuesto.

Las metodologías cualitativas son aquellas que identifican los peligros existentes en el sistema, analizan sus posibles causas y consecuencias, pero como su nombre lo indica, de manera cualitativa. Las metodologías cuantitativas en cambio son capaces de generar un valor de la probabilidad de ocurrencia del evento estudiado a partir de la probabilidad de los eventos básicos o primarios.

Las metodologías inductivas tienen en común la identificación de riesgos. Ésta se lleva a cabo buscando básicamente encontrar los impactos que los peligros podrían causar a los seres humanos, al ambiente y a la economía de la empresa.

Para realizar una identificación de riesgos es necesario analizar la organización de la empresa y la experiencia que tiene su personal en el proceso, así como la fase de desarrollo/tecnología del proceso de la planta industrial. Aplicar la metodología de evaluación correcta es la parte más importante del proceso, pues de ella dependerá el tipo de resultados que se obtengan; por ello se debe dar libertad a los analistas para que elijan la más apropiada de acuerdo al alcance del estudio. [5]

Existen varias causas por las que la selección de la metodología se puede ver influenciada:

- La motivación para el estudio;
- El tipo de resultados que se necesiten;
- El tipo de información disponible para realizar el estudio;
- Las características de los problemas a estudiar;
- Los riesgos asociados al proceso o actividad; y
- La preferencia, conocimiento y habilidad de los analistas.

Cada una de las causas anteriores llevan a pensar que en la selección de la metodología se debe ver hacia el futuro, basándose en el o los objetivos establecidos, para hacer eficiente el uso del tiempo y de los recursos humanos y materiales con los que se cuenta, o buscar aquellos que no se tengan. Teniendo presente el tipo de resultados deseado.

La información típica con la que se cuenta para realizar un análisis de peligros es la siguiente:
Ver tabla 2.2

- Información de propiedades de los materiales;
- Química del proceso; Experiencia similar con otros procesos;
- Inventario de Materiales; Equipo existente; Procedimientos de Operación
- Diagramas de líneas e Instrumentación; y Experiencia de Operación específica

El nivel de detalle de la información y la necesidad de usarla, van creciendo conforme avanzan las etapas de desarrollo de la planta y del análisis de peligros cuando éste se efectúa.

A continuación se presentara una breve reseña con la información utilizada en una identificación de riesgos:

Tabla 2.2

Ejemplos de Información utilizada en una Evaluación de Riesgos³ Adaptado del "Guidelines for Hazard Evaluation Procedures, with worked examples" [10]

<ul style="list-style-type: none"> • Reacciones químicas con estequiometría para las reacciones primarias y secundarias o paralelas • Tipo y naturaleza del catalizador empleado • Datos de los materiales en cada corriente de proceso • Cinética de las reacciones importantes de proceso, incluyendo el orden, las constantes de reacción y el acercamiento al equilibrio • Límites de las variables de proceso y consecuencias si se sobrepasan de dichos límites • Diagramas de flujo y una descripción de los procesos, comenzando por el almacenamiento de materias primas hasta el almacenamiento de productos finales • Balances de materia y energía • Inventarios de materiales químicos • Discusión de las consideraciones especiales de diseño que son necesarias por las propiedades de los materiales • Información sobre seguridad, salud y ambiente de las sustancias que intervienen en los procesos • Normas y códigos aplicables y vigentes/ Permisos y Licencias • Ubicación de edificios y equipos • Planos de Instrumentación y líneas • Planos de clasificación eléctrica 	<ul style="list-style-type: none"> • Hojas técnicas de equipos • Especificaciones de tuberías y servicios • Diagramas unifilares • Planos de instrumentación y Diagramas lógicos • Hojas técnicas de válvulas e instrumentos • Descripción de los sistemas de control y alarma • Diseño de los sistemas computacionales y equipos de cómputo • Procedimientos de operación (con parámetros críticos de operación) • Procedimientos de mantenimiento • Planes y procedimientos de emergencia • Bases de diseño del equipo contraincendio • Reportes de incidentes, de mantenimiento y prueba • Información hidrográfica • Estudios previos de análisis • Estándares internos y listas de verificación • Políticas corporativas de seguridad • Experiencia relevante de la industria • Reporte de auditorías y visitas de inspección
---	--

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

Una vez que se han identificado los peligros existentes en el sistema, se valoran de modo que las recomendaciones vayan en función de la seriedad del problema, y si se tienen datos probabilísticos confiables se realiza el análisis cuantitativo, para determinar el nivel o la aceptabilidad del riesgo y finalmente hacer los cambios necesarios al sistema estudiado.

El tiempo y costo de la realización de un análisis de peligros o de riesgos con cualquiera de las metodologías, están en función del tamaño y de la complejidad del sistema, así como el grado de detalle esperado.

La figura 2.4 muestra los pasos para realizar un Análisis de Riesgos de Proceso independientemente del tipo de metodología elegida.

Pasos para una evaluación de riesgos

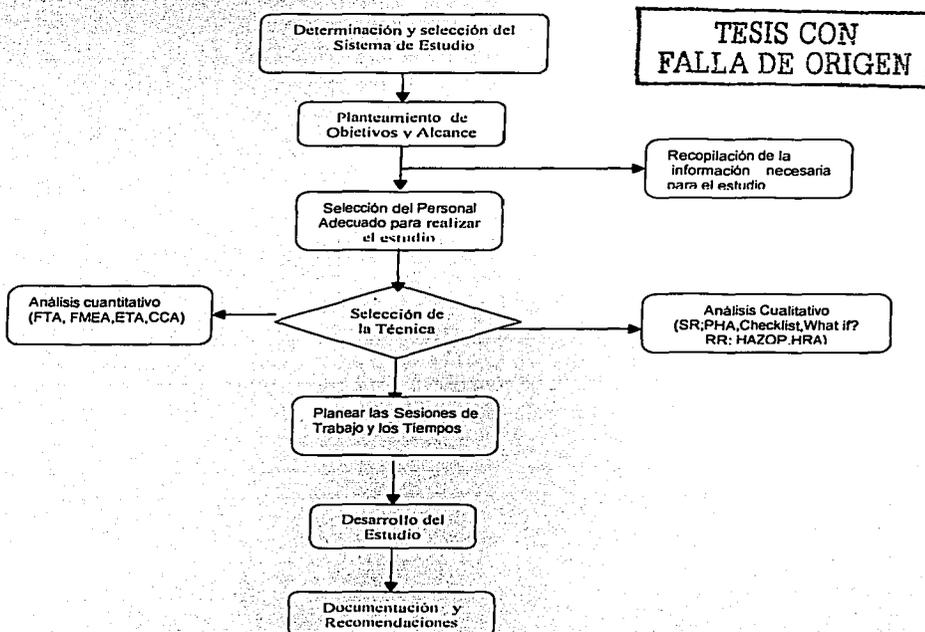


Figura 2.4 Pasos para un Análisis de Riesgos de Proceso
 Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo NTP-238 1989 "Los Análisis de Peligros y de Operabilidad en instalaciones de Proceso"

DESCRIPCIÓN DE LAS METODOLOGÍAS DE ANÁLISIS DE RIESGOS.[1]

A continuación se describen las metodologías que se presentaron en la tabla 2.1 [8]

Información de Seguridad. (Safety Review)

Es un método que busca identificar condiciones de planta o procedimientos de información que pueden provocar accidentes con pérdidas significativas en vidas humanas o en la información y los cambios de equipo o proceso que podrían introducir nuevos peligros y riesgos.

El procedimiento mantiene a los operadores alerta de los peligros del proceso, analiza los procedimientos de operación, inicia la aplicación de nuevas tecnologías a los riesgos existentes y revisa la adecuación de las inspecciones de seguridad.

Se puede aplicar a: plantas en operación, plantas piloto, laboratorios, bodegas de almacenamiento y funciones de servicio al proceso. Para que se pueda llevar a cabo se necesita la cooperación de operadores, grupo de mantenimiento, ingenieros, administradores y el grupo de seguridad, salud y medio ambiente.

En este método, se pueden realizar dos tipos de revisiones de seguridad: formal e informal. La revisión formal se usa para procesos nuevos, cambios sustanciales a procesos existentes y procesos que necesitan una revisión de actualización. La revisión informal se utiliza para pequeños cambios a procesos existentes y procesos pequeños, piloto o laboratorios. Estas revisiones pueden ser estudios de gabinete o de campo.

Lista de Verificación. (Checklist Analysis)

La lista de verificación tiene como objetivo identificar riesgos comunes y asegurar que se cumplan las normas y procedimientos establecidos. Para realizar el estudio se emplea una serie de preguntas escritas sobre normas y estándares vigentes y aplicables, procedimientos establecidos, estado y funcionamiento de equipos y sustancias involucrados en el sistema, comparándolas contra la realidad del proceso. Este método, se puede aplicar en cualquier etapa de un proceso.

El grado de detalle de los puntos de la lista depende de los requerimientos del grupo analista y están sujetos directamente a la experiencia de quien la realiza. Se puede usar para familiarizar a personas sin experiencia con el sistema, haciendo la revisión comparativa de la realidad con las preguntas planteadas en el formato. Debe de ser revisada y actualizada regularmente.

Los resultados de esta metodología presentados de manera tabular, son el reconocimiento de los puntos donde las cosas se están haciendo correctamente con un SI o incorrectamente con un NO y en algunos casos NO APLICA o FALTA ESTUDIO, para de esta manera señalar los errores y peligros potenciales dependiendo del diseño de la lista, misma que debe de ser clara, objetiva y orientada al sistema de estudio. Es una metodología rápida y económica.

Jerarquización Relativa.

Es una estrategia de análisis más que un método de análisis bien definido. Tiene como objetivo determinar las áreas u operaciones más significativas con relación a su peligro.

El estudio permite a los analistas la comparación de artículos de diferentes procesos o actividades para determinar si tienen características peligrosas que necesitan un estudio posterior, atribuyéndoles valores numéricos (índice) que representen el grado de peligrosidad, así como la comparación de alternativas, dando información sobre la menos peligrosa. Este método puede emplearse en cualquier etapa del sistema.

Existen técnicas que se pueden aplicar dependiendo del sistema como: F&EI (Dow Fire and Explosion Index) que se emplea en sistemas donde se trabaja con sustancias explosivas o inflamables, evaluando la existencia de peligro de incendios y / o explosiones; Mond Index, que es una extensión del F&EI ya que se amplió para evaluar los peligros por la toxicidad de las sustancias; SHI (Sustancia Hazard Index) que evalúa la tendencia de las sustancias para dispersarse en el aire si son liberadas, afectando personas; MHI (Material Hazard Index que se emplea para determinar las cantidades mínimas de uso de las sustancias; CEI (Chemical Exposure Index) que analiza las posibles situaciones que una sustancia liberada puede generar; y TQP (Threshold Planning Quantity Index) que es parecido al MHI.

Si se cuenta con personal con experiencia, tiempo y recursos, se pueden generar relaciones matemáticas que sean sensibles a las variables del proceso, creando índices de riesgo que modelen el riesgo relativo en cada área, tomando en cuenta las propiedades de los materiales, las condiciones del proceso, las características de diseño y construcción y actividades de operación así como el tipo de programa de seguridad.

Evaluación Preliminar de Peligros (Preliminary Hazard Analysis)

El propósito principal de este método es el reconocimiento temprano de los peligros (con el consiguiente ahorro de tiempo y dinero). Se realiza principalmente en las primeras fases de desarrollo de una planta y consiste en desarrollar una lista de peligros relacionados con todas las partes disponibles que constituyen el proceso. Como su nombre lo indica, es una evaluación de reconocimiento preliminar.

El grupo de analistas desarrolla y juzga los accidentes posibles y creíbles, así como sus consecuencias, para finalmente jerarquizarlos como insignificantes, marginales, críticos o catastróficos.

¿Qué pasa si? (What If Analysis)

Es una metodología que analiza los procesos o actividades creativamente, haciendo una lluvia de ideas comenzando con la experiencia de los analistas y de la información de operación de la planta.

El objetivo es analizar cuidadosamente el resultado de eventos inesperados que podrían producir consecuencias adversas, dividiendo por las áreas los sistemas de estudio y examinado sus posibles desviaciones, incluyendo las variaciones en el diseño, construcción, modificación y operación del sistema.

El resultado es una tabla que contiene las posibles y creíbles desviaciones encontradas al resolver la pregunta ¿Qué pasa si?, así como sus consecuencias o peligros, medidas de seguridad y recomendaciones. Si se aplica por primera vez, el equipo de trabajo deberá considerar tiempo adicional para formular las preguntas y acumular información relevante.

¿Qué pasa si? / Lista de Verificación. (What If Analysis / Checklist Analysis)

Esta metodología combina la creatividad del ¿Qué pasa si? , con el orden y estructura de la lista de verificación. Se emplea para examinar los efectos potenciales y significativos de accidentes de una manera general comparada con otras técnicas.

Esta combinación conduce a un estudio más completo, debido a que la lista de verificación permite a los analistas cubrir puntos que quizás hayan sido olvidados en las sesiones de lluvia de ideas del ¿Qué pasa si?.

Esta técnica de cómo resultado una lista de las áreas con problemas dentro del proceso estudiado y una tabla que contiene las posibles y creíbles desviaciones del sistema, así como sus consecuencias o peligros, medidas de seguridad y recomendaciones.

Análisis y Efectos del Modo de Falla (FMEA)

El objetivo de esta metodología es evaluar las formas en que los equipos pueden fallar (o ser operados inadecuadamente) y sus consecuencias para el proceso, identificando las fallas individuales que pueden contribuir o conducir a un accidente.

Cada falla individual es considerada de ocurrencia independiente, sin relación con otras fallas en el sistema, excepto por los efectos posteriores que pudiesen suceder.

El analista debe elaborar una lista de todos los modos de falla que cada componente (válvulas, bombas, líneas, etc.) de los equipos descritos pudiese presentar, y considerar todos los mal funcionamientos (ruptura, incrustaciones, taponamiento, etc.) que alteren la operación normal. Debe también describir los efectos inmediatos de la falla en el lugar que suceda y los efectos predecibles sobre otro equipo y el mismo sistema o proceso.

El resultado es una tabla donde se listan los componentes y su número de identificación, su o sus posibles modos de falla, el o los efectos de la falla, los mecanismos de protección y las acciones recomendadas.

Análisis de Fiabilidad Humana (Human Reliability Analysis).

El objetivo de ésta técnica es estudiar los factores que dan forma al comportamiento humano, tales como: estrés, condición emocional, capacitación, experiencia, jornada de trabajo, ambiente de trabajo, procedimientos y materiales, entre otros.

La idea de este estudio es encontrar las fallas en la interface hombre-máquina, para poder analizarlas con referencia a las necesidades, habilidades y limitaciones de las personas, y reducir la probabilidad de ocurrencia de los errores humanos.

Árbol de Fallas (Fault tree Analysis)

Es un modelo gráfico cuyo objetivo es describir la secuencia de una falla específica, llamada "evento tope" (TE - Top Event), con la cual se comienza el estudio.

Ésta se compone por la combinación de fallas y errores que pueden ser eventos intermedios o secundarios y eventos primarios.

Falla se define como la disfunción de un componente que necesita ser reparado para poder funcionar normal otra vez, error se define como el mal funcionamiento a causa de una falla, que deja de ser si ésta se corrige.

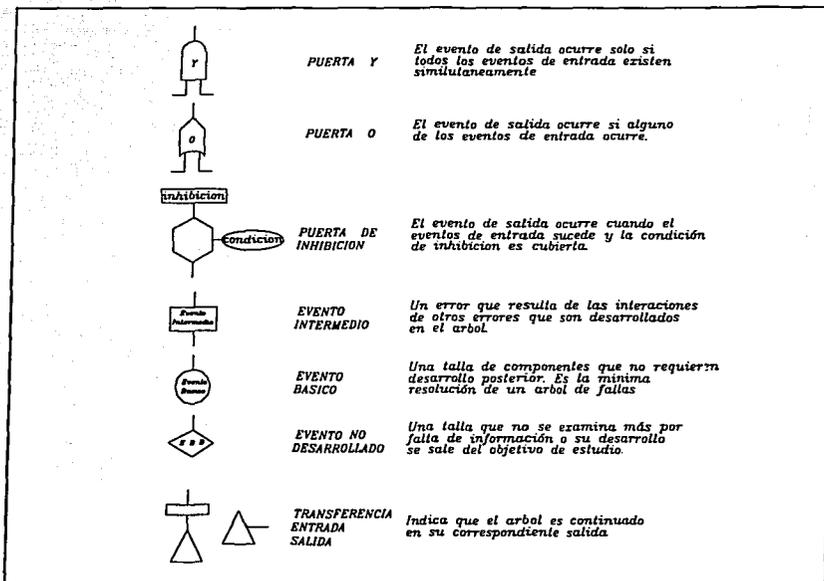
Existen fallas y errores: primarios, secundarios y de comando. Los primarios se deben al mal funcionamiento de componentes cuando se operan en condiciones de diseño, los secundarios se deben a operaciones fuera de las condiciones de diseño, y de comando, cuando la función del componente era no deseada.

Los eventos primarios son la base del árbol, y no necesitaban mayor desarrollo.

Los eventos secundarios son todas aquellas combinaciones de eventos intermedios entre el TE y los primarios. Todos los eventos son relacionados entre sí, a través de puertas lógicas. La Tabla 2.3 muestra la simbología y significado de las puertas lógicas empleadas en el estudio.

El criterio para evaluar la probabilidad de ocurrencia es el que se indica en la tabla siguiente en la cual, se describe la probabilidad de que ocurra un evento en forma numérica y su equivalencia en un lenguaje llano, a fin de favorecer la interpretación de los valores numéricos.

Tabla 2.3 Simbología y significado de puertas lógicas para el Árbol de Fallas [5]



TESIS CON FALLA DE CONTEN

Tabla 2.4 [3]

PROBABILIDAD	EQUIVALENCIA DE LA PROBABILIDAD
10^{-0}	Inminente (puede ocurrir en cualquier momento).
10^{-1}	Muy probable (ha ocurrido o puede ocurrir varias veces al año).
10^{-3}	Probable (ha ocurrido o puede ocurrir en un año)
10^{-5}	Poco probable (no se ha presentado en 5 años).
10^{-7}	Improbable (no se ha presentado en 10 años).
10^{-9}	No hay posibilidad de que ocurra el riesgo.

Árbol de Eventos (Event tree Analysis). [3]

Un árbol de eventos muestra gráficamente los posibles resultados de un accidente originado por un evento iniciante.

Este análisis considera las respuestas tanto del sistema de seguridad como de los operadores al evento iniciador: de esta manera es como determinan el resultado potencial de un accidente. Los resultados son consecuencias de accidentes, es decir, conjuntos de fallas o errores que pueden conducir a un accidente.

Este tipo de análisis es muy apropiado para estudiar procesos complejos que tienen varias capas de sistemas de seguridad o procedimientos de emergencia en el lugar para responder a eventos específicos iniciantes.

Los resultados en un análisis de árbol de eventos son; modelos de eventos específicos y los sucesos o fallas del sistema que conducen a cada resultado definido. La secuencia de accidentes descritas en cada árbol de eventos representan combinaciones lógicas del tipo “Y”, por lo que estas secuencias se pueden poner en forma de un árbol de fallas para un análisis cualitativo posterior. Los analistas usan los resultados para identificar debilidades en los procedimientos, normalmente proveen recomendaciones para reducir la probabilidad y/o consecuencias de los accidentes potenciales analizados.

El análisis permite el estudio de diferentes escenarios y el establecimiento de una estructura jerárquica, tomando en cuenta su severidad y probabilidad de ocurrencia, así como la selección de escenarios de emergencia para su evaluación cuantitativa y preparación de respuestas adecuadas.

Es un proceso inductivo de razonamiento, donde el analista comienza con un evento iniciador y desarrolla las posibles secuencias de eventos que conlleven a un accidente potencial, considerando el éxito o fracaso de los mecanismos de seguridad conforme avanza el accidente.

El estudio pretende dar una secuencia lógica y cronológica de éxitos o fracasos, que expliquen el origen de una situación dada. Cada rama del árbol que se genera equivale a una posible ruta de consecuencia partiendo del mismo evento iniciador.

Una vez armado el árbol, se puede calcular su conjunto mínimo de corte, que consiste en los acontecimientos mínimos necesarios para llegar a una consecuencia.

ANÁLISIS DE RIESGOS Y OPERABILIDAD (HazOp)

Es una herramienta sistemática usada por un equipo multidisciplinario para llevar a cabo un estudio de riesgos y operabilidad, la cual usa una serie de palabras guía, que se aplican a cada parámetro del proceso seleccionado, para identificar, mediante la discusión propósitiva y la generación de ideas: Desviaciones de la intención de diseño de un sistema y sus procedimientos, las causas y consecuencias que las provocan y los sistemas de protección ó mitigación de dichas causas y consecuencias; y que además, semicuantifica los riesgos, mediante la combinación de las frecuencias ó probabilidades y la gravedad, hace recomendaciones, las cuales clasifica y jerarquiza las acciones para implementar las medidas correctivas determinadas por el equipo multidisciplinario.

HazOp (Hazard and Operability Análisis) quiere decir Análisis de Riesgos y Operabilidad. La palabra Riesgo viene de la palabra en inglés Risk y la palabra Peligro viene de la palabra en inglés Hazard. Con base a la explicación anterior, HAZOP debería traducirse como Análisis de Peligro y Operabilidad, sin embargo nosotros usaremos la palabra riesgo en lugar de peligro como se ha venido haciendo. [6]

Un estudio de HAZOP tiene dos objetivos principales:

- 1.- Identificación de Riesgos.- Identifica las características de las plantas procesos sistemas, equipos o procedimientos que pueden representar accidentes potenciales.
- 2.- Identificación de Problemas de Operatividad.- Identifica los problemas potenciales de operatividad que pudiera dar por resultado fallas en la obtención de la productividad diseñada. Estos problemas pueden o no ser peligrosos.

La metodología básica empleada para conducir un estudio de HAZOP del proceso de una instalación se presenta, más adelante.

METODOLOGÍA DEL ANÁLISIS DE RIESGOS Y OPERABILIDAD (HAZARD AND OPERABILITY “HAZOP”) [6]

En esta Sección se discute la metodología básica empleada para conducir un estudio de **HAZOP** del proceso de una instalación.

Uno de los primeros pasos para aplicar la metodología de **HAZOP** es definir los puntos importantes ó críticos, es decir el estudio se centra en puntos específicos del proceso u operación. llamados “**nodos de estudio**”.

Un nodo de estudio puede ser un recipiente, bomba, compresor o un circuito en particular.

El siguiente paso en el estudio, una vez escogido el circuito, equipo o línea del sistema a estudiar, es explicar su función o intención de diseño así como las posibles “**desviaciones**”.

El tercer paso en el estudio es la aplicación de la primera “**palabra guía**” seguida de todas las **desviaciones o variables** del proceso aplicables hasta agotarlas, así como una combinación de “**palabras, claves**” y “**parámetros**”. Los parámetros incluyen condiciones del proceso operaciones unitarias y sustancias. Ejemplos de parámetros se enlistan a continuación. Tabla 2.5.

CONDICIONES DE OPERACIÓN	OPERACIONES	SUBSTANCIAS
Temperatura	Flujo	Aire
Presión	Transferencia	Agua
Nivel	Reacción	Vapor
Concentración	Remoción	Reactivos
Etc.	Etc.	Productos
		Condensado
		Etc.

Tabla 2.5 Lista de parámetros.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Las condiciones de operación y procesos unitarios, normalmente están combinados con una sustancia para producir el valor conceptual de los parámetros, por ejemplo: temperatura (del agua), presión (del propano), concentración (de reactivos), etc.

Adicionalmente, cuando se usa sustancias como parámetros, se debe especificar, en caso necesario, la fase en que se maneja, por ejemplo propano (líquido), propano (gaseoso), etc.

Existen 7 palabras clave o guía que se deben alternar y usar especialmente en forma tan frecuente como sea posible.

Tabla 2.6

PALABRAS GUÍA	SIGNIFICADO
No Menos Más Parte de Así como ó mayor que Inverso De otra forma	Negación o ausencia de las especificaciones de diseño Disminución cuantitativa Aumento cuantitativo Disminución cualitativa, sustitución parcial Aumento cualitativo, comportamiento análogo al de otra función. Oposición lógica de la función deseada Sustitución completa de la función deseada

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

Tabla 2.6 Palabras Guía

El cuarto paso del procedimiento de estudio de **HAZOP** es el determinar las “**causas**” de las desviaciones. ¿Cuáles podrían ser las causas de modificación de una variable?.

Especificar las razones para que las “**causas**” se puedan o no presentar normalmente no se establecen, pero pueden incluirse, dependiendo del nivel de detalle deseado para el estudio.

El quinto paso del estudio es determinar las “**consecuencias**” de las desviaciones. Estas consecuencias son el resultado de lo que se pudiera esperar si la desviación ocurre. Algunas de ellas pueden ser peligrosas y otras presentar dificultades para la operación. Algunas consecuencias pueden ser peligrosas, como por ejemplo, fallas de recipientes o que se dificulte la operación, como la llegada de líquido a un recipiente que opera sólo en fase gaseosa, o pueden ser triviales, como menor humedad en el gas natural.

El sexto paso es enlistar las **“respuestas”** ó **“salvuardas”** que se espera que ocurra si se presenta la desviación. La respuesta anticipada debería incluir cualquier alarma del proceso, sistemas automáticos de respuesta de los operadores.

Algunos ejemplos de respuesta anticipada son alarmas por alta presión, interlocks, sensores de alto nivel de líquido que paren automáticamente el bombeo y aisle el tanque, válvulas de exceso de flujo que limiten el relevo de fluidos a la atmósfera; válvulas de retención (check) que prevengan el flujo en sentido inverso; muestreo periódico de las distintas corrientes para detectar posibles cambios; alarmas de modificación de variables que alerten al operador para que tome las acciones correctivas adecuadas para corregir la anomalía; sistemas de detección de atmósferas inflamables, etc.

El séptimo paso es determinar la **“acción sugerida”** para ayudar a prevenir una causa particular o mitigar una consecuencia específica. Por ejemplo, instalar instrumentos controladores redundantes para reducir las causas de falla del instrumento controlado.

Las acciones sugeridas pueden ser simples o extensivas, dependiendo de la seriedad de las consecuencias y del nivel deseado de seguridad u operatividad.

Con objeto de determinar todas las principales desviaciones para el estudio específico de un nodo, se deben considerar muchas combinaciones de palabras clave y parámetros.

Esto se realiza generalmente seleccionando un parámetro (variable), aplicando la primera palabra guía para luego determinar las causas y consecuencias de la desviación. A continuación se selecciona otra palabra guía y se aplica al mismo parámetro (variable). Se vuelven a analizar las causas y consecuencias de la segunda desviación. El proceso se repite hasta que el primer parámetro (variable) ha sido combinado con todas las palabras guía que puedan producir las principales desviaciones.

Acto seguido se selecciona un nuevo parámetro o variable repitiendo la aplicación de las palabras guía apropiadas, determinando las causas y consecuencias de las desviaciones. Una vez concluido el estudio del nodo seleccionado se procede de igual manera con otro nodo hasta concluir todos los nodos de la instalación estudiada.

MATRIZ DE RIESGOS

El índice ó número de riesgo nos permite tomar decisiones sobre la aceptabilidad ó no del riesgo, ó bien asignar prioridades a las acciones recomendadas. El sistema para establecer las prioridades de las recomendaciones implementadas deberá usar una matriz de índice de riesgo que combine la probabilidad de ocurrencia de un accidente y la severidad ó gravedad de las consecuencias del mismo. Las recomendaciones se clasificaron de la siguiente manera:

Clase A: Las recomendaciones de la clase **A** tienen alta prioridad. Esto significa que es necesaria una acción inmediata para mitigar la ocurrencia del accidente ó su consecuencia. De acuerdo con la matriz de riesgos que aquí se presenta, estas recomendaciones deberán tener un número de riesgo **8 a 10**.

Clase B: Las recomendaciones de la clase **B** tienen prioridad media. Esto quiere decir que la administración debe evaluarlas mediante un análisis de costo-beneficio y el fundamento de la recomendación dada para reducir el riesgo, para que con base a esto se tome la decisión de "aceptar ó no el riesgo". De acuerdo con la matriz de riesgos que aquí se presenta, estas recomendaciones deberán tener un número de riesgo de **4 a 7**.

Clase C: Las recomendaciones de la clase **C** tienen baja prioridad. Esto significa que la acción correctiva que se tome mejorará aún más la seguridad pero que el proceso puede seguir operando con seguridad aunque la recomendación no se implemente.

De acuerdo con la matriz de riesgos que aquí se presenta, estas recomendaciones deberán tener un número de riesgo de 1 a 3.

Tabla 2.7 MATRIZ DE RIESGOS

		GRAVEDAD				
		1	2	3	4	5
F R E C U E N C I A	1	1	2	3	4	5
	2	2	4	6	7	8
	3	3	6	7	8	9
	4	4	7	8	9	10
	5	5	8	9	9	10

Aceptabilidad máxima: 3

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LAS METODOLOGÍAS. [5]

La evaluación de peligros es un proceso dinámico en el cual los resultados son directamente proporcionales a la metodología escogida, así como al tiempo necesario para llevar a cabo el estudio, la preparación del personal, el tipo de información empleada y el presupuesto destinado al análisis.

Las metodologías son empleadas, dependiendo de la etapa de desarrollo de la planta. El ¿Qué pasa sí? puede ser utilizado en cualquiera de las nueve etapas de desarrollo de la planta, siendo también, la lista de verificación así como la combinación de las metodologías más versátiles.

El análisis de operabilidad, los árboles de eventos y fallas, el análisis causa-consecuencia y el análisis de fiabilidad humana son aplicados a las fases de operación principalmente.

Todas las metodologías pueden emplearse en la fase de expansión o modificación, dependiendo de los resultados deseados.

Existen de manera comparativa ventajas y desventajas entre las metodologías de análisis de riesgos ya que cada una de ellas tiene puntos importantes a considerar en la selección de las mismas como: tiempos, tipos de resultados y fase de desarrollo en la que puede ser aplicada.

ETAPA DE DESARROLLO DE LA PLANTA	SAFETY ANALYSIS	CHECKLIST	RELATIVE RISKING	PHA	WHAT IF ANALYSIS	WHAT IF / CHECKLIST	HAZOP	FMEA	FTA	ETA	CCA	HRA
1.- Investigación y Desarrollo		●	●	●	●							
2.- Concepto del Diseño		●		●	●							
3.- Operación de Planta Piloto		●		●	●		●	●	●	●	●	●
4.- Ingeniería de Detalle		●		●	●		●	●	●	●	●	●
5.- Construcción y Arranque	●	●		●	●		●	●	●	●	●	●
6.- Operación de Ruina	●	●		●	●		●	●	●	●	●	●
7.- Modificaciones o Expansión	●	●	●	●	●		●	●	●	●	●	●
8.- Investigación de Incidentes	●	●		●	●		●	●	●	●	●	●
9.- Desmantelación	●	●		●	●		●	●	●	●	●	●

● Comúnmente usados

○ Poco usados o inapropiados

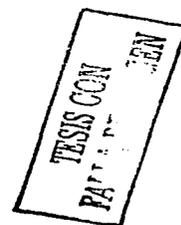


Tabla 2.8 Usos más comunes para las metodologías de evaluación de peligros.

CCPS "Guidelines for Hazrd Evaluation Procedurea, with Worked Examples" 2nd ed. AICHE 1992

GENERALIDADES DE LOS ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS. [4]

Los métodos cuantitativos y modelos matemáticos de simulación, ayudan a los analistas y a la gerencia de la instalación industrial a determinar la importancia relativa de cada uno de los eventos no deseados identificados y esto permite la toma de decisiones sobre la inversión de recursos de forma más eficiente para la reducción de riesgos.

Algunos ejemplos del uso de los análisis de consecuencias se mencionan a continuación:

- Determinación de la localización óptima de una instalación industrial o aceptabilidad del sitio;
- Determinación de los parámetros de diseño de los equipos;
- Toma de decisiones en la preparación del plan de respuesta a emergencias;
- Cumplimiento de estándares corporativos;
- Cumplimiento regulatorio.

Los accidentes en las plantas químicas o instalaciones industriales, presentan características similares como son: derrames o fugas de sustancias químicas tóxicas, inflamables o explosivas. Es importante conocer y estudiar estas características comunes para anticipar y evitar los accidentes que pueden ocurrir en Plantas Químicas.

(Tabla 2.8 Tres tipos de accidentes en Plantas Químicas).

Los accidentes comienzan con un incidente que frecuentemente resulta en la pérdida de contención de material de su proceso, ejemplos de situaciones que con llevan a la pérdida de contención son: la ruptura de una tubería, un orificio en un tanque o tubería, una reacción química fuera de control, fuego externo a los contenedores, etc.

Para la estimación de las consecuencias de este y otro tipo de accidentes, se han desarrollado modelos de estimación dependiendo de los resultados que se deseen obtener.

Tipo de Accidente	Probabilidad de Ocurrencia	Potencial para matar	Potencial para pérdidas económicas
Incendio	Alta	Baja	Media
Explosión	Media	Media	Alta
Nube Tóxica	Baja	Alta	Baja

Tabla 2.9 Tres tipos de accidentes en Plantas Químicas. [4]

MODELOS DE ESTIMACIÓN DE CONSECUENCIAS

Los modelos de estimación de consecuencias se clasifican de la siguiente forma:

1. Modelos de Fuente
2. Modelos de Dispersión
3. Modelos de Fuego y Explosión
4. Modelos de Efecto



MODELOS DE FUENTE

Los modelos de fuente se utilizan para determinar cuantitativamente las consecuencias de una emisión a través de la estimación del gasto de la emisión, la cantidad total emitida o duración de la emisión, el estado de agregación de la sustancia, la fracción de sustancia que se evapora o se “flashea” de un derrame y la formación de aerosoles dependiendo del escenario.

Los modelos de fuente son modelos matemáticos obtenidos de ecuaciones fundamentales o empíricas que representan los procesos físico-químicos que suceden durante la emisión de las sustancias químicas. [5]

La aplicación de los modelos de fuente son básicamente dos tipos de emisiones:

Las emisiones calculadas y controladas a través de la ingeniería de diseño (ej. Válvulas de seguridad) y las emisiones de emergencia o no planeadas (ruptura de tubería).

La tabla a continuación presentada muestra una lista de ejemplos de escenarios que pueden suceder agrupados por la fase del material que es emitido.

Tabla 2.10 Escenarios típicos de emisiones y su relación con la fase del material. [5]

Emisiones de Líquido:

- Orificios en un tanque atmosférico u otro contenedor o tubería no presurizado.
- Orificio en un contenedor o tubería que contiene un líquido presurizado por debajo de su temperatura normal de ebullición.

Emisiones de Gas:

- Orificio en un equipo (contenedor o tubería) conteniendo gas bajo presión.
- Válvula de descarga (de vapor solamente)
- Evaporación de un derrame.
- Válvula de descarga del domo de un tanque de almacenamiento presurizado.
- Generación de sustancias tóxicas producto de la combustión, resultado de un incendio.

Emisiones de dos fases:

- Orificio en un contenedor o tubería que contiene un líquido presurizado por arriba de su temperatura normal de ebullición.
- Válvula de descarga (debido a una reacción no controlada o espuma)

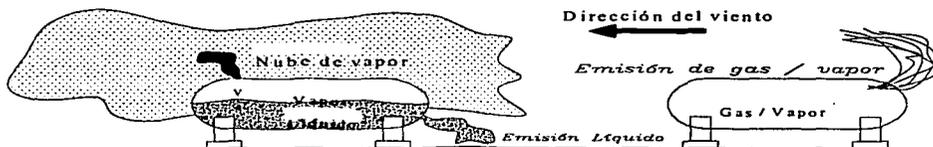


Figura 2.6 Ilustraciones de ejemplos de mecanismos de emisión.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

La información mínima necesaria para el empleo de éstos modelos se describe a continuación y es la siguiente:

- Estado de agregación de la sustancia emitida;
- Ruta termodinámica y su situación final;
- Tamaño del orificio;
- Duración de la emisión;
- Otros aspectos.

MODELOS DE DISPERSIÓN. [4]

Los modelos de dispersión, son los modelos matemáticos que describen el comportamiento de los materiales tóxicos transportados por el aire desde el lugar de la emisión o fuente (lugar del accidente) al interior de la instalación industrial y/o la comunidad vecina. Los resultados de los modelos de dispersión son: el área de afectación y la concentración de la sustancia en función del tiempo y/o la distancia.

El potencial de daño de la emisión frecuentemente se mide en función de la concentración y se obtienen isopletras (líneas o curvas de igual concentración) que se pueden graficar en diagramas o mapas de la zona del accidente. Dado que en algunas ocasiones la dirección del viento no es conocida, se estima un área circular de afectación, distancia máxima que puede alcanzar la nube a una concentración de interés, como puede ser el IDLH (Immediately Dangerous to Life and Health= Inmeditamente Peligroso para la Vida y la Salud). [4]

Todos los peligros que conllevan los accidentes con sustancias químicas no son solamente función de la concentración de la sustancia, pueden ser también función de situaciones como las siguientes.

- Tiempo de exposición;
- Respuesta biológica del individuo, animal o vegetal, tiempo de exposición y la dosis;
- Desplazamiento del oxígeno y el potencial de asfixia;
- Límites de inflamabilidad de las sustancias y las fuentes de ignición presentes;
- Limitaciones en la visibilidad por la formación de una nube;
- Temperaturas externas resultado de derrames de líquidos criogénicos o de reacciones químicas exotérmicas.
- Entrada de la sustancia química por los ductos de ventilación de los equipos de proceso o de las instalaciones.
- Las fuerzas de expansión de la fuga de sustancias que se “falshean” y/o se evaporan;
- Radiación térmica de sustancias que se inflamen.

Existen tres tipos de comportamientos de las nubes de gases o vapores tóxicos/ inflamables y tres tipos de forma de ser emitidos:

Tabla 2.11

Comportamiento de las nubes de vapor / gas frente al aire	Forma de emisión
<ul style="list-style-type: none"> • Gas con características de flotación Neutral 	Instantánea “puff” (nube de vapor/gas)
<ul style="list-style-type: none"> • Gas con características de flotación Positiva (más ligero que el aire) 	Continua (pluma)
<ul style="list-style-type: none"> • Gas con características de flotación Negativa o denso que el aire. 	Continua con variaciones con el tiempo

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

Las emisiones que son de forma continua como la proveniente de una chimenea de proceso o de una fuga por un pequeño orificio, forman una pluma de la(s) sustancia(s) emitidas de forma larga y delgada regularmente, cuyo comportamiento está en función de las condiciones atmosféricas y de las características del gas relativas a su flotación con respecto al aire. Ver figura 2.7 [4]



Figura 2.7 Ejemplos de emisiones continuas y esquema del efecto en la concentración de la sustancia emitida dada la altura de la emisión.

Las emisiones que son de forma instantánea o de cierta cantidad de sustancia, tienen la forma de una sola nube de vapor/gas conocida como “puff”.

Los “puffs” como se muestra en la figura 2.8, se mueven también en función de las condiciones atmosféricas y viajan como un solo bloque hasta su completa dilución y dispersión.

Los “puffs” o nubes de vapor/gas pueden ser empleados para describir las plumas, ya que las plumas son una serie de “puffs” continuos.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

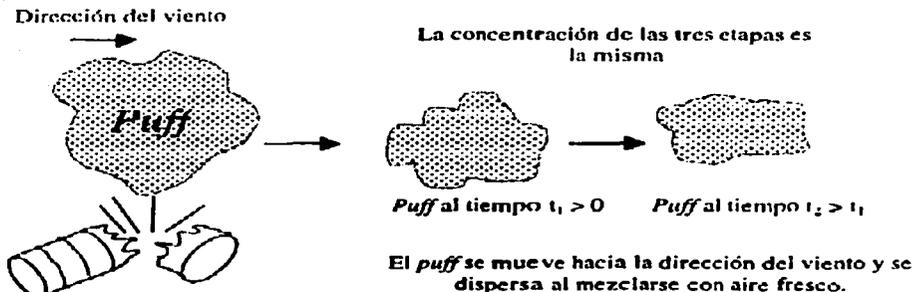


Figura 2.8 Formación de un "puff" o Nube de vapor/gas, debido a una emisión instantánea de sustancia. Adaptación de "Chemical Process Safety: Fundamentals with Applications" [4]

Las emisiones continuas con variaciones son aquellas que tiene un comportamiento intermitente y por lo regular se comportan como continuas.

Los modelos de simulación de dispersión de nubes tóxicas/inflamables necesitan como mínimo la información del gasto o la cantidad del material emitido y de las condiciones atmosféricas que afectan a la dispersión. Estas condiciones se describen más adelante y son las siguientes:

- Velocidad del viento;
- Estabilidad Atmosférica (si es de día o de noche, si está nublado, parcialmente nublado o claro);
- Condiciones de la superficie o terreno (plano, con estructuras, árboles, agua, etc.);
- Altura del punto de emisión;
- Momentum y comportamiento del material frente al aire.
-

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

MODELOS DE FUEGO Y EXPLOSIÓN [4]

Para explicar de forma general los modelos de fuego y explosión, primero es necesario conocer algunas definiciones relacionadas con este tema y que ayudarán a la mejor comprensión de esta explicación, mismas que se describen a continuación:

Fuego: El fuego o combustión es una reacción exotérmica de oxidación de un combustible, misma que desprende energía. El combustible puede ser líquido, sólido o gaseoso. La combustión siempre sucede en fase vapor. Para la combustión o el fuego, es necesario que se cuente con tres elementos básicos: el combustible, un agente oxidante (que contiene oxígeno) y una fuente de energía o de ignición.

Límite Inferior de Inflamabilidad (LII) / Límite Superior de Inflamabilidad (LSI): Es la concentración mínima y máxima de una mezcla de combustible-aire en porcentaje de volumen de aire que puede propagar una flama. La mezcla de vapor-aire, no arderá a una concentración por debajo del LII y por arriba del LSI.

El valor del límite inferior y superior de explosividad (LIE y LSE) suelen ser equivalentes a los LII y LSI.

Flash Point: El flash point de un líquido es la temperatura más baja a la cual se produce vapor suficiente para formar una mezcla de combustible-aire que puede arder. En este punto, el vapor arderá y cesará de arder rápidamente, ya que no se genera la suficiente cantidad de vapor para mantener la combustión.

Temperatura de Autoignición: Es la temperatura a la cual, el vapor se enciende espontáneamente con la energía del medio ambiente. Esta temperatura es función de la concentración de vapor, el volumen del vapor, la presión del sistema, la presencia de catalizadores de la reacción y condiciones de flujo.

Concentración Mínima de Oxígeno (CMO): Es la concentración de oxígeno por debajo de la cual la reacción no puede generar suficiente energía requerida para propagar la flama. La CMO es expresada en porcentaje de oxígeno en la mezcla aire-combustible.

Explosión: Una explosión es la rápida expansión de gases resultando liberación de energía a alta velocidad y movimiento del aire, generando una onda de choque.

Las explosiones se clasifican como detonaciones y deflagraciones. En una detonación el frente de llamas toma la forma de una onda de golpe a una velocidad mayor que la del sonido o supersónica que procede una ola de combustión y la cantidad de presión generada puede ser hasta 20 veces la presión original. En una deflagración, se genera combustión rápida a una velocidad menor que la del sonido o subsónica de presiones excesivas de 8 a 10 veces la presión inicial.

La diferencia más significativa entre los incendios/fuegos y las explosiones es la cantidad de energía liberada.

Los incendios/fuegos liberan energía lentamente, mientras que las explosiones liberan energía muy rápidamente, típicamente en el orden de microsegundos. Los incendios pueden resultar en explosiones y las explosiones pueden resultar en incendios.

TIPOS DE EXPLOSIONES. [4]

Las explosiones dependen de una serie de parámetros tales como: la temperatura ambiente, la presión atmosférica, la composición del material explosivo, las propiedades físicas del material explosivo, la naturaleza de la fuente de ignición (tipo, energía y duración), la geometría de los alrededores (espacios confinados o abiertos), la cantidad del material involucrado, el tiempo transcurrido antes de la ignición, el gasto de descarga, etcétera. Lo anterior hace que el comportamiento de las explosiones no sea fácil de explicar y así los modelos matemáticos tengan ciertas incertidumbres.

Las explosiones pueden ser deflagraciones o detonaciones, la diferencia depende de la velocidad de la onda de sobrepresión emitida por la explosión. La onda de sobrepresión se debe a la expansión de los gases por la reacción. Esta expansión puede ser causada por los efectos estequiométricos (cambio en el número total de moles) o los efectos térmicos de expansión.

Los efectos de las explosiones se pueden dividir en tres: ondas de sobrepresión, proyectiles o material que es proyectado y radiación térmica.

Los tipos de explosiones que se pueden presentar son las siguientes:

1. Explosiones de nubes de vapor;
2. Explosiones confinadas;
3. Explosiones por la expansión de líquido en ebullición (Boiling Liquid Expanding Vapor Explosions (BLEVE))
4. Explosiones Físicas

Explosiones de nubes de vapor (ENV) [4]

Las explosiones de nubes de vapor son las más dañinas y peligrosas dentro de la industria química. Para que ocurra una explosión de nube de vapor se necesita que cuatro características estén presentes:

1. Emisión /descarga /fuga repentina de material inflamable. Esto ocurre generalmente cuando se rompe un contenedor con un líquido supercalentado y presurizado.
2. La dispersión de la sustancia y la formación de una nube de vapor, en un lapso de tiempo. El tiempo más probable para que ocurra la explosión es de 1 a 5 minutos.
3. Una fuente de ignición presente;
4. Una parte suficientemente grande de la nube vapor tiene que estar dentro del rango de inflamabilidad.

Algunos de los parámetros que afectan el comportamiento de las explosiones de nubes de vapor son los siguientes: cantidad de material emitido, fracción del material vaporizado, probabilidad de ignición de la nube, distancia de dispersión antes de la ignición, eficiencia de la explosión, etc.

Estudios cualitativos demuestran que (a) la probabilidad de ignición de la nube es proporcional a su tamaño, (b) la eficiencia de la explosión es baja, aproximadamente el 2% de la energía de combustión es transformada en ondas de choque, (C) el mezclado turbulento de la mezcla de vapor y aire y la ignición de la nube en un punto alejado del punto de emisión, aumenta el impacto de la explosión y (d) los incendios de nubes de vapor son más comunes que las explosiones.

Explosiones confinadas [4]

Las explosiones confinadas ocurren en espacios confinados, tales como: contenedores o edificios. Los dos escenarios más comunes son las explosiones de vapores inflamables y polvos. Las ondas de sobrepresión y el lanzamiento de proyectiles son los peligros más sobresalientes de este tipo de explosiones.

Las explosiones de polvos se comportan de una manera muy especial. Este tipo de explosiones ocurren cuando partículas sólidas muy finamente divididas de material son dispersadas en el aire y encendidas.

Las explosiones de polvos más comunes son las de los silos de harina o semillas o en la industria minera. Una explosión inicial puede causar explosiones secundarias. En muchas ocasiones las explosiones secundarias son las más dañinas.

Para la mayoría de los polvos, el límite inferior de explosión está entre 20 y 60 g/m³ y el límite superior de explosión entre 2 y 6Kg/m³.

Explosiones por la expansión de líquido en ebullición (Boiling Liquid Expanding Vapor Explosions (BLEVE)) [10]

BLEVE es un fenómeno que ocurre cuando se fractura o rompe un recipiente conteniendo un líquido bajo presión y a una temperatura significativamente arriba de la temperatura normal de ebullición. Conforme esto pasa, el líquido se vaporiza casi instantáneamente y se expande varios miles de veces de su volumen original con una fuerza explosiva. Ver figura.

Si el BLEVE involucra un líquido inflamable o un gas inflamable licuado, la explosión (ENV) inicial estará generalmente por seguida por una ignición instantánea de los vapores emitidos, resultando en una bola de fuego masiva y aumento en la fuerza explosiva.

Existen dos mecanismos que pueden provocar un BLEVE de un contenedor presurizado. Estos mecanismos son la exposición directa del contenedor al fuego y la falla catastrófica del contenedor debido a daño o falla mecánica (ej. Corrosión, defectos de manufactura, etc.). en la práctica, el primer mecanismo es el más común.

La secuencia de eventos que ocurren durante la exposición directa de fuego a un contenedor es la siguiente:

- El fuego calienta las paredes del contenedor;
- Las paredes del contenedor por debajo del nivel de líquido son enfriadas por el mismo líquido, lo que provoca un aumento en la temperatura del líquido y un aumento en la presión del tanque.
- Si las flamas alcanzan las paredes del tanque donde solamente hay vapor y no hay líquido que remueva el calor generado, la temperatura del metal del tanque. Aumenta hasta que éste se debilita o pierde sus propiedades estructurales.
- El tanque se rompe y se evapora explosivamente su contenido. Las válvulas de seguridad no protegen de este tipo de fenómenos y si protege al recipiente, es solo parcialmente, ya que usualmente la fractura del contenedor sucede a una presión menor a la presión de calibración de la válvula de seguridad.

Explosiones físicas. [10]

Las explosiones físicas se relacionan con la ruptura catastrófica de un contenedor presurizado cuyo contenido es un gas. Cuando esta ruptura sucede, el resultado es la liberación de energía. La energía liberada puede producir una onda de choque y acelerar los fragmentos de contenedor resultantes de la ruptura.

Si el contenido del tanque es una sustancia inflamable, es posible que el gas sea encendido causando efectos adicionales.

La ruptura de un tanque, puede deberse a cualquiera de las siguientes causas:

1. Falla de la regulación de la presión y del equipo de alivio de sobrepresión;
2. Reducción del espesor de las paredes del tanque debido entre otras causas a: corrosión, erosión y ataque químico;
3. Reducción de la resistencia del contenedor;
4. Reacción interna no controlada; y
5. Cualquier otro proceso que resulte en la pérdida de contención del material.

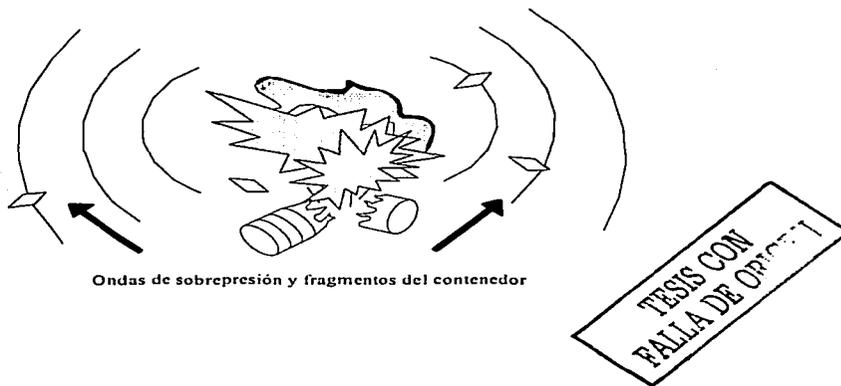


Figura 2.9 Ilustración de un BLEVE

Tipo de Fuegos / Incendios.

Como se puede ver en la definición de fuego, antes mencionada, este es una reacción química que necesita de tres componentes para llevarse a cabo:

Combustible, comburente u oxidante y una fuente de ignición o energía.

Los tipos de escenarios que se pueden presentar debido a una fuga o derrame de una sustancia química inflamable son los siguientes:

1. "Flash Fire" (Combustión rápida no explosiva de una nube de vapor)
2. Bola de fuego ("Fireball")
3. Incendios o Fuegos de charcos ("PoolFire")
4. Chorro de Fuego ("Jet Fire")

Flash Fire

El flash fire es la combustión no explosiva de una nube de vapor resultado de una fuga de una sustancia química inflamable en un espacio abierto. El mayor riesgo de este tipo de fuego es la radiación térmica y el contacto directo de la flama con los objetos y los seres vivos.

La combustión de la nube de vapor en un "flash fire" normalmente no dura más de unas décimas de segundo. Frecuentemente la zona de efecto del fuego se estima primero haciendo una modelación de dispersión y definiendo la zona de inflamabilidad tomando como base un medio del límite inferior de inflamabilidad.

Bola de Fuego ("Fireball")

Las bolas de fuego se producen cuando una sustancia inflamable es liberada de forma súbita de su contenedor y es encendida. El diámetro de la bola de fuego y la duración del fuego están en función de la cantidad de sustancia fugada. Ver figura 2.1.0

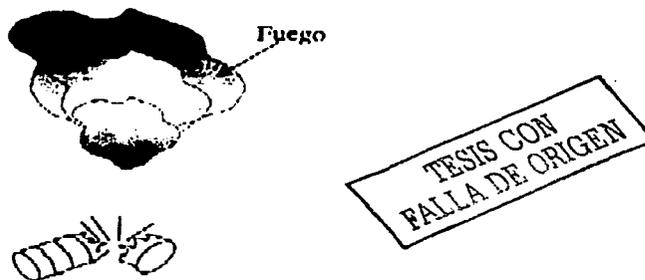


Figura 2.1.0 Ilustración de una bola de fuego

El mayor peligro de este tipo de fuego es la radiación térmica y dado que el tiempo en el que se produce está en el orden de segundos, el efecto por la radiación es muy significativo.

Incendios o Fuegos de charcos("Pool Fire")

Los incendios o fuegos de charco son aquellos que suceden cuando un equipo de proceso conteniendo una sustancia química inflamable pierde contención y ésta se derrama, se almacena en el suelo y se enciende. Si la sustancia es líquida y se encontraba almacenada a una temperatura menor a la de su temperatura normal de ebullición, el material formará un charco en el suelo. La geometría del charco es función de la forma y estructura de los alrededores del punto del derrame, como se explicó anteriormente.

Si se derrama una sustancia que se encuentra almacenada a una temperatura por arriba de su temperatura normal de ebullición, una fracción del líquido se evaporará y la fracción restante de líquido formará el charco en el suelo.

La forma en que se prende un charco de una sustancia química inflamable es a través de encender el vapor que se desprende del charco, causando inicialmente un "flash fire".

El peligro más significativo de este escenario es la radiación térmica debido a las flamas generadas por el fuego.

Algunas características necesarias para Evaluar la determinación de los efectos térmicos causados por este tipo de fuego son las siguientes: tipo de sustancia, forma del charco, duración del fuego, localización de los objetos/seres vivos receptores con respecto del fuego, comportamiento del receptor ante la radiación térmica, etc.,

Los modelos matemáticos para simular las características y efectos de los incendios o fuegos de charco están compuestos por varios sub-modelos.

A continuación se mencionan algunos de los sub-modelos antes descritos: a) tamaño del charco; b) forma de la flama; c) capacidad de transmisión térmica de la atmósfera, etc.

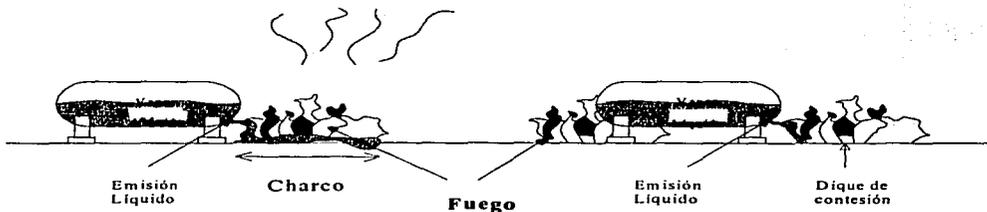


Figura 2.1.1 Ilustración de un "pool of fire" Incendio o fuego de charco, sin dique de contención y con dique de contención.

Chorro de Fuego ("Jet Fire")

El chorro de Fuego se da cuando una sustancia inflamable es liberada de un recipiente (contenedor / tubería) sujeto a presión en forma de "jet" y es encendida. El mayor peligro de este tipo de fuego es la radiación térmica y depende de la distancia que alcance el "jet" y el tiempo de exposición. Ver figura 2.1.2

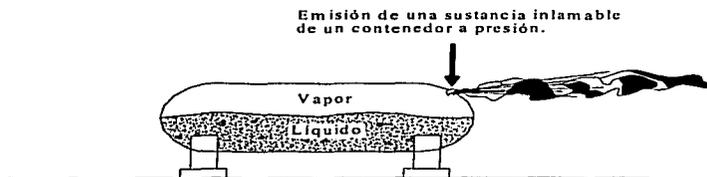


Figura 2.1.2 Ilustración de un chorro de fuego

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

MODELOS DE EFECTO [8]

Estos Modelos de Efecto se utilizan para estimar las consecuencias producto de los diferentes escenarios antes mencionados (emisiones puntuales o continuas, fuegos y explosiones), que se pueden presentar en un accidente que involucre una sustancia química peligrosa.

El tipo de consecuencias estudiadas depende del objetivo del analista o del gerente o responsable de una instalación industrial. Es decir, se pueden estimar las consecuencias a: 1) los seres humanos, 2) los bienes muebles e inmuebles, y 3) el medio ambiente.

Los efectos o consecuencias a los seres humanos normalmente son expresados en muertes o personas lesionadas por evento. Los daños a bienes inmuebles o muebles normalmente son expresados en pérdidas financieras o monetarias. Los efectos o daños al medio ambiente son mucho más complejos de evaluar, ya que se debe analizar el impacto a la flora, la fauna, el suelo (contaminación), agua (contaminación al agua superficial o subterránea).

A través de los años de estudio y de aprender de los diversos accidentes que han ocurrido, se han desarrollado modelos matemáticos y tablas de valores que relacionan los diversos grados de consecuencias producto de explosiones (sobrepresión o emisión de proyectiles) o de fuegos (radiación térmica, así como la relación dosis-efecto, producto de la exposición o ingestión de una sustancia química.

CAPITULO 3

TRABAJO DE CAMPO

LA PLANTA DE CRAQUEO CATALÍTICO FLUIDIZADO

Esta planta tiene una capacidad de diseño de 40.000 BPD de gasóleo virgen y su función consiste en obtener productos valiosos como gas y gasolina a partir de gasóleos pesados de vacío con poco valor comercial y producen: gas seco desulfurado para gas combustible, gas ácido para recuperación de azufre, gas licuado propano-propileno, gas licuado butano-butileno LPG., gasolina debutanizada, aceite cíclico ligero y aceite decantado.

Esta planta cuenta con un sistema Convertidor Catalítico-Fraccionadora, una sección de Recuperación de Vapores y una Sección de Tratamiento con Amina (DEA) para eliminar H₂S de la corriente gas seco y C₃-C₄. Por otra parte, se ha diseñado la unidad de Extracción Merox para eliminar mercaptanos de la corriente C₃-C₄ y la unidad de Endulzamiento Merox.

Cada planta se diseño para dos diferentes tipos de operación, usando un catalizador tipo mallas moleculares, estas operaciones básicas son las siguientes:

1. Producción máxima de gasolina a una conversión de 82.5% en volumen, con una recirculación del 5% Vol. Formado por lodos y aceite cíclico pesado.
2. Producción máxima de destilado medio a una conversión del 63% en Vol. Con una circulación del 30% Vol de aceite cíclico pesado y 5% Vol, de lodos.

La carga a esta planta la constituye el gasóleo pesado atmosférico, el gasóleo ligero de vacío y el gasóleo pesado de vacío de la Planta Combinada, así como, los gasóleos obtenidos en la Planta Reductora de Viscosidad. Los gasóleos de carga sufren un cracking o rompimiento de sus moléculas de alto peso molecular, formándose hidrocarburos más ligeros. Esto con la ayuda de un catalizador construido a base de sílica-alúmina. Este catalizador se regenera en la parte baja del reactor de desintegración mediante aire caliente que le elimina el carbón depositado para volverse a utilizar en forma de recirculación continua.

Los gasóleos de carga son inyectados en la base del elevador del catalizador regenerado, el cual como viene caliente vaporiza dicha carga, la calienta a la temperatura de reacción y suministra el calor necesario para el cracking. La temperatura de salida del elevador, es controlado por la cantidad de catalizador admitida por la válvula tapón (PV-2). Dicha temperatura es de

aproximadamente 527 °C para máxima producción de gasolina y de 477 °C para máxima producción de destilados intermedios.

Los productos de cracking, pasan a una Torre Fraccionadora donde se obtiene gas, gasolina de alto octano, aceite cíclico ligero y aceite decantado. El gas es enviado a un Compresor 2-J y posteriormente a fraccionamiento y endulzamiento para obtener los siguientes productos:

A) GAS COMBUSTIBLE:

Que es enviado a la red para este servicio.

B) PROPANO:

Que es enviado a esferas como gas de alta presión.

C) BUTANO-BUTILENO:

Que es enviado a esferas como gas de baja presión, o como traspaso a otras refineries para la obtención de alquilados.

D) PROPILENO:

Que es enviado como carga a la planta de acrílo-nitrilo.

E) GASOLINA DE ALTO OCTANO:

Que es enviada a tratamiento cáustico, el Tratamiento Merox para la eliminación de mercaptanos y posteriormente a tanques.

F) LPG:

Que es enviado a esferas como gas de baja presión, para su comercialización.

El aceite cíclico ligero, es enviado a tanques de diesel nacional o a tanques diluentes para combustóleo.

El aceite decantado es enviado, a tanques como producto final para carga a negro de humo o como combustóleo.

“SECCIÓN DE RECUPERACIÓN DE VAPORES”

Los vapores de hidrocarburos del acumulador 3-F son enviados al tanque 16-F en donde se separan los líquidos y los vapores de hidrocarburos a la primera etapa del compresor centrífugo 2-J de dos pasos movido por una turbina de vapor. Los dos pasos de compresión están provistos para alcanzar la presión de descarga requerida con un mínimo de potencia. Los vapores de la reductora de viscosidad llegan a la planta para reunirse con los vapores de entre pasos 27-C's. Los vapores se condensan en los 27-C's y se separan en el acumulador de entre pasos 15-F. Los hidrocarburos condensados del 15-F son bombeados por la bomba 14-J/JA para unirse con la descarga del segundo paso a control de nivel con el LIC-17. Los vapores del acumulador 15-F son enviados al tanque separador de líquidos 17-F en donde los vapores son enviados al segundo paso del compresor 2-J.

Los vapores del domo y la gasolina rica del absorbedor primario 3-E se unen a la descarga de los vapores del compresor a control de nivel con el LC-21 y fluyen a través del condensador de alta presión 9-C, hacia el separador de alta presión, esta condensación a alta presión constituye una etapa de equilibrio con el enfriamiento y aumenta la eficiencia de recuperación del sistema absorbedor-agotador.

La recirculación de gasolina debutanizada, la cual ha sido enfriada, sirve como gasolina de absorción y se inyecta al plato superior del absorbedor primario 3-E, controlándose el flujo con la válvula FV-70, el líquido del destilado del domo de la fraccionadora fluye como aceite de adsorción del tanque acumulador 3-F y es enviado por la bomba 4-J/JA al plato 4 del absorbedor primario a control de nivel por el LIC-9, esta Torre esta montada directamente encima de la agotadora con una tapa sólida que divide las dos secciones. Esta absorbedora recupera la mayor parte del propileno-propano y butano, de los vapores que salen del separador de alta presión.

El gas seco del absorbedor primario 3-E se alimenta al absorbedor secundario 4-E en el que se recupera cantidades adicionales de hidrocarburos ligeros, inclusive arrastres de gasolina de absorción primaria.

El gas seco del absorbedor 4-E secundario fluye al sistema de gas combustible después de haber sido eliminado el ácido sulfhídrico como se describe en la sección de tratamiento con amina (ucarsol).

Los hidrocarburos líquidos del separador de alta presión 4-F se bombean con la 13-J/JA al plato superior del agotador 3-E a control de nivel por el LIC-20. El producto se alimenta a la debutanizadora 5-E, los fondos de la debutanizadora 5E. Los fondos de la debutanizadora se enfrían por el intercambio de calor contra la carga en el 13-C, precalentando la carga a la depropanizadora en el cambiador 16-C y finalmente en el enfriador 17-C.

La recirculación de gasolina debutanizada, la cual sirve como gasolina esponja en el absorbedor primario 3-E se recircula a control de flujo por la válvula FV-70 con la bomba 26-J/JA que succiona gasolina antes del sistema de endulzamiento MEROX. La recirculación de gasolina se enfría con agua fría del sistema de refrigeración 28-C.

El producto de LPG del domo de la debutanizadora 5-E se envía a los condensadores 15-C's. Los condensados del tanque acumulador 5-F se bombean por la 15-JM/JAM a la sección de tratamiento con amina para eliminarle el ácido sulfhídrico y después pasan a la unidad de tratamiento por extracción "MEROX" para eliminar los mercaptanos. De la unidad MEROX, la corriente de LPG entra al tanque acumulador 13-F de carga de la depropanizadora 6-E y el flujo de entrada es controlado por la válvula PV-18.

La corriente de LPG que va al tanque de balance 13-F a la depropanizadora es enviada a la torre depropanizadora 6-E por medio de la bomba 16-J a control de nivel LIC-26, es precalentada por el cambiador 16-C. El producto neto del domo es totalmente condensado en los 19-C's se acumula en el tanque 6-F y se manda a la torre depropanizadora 16-E.

El producto del fondo, el cual es butano, es enfriado por el cambiador 20-C y es enviado a almacenamiento a control de nivel con el LIC-28.

PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS AMARGAS

Este sistema está diseñado para eliminar el 99% de H_2S y el 95% de NH_3 de la corriente de agua denominada "Aguas Amargas", proveniente plantas como FCC, U600 y otras más. La corriente se recibirá en el tanque de balance TH-1, él cual, es usado también para la separación de hidrocarburos y será alimentada al sistema por medio de la bomba BA-1. los vapores y gases separados en el tanque TH-1 serán enviados a la planta de azufre fuera del límite de batería. En este tanque se separan los hidrocarburos de la corriente por medio de mamparas.

La corriente descargada por la bomba BA-1 se pasa a un cambiador de calor CH-1 para precalentar la corriente de alimentación y enfriar la corriente de agua proveniente del rehervidor de la columna agotadora.

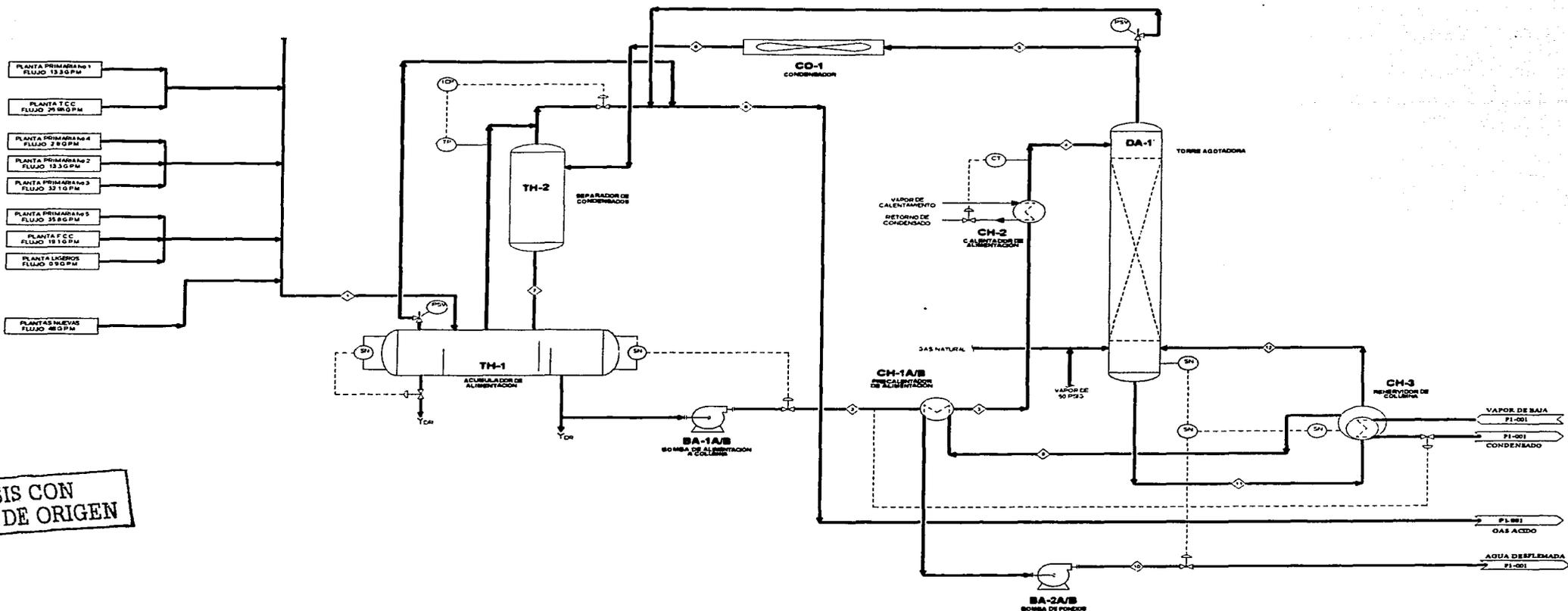
Después de que la corriente de alimentación es precalentada pasa a través del cambiador de calor CH-2 para elevar la temperatura a $110^{\circ}C$ y ser alimentada a la columna agotadora DA-1 en dónde se realiza la separación de H_2S , NH_3 .

La corriente del domo formada por H_2S , NH_3 y vapor de agua es pasada a través del condensador enfriador con aire CO-1. El condensado saliendo del cambiador de calor CO-1 es colectado en el tanque receptor TH-2, donde se desgasifica el agua venteándose el H_2S y NH_3 por la parte superior y enviándose a la planta de azufre fuera del límite de batería. El agua saturada es retornada por gravedad al tanque de balance TH-1.

El vapor de arrastre requerido en la columna agotadora será suministrado por un rehervidor con haz- de tubos rectos utilizando como fluido caliente vapor de agua de 50 psig, como recurso operativo se usará gas natural y vapor de 50 psig. La alimentación de vapor será controlada automáticamente en función de la alimentación de agua amarga a la columna y la temperatura de los gases en el tope de la misma.

El residuo de la columna agotadora es pasado a través del cambiador de calor CH-1 en donde se enfriará para ser bombeado al límite de batería por medio de la bomba BA-2.

Esta corriente contiene fenoles los cuales deberán ser tratados en otra planta para su eliminación.

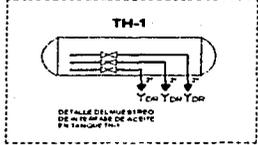
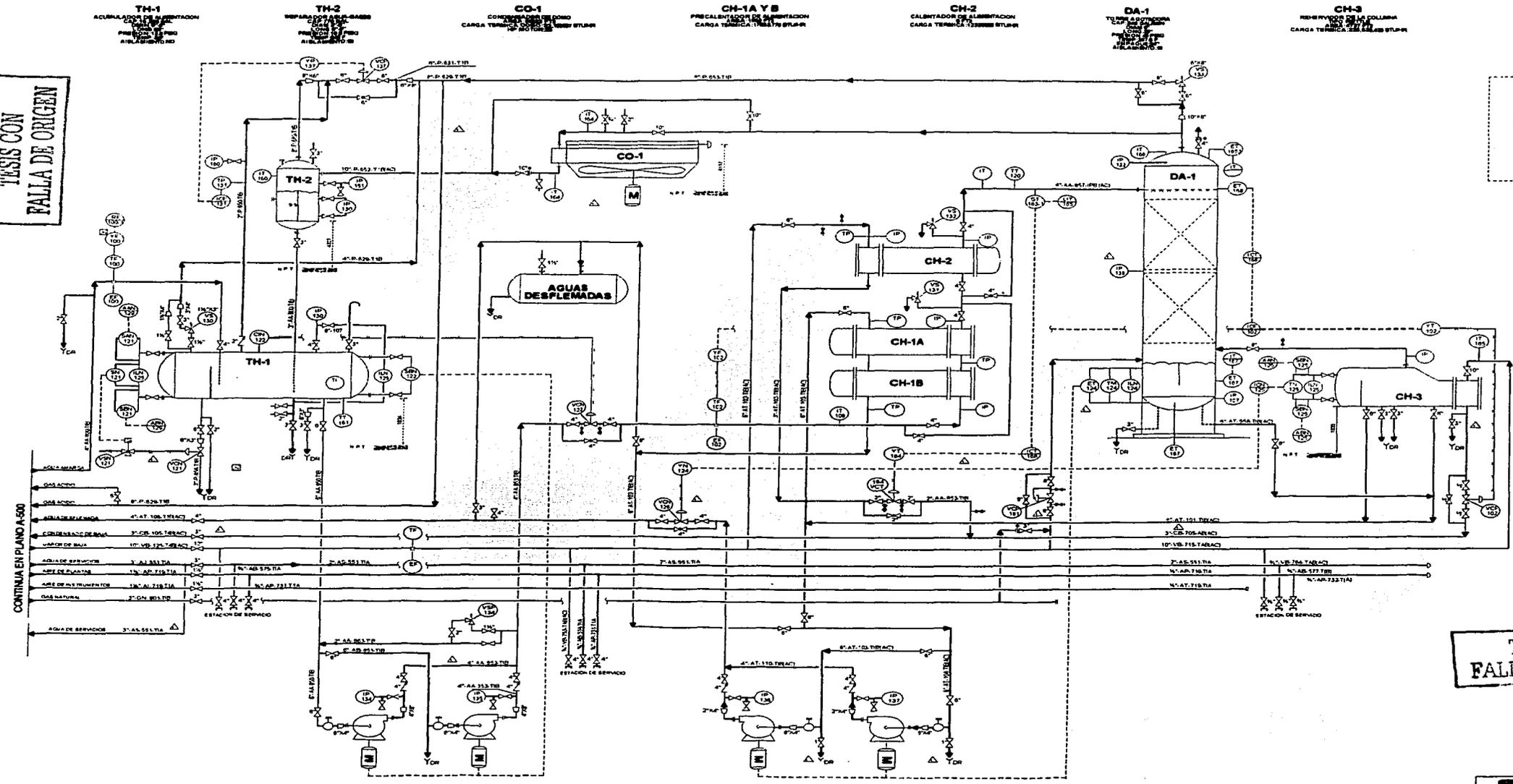


TESIS CON FALLA DE ORIGEN

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

CORRIENTE No.	1 (L)	2 (L)	3 (L)	4(L)	5 (G)	6 (L)	7 (L)	8 (G)	9 (L)	10 (L)	11 (L)	12 (G)
NH3 lb/hr	322	562.7	562.7	562.7	546.6	546.6	240.7	305.9	16.1	16.1	24.99	8.89
H2S lb/hr	434	561.3	561.3	561.3	557	557	127.3	429.66	4.34	4.34	6.02	1.68
FENOL lb/hr	6.58	8.22	8.22	8.22	1.64	1.64	1.64	-	6.58	6.58	8.22	1.64
HIDROC. lb/hr	35.42	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H2O lb/hr	140000	158876	158876	158876	20972	20972	18876	2095	137905	137905	165072	27120
TOTAL lb/hr	140798	160009	160009	160009	22077	22077	19246	2831	137932	137932	165111	27132
PRESION (Psia)	40	34	32	33	39.5	34.5	34.5	34.5	40	2647	40	40
TEMP. °F	68	87	173	230	264	245	245	245	267.3	150	267.3	267.3
DENSIDAD lb/ft3	62.26	62.00	60.68	59.30	0.0325	-	58.06	0.0879	58.35	61.16	58.33	0.035
ft3/hr a temp. °F	2266	2581	2637	2898	238.70	-	327	32207	2585	2255	2851	285600

TESIS CON FALLA DE ORIGEN



TESIS CON FALLA DE ORIGEN

ANÁLISIS HAZOP

Pasos que se siguieron para realizar el Estudio de Análisis de Riesgos en la Planta De Tratamiento De Aguas Amargas

METODOLOGÍA

- Revisión bibliográfica del área de estudio (proceso de la planta catalítica).
- Obtener conocimiento del proceso a analizar a través de la actualización y verificación en el campo de DFP's y DTI's.
- Selección y delimitación de nodos (en orden jerárquico) dentro del circuito que se ha seleccionado para el estudio HazOP con ayuda del equipo multidisciplinario.
- Aplicación de la técnica "HazOP" a cada nodo seleccionado.
 - a) Explicar las intenciones de diseño con el equipo "HazOP" .
 - b) Seleccionar los parámetros importantes del proceso y encontrar posibles desviaciones con la ayuda de las palabras guía.
 - c) Listar las consecuencias de las desviaciones sin protecciones.
 - d) Evaluar los niveles de riesgos en base a la frecuencia y gravedad con y sin protecciones para establecer el orden jerárquico de las recomendaciones.
 - e) Listar todas las protecciones existentes, tanto para la causa como para la consecuencia.
 - f) Elaborar una lista jerárquica con todas las recomendaciones para cada situación y consecuencia encontrada.

A continuación se muestran las hojas de registro obtenidas durante las sesiones HazOp.



PLANTA: AGUAS AMARGAS

Producto: H₂S y NH₃

Circuito: Carga

Nodo: ACUMULADOR DE ALIMENTACIÓN TH-1

Palabra guía	Variable	Causas	Consecuencias	Recomendaciones
Alto	Nivel	<ol style="list-style-type: none">1. Flujo mayor al de diseño de carga de la planta (por parte de las plantas aportadoras)2. Falla en posición de cerrado de la válvula VCN-122.3. Falla de las bombas BA-1A/B	<ol style="list-style-type: none">1. Presionamiento del tanque TH-1 con posibles fugas por bridas y conexiones.2. Relevo de la válvula VS-130.3. Envío de agua amarga al cabezal de gas ácido.	<ol style="list-style-type: none">1. Instalar indicación de nivel con señal a cuarto de control en el tanque TH-1.2. Verificar el buen funcionamiento de indicadores locales de nivel.3. Verificar que se cumpla con el programa de mantenimiento preventivo a bombas y válvulas de seguridad.

Alta	Presión	<ol style="list-style-type: none">1. Falla en posición de cerrado de la válvula VCP-137 o cerrado cualquiera de los bloqueos.2. Falla válvula de seguridad PSV-130 y en la PSV-133.3. Falla en posición de cerrado de la válvula Check.4. Carga con hidrocarburos.	<ol style="list-style-type: none">1. Presionamiento del tanque TH-2 y de la torre agotadora TH-2 agotadora DA-1.2. Posibles fugas por bridas y conexiones del tanque TH-1.3. Contaminación al medio ambiente por envío de gases al quemador.4. Posible intoxicación con gas ácido.	<ol style="list-style-type: none">1. Mantener la carga de las plantas aportadoras de agua amarga libre de hidrocarburos.2. Instalar indicador de presión con señal a cuarto de control en el tanque TH-1 con alarma por alta presión.3. Continuar con los recorridos operacionales y mantenimiento preventivo a válvulas de seguridad e instrumentos.
------	---------	---	---	---

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



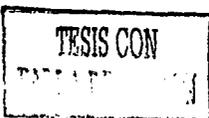
PLANTA: AGUAS AMARGAS

Producto: H₂S y NH₃

Circuito: Carga

Nodo: ACUMULADOR DE ALIMENTACIÓN TH-1

Palabra guía	Variable	Causas	Consecuencias	Recomendaciones
Alta	Temperatura	<ol style="list-style-type: none">1. Falla del soloaire CO-1A/B.2. Llegada de producto caliente.	<ol style="list-style-type: none">1. Presionamiento del tanque TH-1.2. Presionamiento y aumento de temperatura de la torre DA-1.3. Falla indicación local de temperatura.	<ol style="list-style-type: none">1. Cambio del equipo CO-1A/B.2. Instalar un transmisor de temperatura con señal al cuarto de control en TH-1. indicadores locales de nivel.
Alto	Flujo	<ol style="list-style-type: none">1. Falla en posición de abierto de la válvula VCN-122 o abierto su directo.2. Falla indicación de flujo de entrada de carga a DA-1.	<ol style="list-style-type: none">1. Bajo nivel en tanque TH-1.2. Inundación de la Torre DA-13. Disminución de carga en la alimentación de agotadora.4. Disparo del actuador por bajo nivel SBN-122.	<ol style="list-style-type: none">1. Continuar con los procedimientos establecidos, como el programa preventivo a instrumentos, a sí como adiestramiento y actualización al personal operativo.
Bajo	Flujo	<ol style="list-style-type: none">1. Falla de las bombas BA-1A/B.2. Calzada la PSV-134 o abierto el directo.3. Falla del lazo de control de la válvula VCN-122.	<ol style="list-style-type: none">1. Alto nivel en TH-1.2. Disminución de carga a la DA-1.3. Incremento de temperatura ratura en la DA-1.4. Incumplimiento con el programa de producción5. Paro de planta.	<ol style="list-style-type: none">1. Continuar con los procedimientos establecidos, como el programa preventivo a instrumentos, a sí como adiestramiento y actualización al personal operativo.2. Contar con refacciones como son los sellos mecánicos.3. Flejar la válvula del directo en posición de cerrado con la leyenda "Esta válvula debe permanecer cerrada". <p>Se deben de colocar leyendas de equipo en manto.</p>





PLANTA: AGUAS AMARGAS

Producto: H₂S y NH₃

Circuito: Carga

Nodo: TORRE DA-1

Palabra guía	Variable	Causas	Consecuencias	Recomendaciones
Bajo	Flujo	<ol style="list-style-type: none">1. Falla de las bombas BA-1A/B.2. Calzada la PSV-134 o abierto el directo.3. Falla del lazo de control de la válvula VCN-122.	<ol style="list-style-type: none">1. Alto nivel en TH-1.2. Disminución de carga a la DA-1.3. Incremento de temperatura en la DA-1.4. Paro de planta.5. Incumplimiento con el programa de producción.	<ol style="list-style-type: none">1. Continuar con los procedimientos establecidos, como el programa preventivo a instrumentos, a sí como adiestramiento y actualización al personal operativo.2. Contar con refacciones como son los sellos mecánicos.3. Programa de mantenimiento preventivo a instrumentos de control <p>Se debe dar prioridad al equipo de relevo en mantenimiento.</p>
Alto	Flujo	<ol style="list-style-type: none">1. Falla en posición de abierto de la válvula VCN-122 o abierto su directo.2. Falla indicación de flujo de entrada de carga a DA-1.	<ol style="list-style-type: none">1. Bajo nivel en tanque TH-1.2. Inundación de la Torre DA-13. Disparo del actuador por bajo nivel SBN-122.	<ol style="list-style-type: none">1. Continuar con los procedimientos establecidos, como el programa preventivo a instrumentos, a sí como adiestramiento y actualización al personal operativo.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



PLANTA: AGUAS AMARGAS

Producto: H2S y NH3

Circuito: Carga

Nodo: TORRE DA-1

Palabra guía	Variable	Causas	Consecuencias	Recomendaciones
Baja	Temperatura	<ol style="list-style-type: none">1. Falla en posición de cerrada de la válvula VCN-164.2. Abierto cualquiera de los intercambiadores directos de 4" en los CH-1A/B y CH-2.3. Obstrucción y ensuciamiento en tubos intercambiador CH-2.	<ol style="list-style-type: none">1. Arrastre de H2S y NH3 en el agua desflepada.2. Corrosión y daños a equipos en plantas primarias.3. Incremento de nivel de DA-1.	<ol style="list-style-type: none">1. Continuar con los procedimientos establecidos, como el programa preventivo a instrumentos, a sí como adiestramiento y actualización al personal operativo.2. Contar con refacciones como son los sellos mecánicos.3. Programa de mantenimiento preventivo válvulas automáticas. <p>Continuar con recorridos operacionales.</p>
Alto	Nivel	<ol style="list-style-type: none">1. Falla indicador de nivel local ILN-124 en DA-1.	<ol style="list-style-type: none">1. Inundación de la Torre DA-12. Obstrucción y ensuciamiento en tubos intercambiador CH-2.3. Corrosión y daños a equipos equipos en plantas primarias.	<ol style="list-style-type: none">1. Continuar con los procedimientos establecidos, como el programa preventivo a instrumentos, a sí como adiestramiento y actualización al personal operativo.
Alta	Presión	<ol style="list-style-type: none">1. Alto nivel de torre DA-1.	<ol style="list-style-type: none">1. Posibles fugas por bridas y conexiones.2. Corrosión y daños a equipos en plantas primarias.3. Falla indicador de presión locales en DA-1 y cambiadores.4. Paro de planta.	<ol style="list-style-type: none">1. Continuar con los procedimientos establecidos, como el programa preventivo a instrumentos, a sí como adiestramiento y actualización al personal operativo.2. Continuar con mantenimiento a cambiadores.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS.

Tanto incendios como explosiones son los tipos de accidentes más frecuentes en la industria química, seguido por las emisiones de sustancias tóxicas.

Es importante mencionar que los eventos aquí considerados tienen una probabilidad muy baja de ocurrir, debido a que la planta cuenta con programas de mantenimiento de recipientes, tanques, así como programas de calibración de líneas y el patrullaje continuo por parte del personal de operación.

En las plantas petroquímicas es común que un producto de las reacciones de endulzamiento de gas, gasolina, crudo, etc., sea agua que por su gran contenido de compuestos de azufre y otros contaminantes, debe tener un tratamiento para su regeneración y reaprovechamiento.

Una planta que tiene como desecho Agua Amarga es la Planta Catalítica, por lo que se cuenta con un tanque de balance siendo este el TH-1, para su posterior tratamiento. El agua amarga está constituida por NH_3 y H_2S , en su mayoría así como también hidrocarburos los cuales son separados en este tanque a través de mamparas, esto se encuentra disuelto en agua, como es muy poco probable que el tanque TH-1, al cual se puede considerar con un mantenimiento constante aprox. de una vez al año, tenga algún punto frágil y pueda iniciar una fuga; por esto el escenario que se considera es una fuga de H_2S en las conexiones o los elementos rotatorios como las bombas BA-1A/B, en este caso y no en el tanque TH-1.

En esta área se presenta la mayor concentración de H_2S , por lo que se puede convertir en un riesgo grave a la salud de las personas dentro y fuera del área.

Por tal motivo y considerando la toxicidad del ácido sulfhídrico (H_2S) se eligió el siguiente escenario para el Análisis de Consecuencias: **“Nube tóxica de ácido sulfhídrico (H_2S)”**

Este escenario no fue identificado durante el análisis HazOp, como de alto riesgo, pero sí fue considerado así, después de haber hecho una revisión de los registros de incidentes ocurridos en la planta.

El escenario antes mencionado fue seleccionado para mostrar la magnitud del daño que se produciría, de presentarse ya que, esté, depende generalmente de la duración de la fuga y su razón de flujo, misma que a su vez depende de la presión del tanque o equipo, tamaño del orificio, su forma y posición así también depende del material o químico que se maneja, a sí como también de las condiciones atmosféricas que existan en el lugar.

Para poder realizar este Análisis se utilizó el Modelo de Riesgos de Dispersión de Vapores Tóxicos.

METODOLOGÍA

El presente análisis se llevo a cabo alimentando datos reales de la unidad al programa “ALOHA” (Areal Locations and Hazardous Atmospheres) este programa fue desarrollado por la “Federal Emergency Management Agency”, con la colaboración de “Department of transportation” y “Instrumental Protection Agency” de los Estados Unidos de América.

Este programa da como resultado los efectos de un evento indeseable; para este escenario se aplicó:

- El Modelo de Riesgos de Dispersión de Vapores Tóxicos ó Modelo de Dispersión de nube tóxica en una fuente continua de emisión: Este modelo se aplica, ya que en la línea se tiene ácido sulfhídrico, el cuál es altamente tóxico, por lo que es muy conveniente saber los límites de seguridad para el escenario de fuga.

A continuación se describe el escenario "nube tóxica" y sus posibles causas, fundamentos y efectos.

Tabla 3.1 DATOS REQUERIDOS PARA EL ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS.

TIPO DE ESCENARIO	DATOS INICIALES	
	Parámetros de Operación	Propiedades Físicas de las Substancias Involucradas
<p>Fuga de ácido sulfhídrico H₂S, de los sellos de la bomba y formación de una nube tóxica.</p>	<p>BOMBA BA-1A/B CENTRIFUGA</p> <p>Operación T = 88 F P = 34 psi</p> <p>Diseño T = 100 F Q = 325 GPM Pot. Motor = 20 HP acero al carbón</p>	<p>Ácido Sulfhídrico (H₂S)</p> <p>PM = 34.08 Kg/Kmol L.S.E (%) = 4.6 L.I.E. (%) = 4.3 Cp (cal/g-°C) = 0.240 (25°C) Hc (Btu/lb) = 6,500 Pv (kg/cm² abs) = 18.5 atm. (20°C) = 4.41 psia T_{cb.} = - 60°C = 213.15 °K ρ_{rel} = 1.54 (Líquido) y ρ_{vapor} = 1.18 *LPE (mg/m³) = 10 IPVS (mg/m³) Nr (grado de inflamabilidad) = 4</p> <p>Nr (grado de reactividad) = 0</p> <p>Nh (grado de daño a la salud) = 10</p> <p>LMPE = 10 ppm. Limite Máximo Permissible de Exposición (concentraciones máximas para jornadas laborales de 8 horas).</p> <p>IPVS = 100 ppm Concentración Inmediatamente Peligrosa para la vida ó salud (representa el nivel máximo del cual se puede escapar en 30 minutos sin sufrir daños irreversibles.</p> <p>Arriba de 200 ppm se pierde el sentido de olor inmediatamente.</p>

Tabla 3.1 (CONTINUACION)

DATOS REQUERIDOS PARA EL ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS.

CONDICIONES ATMOSFÉRICAS DE LA ZONA	
TEMPERATURA	25°C
PRESION ATMOSFÉRICA	0.14 psi
VELOCIDAD DEL VIENTO	6 m/s N/E
CATEGORÍA DE LOS VIENTOS	D
HUMEDAD RELATIVA	6.5 %

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

**Tabla 3.2 ESCENARIO DE NUBE TOXICA
CAUSAS Y EFECTOS**

ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS					
TIPO DE ESCENARIO	CAUSA Y FUNDAMENTO	EFECTOS			MODELO DE EFECTOS USADO
		RT	OP	P	
Nube tóxica de ácido sulfhídrico, H ₂ S.	La causa principal es un alto nivel en el tanque TH-1 así como una mala calibración tanto en los indicadores locales como en la instrumentación, lo cual provoca una sobre presión en la línea así como daños en las conexiones y los elementos rotatorios como la bomba BA-1A/B, la cual de no ser detectada a tiempo o mitigada pudiera dar origen a una fuga de H ₂ S, con daños fuertes a la salud de los trabajadores y si fuera el caso a la población cercana.	Efectos tóxicos			1. Modelo de dispersión de una nube tóxica.

RT: Radiación Térmica

OP: Onda de Presión.

P: Proyectiles.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Tabla 3.3

EFECTOS DE LA NUBE TÓXICA DE ACIDO SULFÚRICO, H₂S
RESULTADOS

DISTANCIA (METROS)	CONCENTRACION (NIVEL PISO PPM)	CONCENTRACION (NIVEL FUENTE PPM)	AMPLITUD DE LA ZONA DE EVACUACION INICIAL (METROS)
30	28800	28300	45,25
50	14300	14000	83,30
100	5090	4950	100,30
150	2450	2410	151,40
200	1480	1460	200,45
300	704	701	315,60
400	415	414	410,60
450	333	333	450,80
550	230	230	500,100
650	168	168	650,80
700	146	146	700,80
750	128	128	750,90
800	114	114	800,100
850	102	102	850,100
900	91.2	91.2	900,150
1000	75	75	1000,150
1500	35	35	1500,150
2340	10.2	10.2	2340,200

Tabla 3.4 (CONTINUACION)
EFFECTOS DE LA NUBE TÓXICA DE ACIDO SULFÍDRICO, H₂S
RESULTADOS

DISTANCIA (METROS)	TIEMPO DE LLEGADA DEL CONTAMINANTE EN LA CONCENTRACIÓN DEL VIENTO (MINUTOS)	TIEMPO DE PARTIDA DEL CONTAMINANTE EN LA CONCENTRACIÓN DEL VIENTO (MINUTOS)
30	0.3	2.2
50	1.1	3.8
100	1.9	5.4
150	2.7	7
200	3.5	8.6
300	4.3	10.2
400	5	11.8
450	5.8	13.4
550	6.6	14.9
650	7.4	16.5
700	8.2	18.1
750	9	19.7
800	9.8	21.3
850	10.6	22.9
900	11.4	24.5
1000	13	28
1500	21	44
2340	35	72

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Tabla 3.5

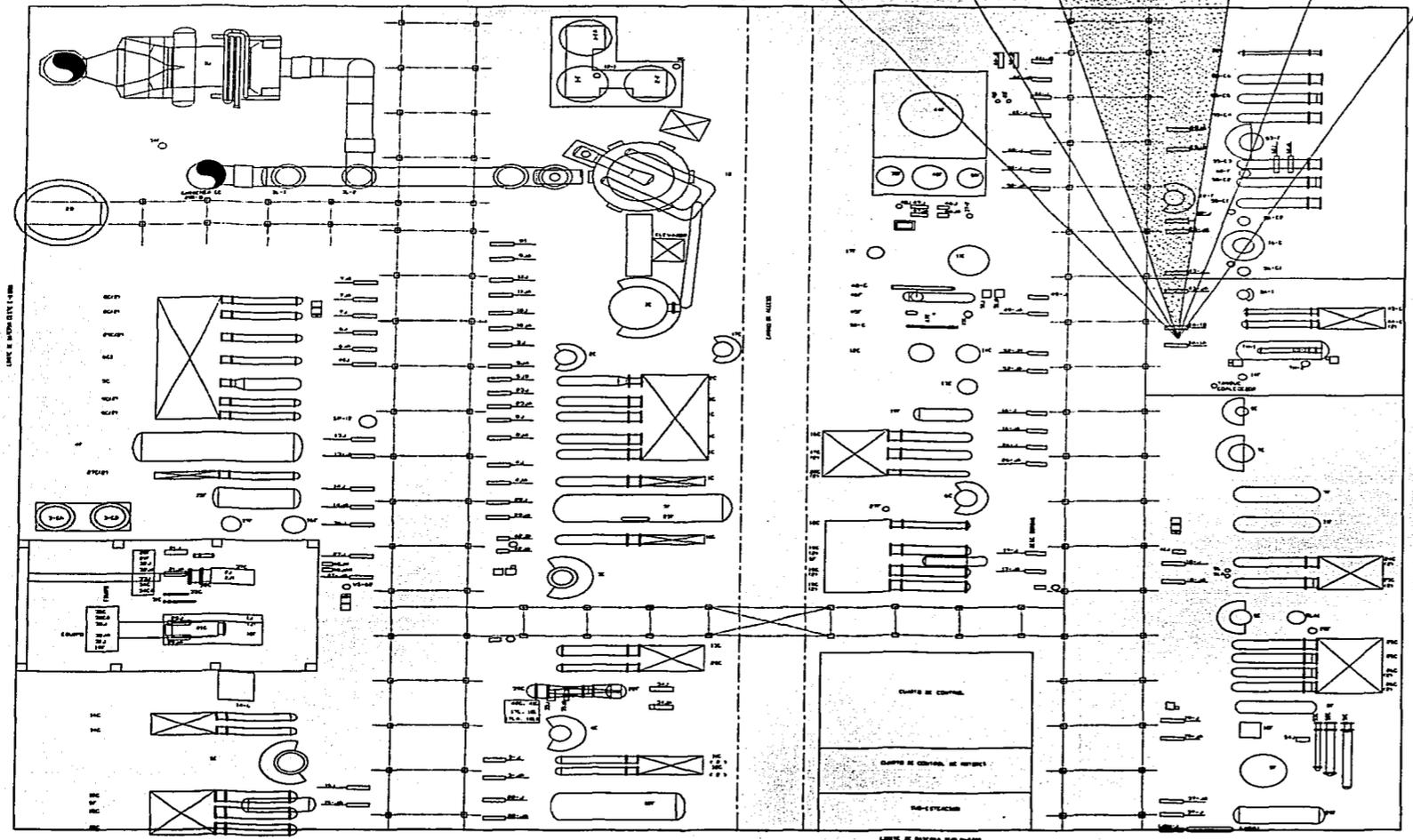
CONCENTRACIONES MÁXIMAS PERMISIBLES PARA LA NUBE TÓXICA DE ÁCIDO SULFÍDRICO, H₂S.

Concentración de descarga:	589 lb/min
Duración de la descarga:	15 min.
Cantidad descargada:	8835 lbs.
Estado:	Mezcla de gas / aerosol
Límite Permissible de Concentración (Concentraciones máximas para jornadas laborales de 8 horas (LPE))	10 ppm
Concentración peligrosa para la vida o salud representa el nivel máximo del cual se puede escapar en 30 minutos sin sufrir daños irreversibles. (IPVS) .	100 ppm
Distancia a la cual se tiene una Concentración de 10 ppm a nivel de suelo	2340mts.
Distancia a la cual se tiene una Concentración de 100 ppm a nivel de suelo	857mts.
Distancia a la cual se tiene una Concentración de 200 ppm a nivel de la fuente de emisión	525 mts.

Con estos resultados se realizó un diagrama que muestra el radio de afectación de ácido sulfhídrico (H₂S) , para la Planta y sus alrededores.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

TESIS CON FALLA DE ORIGEN



- ZONA 1** _____
 DISTANCIA = 525 M
 CONCENTRACION LETAL= 200 PPM.

- ZONA 2** _____
 DISTANCIA = 857 M
 CONCENTRACION QUE NO PROVOCA
 DAÑOS IRREVERSIBLES= 100 PPM.

- ZONA 3** _____
 DISTANCIA = 2340 M
 CONCENTRACION (LPE) PARA JORNADAS
 LABORALES DE 8 HRS= 10 PPM.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

ANÁLISIS DE ÁRBOL DE EVENTOS.(AAE) [3]

Un árbol de eventos muestra gráficamente los posibles resultados de un accidente originado por un evento iniciante.

Esté análisis considera las respuestas tanto del sistema de seguridad como de los operadores al evento iniciador, de esta manera es como determinan el resultado potencial de un accidente. Los resultados son consecuencias de accidentes, es decir, conjuntos de fallas o errores que pueden conducir a un accidente. Este tipo de análisis es muy apropiado para estudiar procesos complejos que tienen varias capas de sistemas de seguridad o procedimientos de emergencia en el lugar para responder a eventos específicos iniciantes.

Los resultados en un análisis de árbol de eventos son; modelos de eventos específicos y los sucesos o fallas del sistema que conducen a cada resultado definido. La secuencia de accidentes descritas en cada árbol de eventos representan combinaciones lógicas del tipo “Y”, por lo que estas secuencias se pueden poner en forma de un árbol de fallas para un análisis cualitativo posterior. los analistas usan los resultados para identificar debilidades en los procedimientos, normalmente proveen recomendaciones para reducir la probabilidad y/o consecuencias de los accidentes potenciales analizados.

El análisis permite el estudio de diferentes escenarios y el establecimiento de una estructura jerárquica, tomando en cuenta su severidad y probabilidad de ocurrencia, así como la selección de escenarios de emergencia para su evaluación cuantitativa y preparación de respuestas adecuadas.

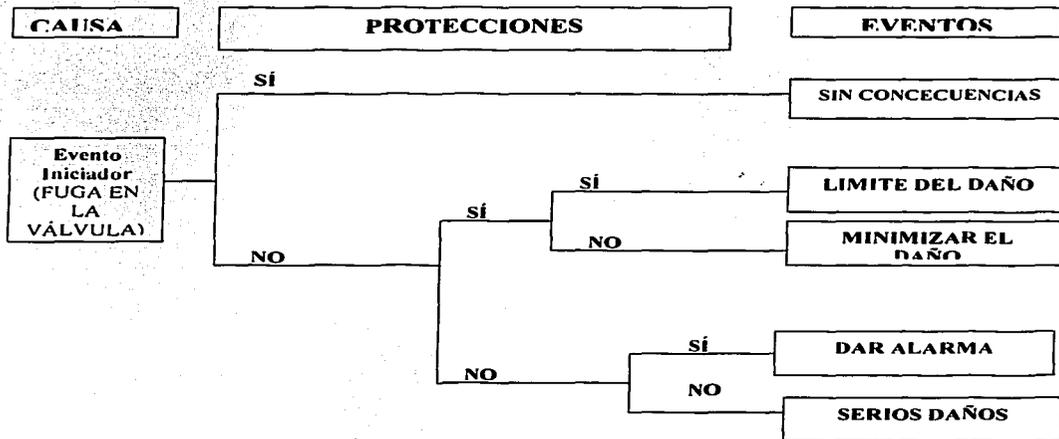
Es un proceso inductivo de razonamiento, donde el analista comienza con un evento iniciador y desarrolla las posibles secuencias de eventos que conlleven a un accidente potencial, considerando el éxito o fracaso de los mecanismos de seguridad conforme avanza el accidente.

El estudio pretende dar una secuencia lógica y cronológica de éxitos o fracasos, que expliquen el origen de una situación dada. Cada rama del árbol que se genera equivale a una posible ruta de consecuencia partiendo del mismo evento iniciador.

Una vez armado el árbol, se puede calcular su conjunto mínimo de corte, que consiste en los acontecimientos mínimos necesarios para llegar a una consecuencia.

METODOLOGÍA

El análisis de árbol de eventos se desarrolla de acuerdo con el siguiente esquema:



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

DEFINICIÓN DEL EVENTO INICIANTE

La técnica de Análisis de Árbol de Eventos se usó para la evaluación cuantitativa del siguiente escenario siendo este meramente hipotético ya que hasta el momento no se ha presentado, sin embargo es analizado por representar un riesgo importante, tanto a los trabajadores como a la demás población de este lugar.

Construir un árbol de sucesos o eventos para el caso de: "***Alto nivel en el Tanque de Balance TH-1***". El cual recibe alimentación de la corriente de Aguas Amargas, dicho tanque separa vapores y gases enviándolos a la planta de azufre.

Este suceso con lleva, a una posible fuga en las conexiones o bridas de la bomba BA-1A/B. De acuerdo con las características del suceso iniciador, la fuga, esta constituida en su mayoría por H₂S, él cual es altamente tóxico por lo que representa un riesgo importante para la salud de los trabajadores, dentro de la planta, estos efectos ocurren inmediatamente tras la fuga o después de un cierto tiempo desde el inicio del escape; estos daños a la salud pueden llegar a afectar a los alrededores de la fuga, no solo dentro de la planta sino a la población cercana.

Tabla 3.6

ESCENARIO DE ACCIDENTE	CAUSAS	CONSECUENCIAS
Alto nivel en el tanque acumulador TH-1.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Falla de los indicadores tanto locales como de cuarto de control. 2. Falla manto preventivo de instrumentos. 3. Falla en posición de cerrado de la válvula VCN-122. 4. Falla de la válvula de seguridad, VSN-130 en TH-1. 5. Falla mantenimiento preventivo a bombas. 6. Válvula de seguridad VSN-134 en la descarga de las bombas. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Retorno de aguas amargas a la línea de succión de la bomba 2. Sobre presión en la línea.. 3. Daños a la bomba, fugas por bridas y/o conexiones. 4. Contaminación del medio ambiente por los vapores acumulados. 5. Plan de emergencia por fuga de H2S y formación de una nube tóxica con posibles daños a la salud de los trabajadores, como también a los alrededores.

A continuación se muestra el resultado del Análisis de Árbol de Eventos para el escenario: Alto nivel en el tanque acumulador TH-1

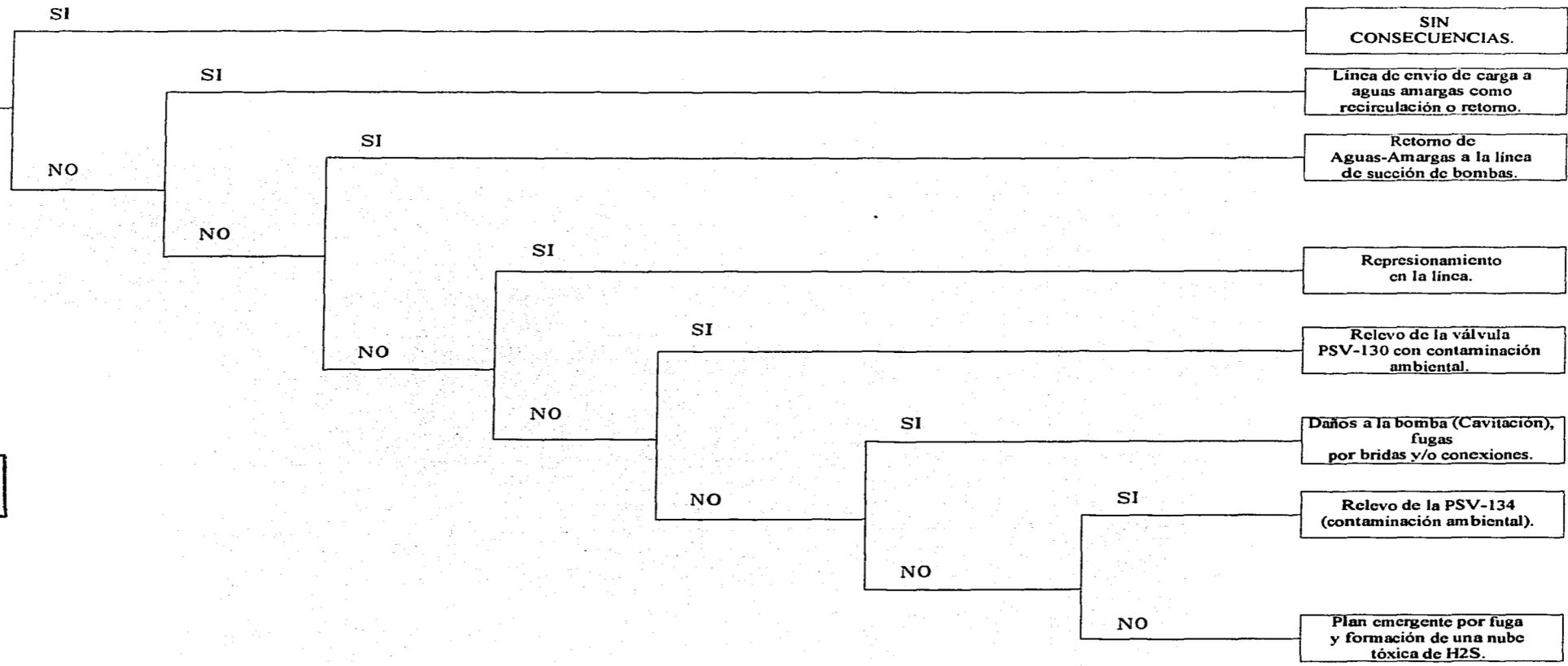
**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Indicadores locales de nivel ILN-125.	Control indicador de nivel CNI-122	Mantto. preventivo de instrumentos	Bloqueos y directo de la válvula VCN-122	Válvula de seguridad VSN-130 en TH-1.	Mantto. preventivo a bombas	Válvula de seguridad en la descarga de las bombas BA-1A/B
---------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	--	---------------------------------------	-----------------------------	---

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Alto nivel en el tanque acumulador TH-1

TESIS CON FALLA DE ORIGEN



CAPITULO 4

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DEL ANÁLISIS DE RIESGOS Y OPERABILIDAD (HazOp)

La Planta Catalítica FCC cuenta con un Sistema Integral de Administración de la Seguridad y Protección Ambiental; por lo que favorece a que existan las condiciones propicias para que, los riesgos industriales, a la salud y al ambiente sean mínimos en la planta.

El Análisis de Riesgos y Operabilidad que se presenta en esta tesis es sólo para la Sección de tratamiento de Aguas Amargas, por medio del cual se cuenta con una amplia visión de la situación actual de la planta, por lo cual se generó una lista de recomendaciones de acuerdo a la prioridad, esto después de ser jerarquizados con base en el índice de riesgos, es decir, frecuencia / gravedad. Identificando así las áreas que requieren un mayor énfasis en cuanto a mejoras y las áreas en las cuales deben de continuar las buenas practicas.

Estas recomendaciones fueron analizadas y seleccionadas y en su mayoría se encontraron del tipo D; lo que significa que el riesgo se podrá presentar solo una vez en la vida de la planta por lo que el proceso puede seguir operando con seguridad aunque las recomendaciones no se implementen.

Las recomendaciones tipo C, forman parte de la otra mayoría aunque las acciones correctivas que se tomen mejorarán aún más la seguridad, estas actividades tienen una prioridad media, por lo que la administración deberá evaluarlas mediante un análisis costo-beneficio.

Finalmente las recomendaciones tipo A, restantes tienen una alta prioridad, esto significa una acción inmediata del personal para mitigar la ocurrencia del accidente ó su consecuencia, al mejorar los planes de capacitación, los procedimientos de paro y arranque, revisión y actualización del programa de mantenimiento preventivo a instrumentos. Logrando así que los operadores entiendan y sean más concientes de los graves riesgos que se pueden producir de no tomarse las medidas adecuadas necesarias.

PLAN DE TRABAJO RESULTANTE DEL ANALISIS HAZOP

Del análisis HazOp realizado por especialistas del área, se obtuvo como resultado una serie de recomendaciones, las cuales se presentan a continuación, en orden jerárquico .

Tabla 4.1 LISTA DE RECOMENDACIONES.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

ACTIVIDAD
1. Instalar indicación de nivel con señal a cuarto de control en el tanque TH-1 Y DA-1.
2. Mantener a las plantas aportadoras de agua amarga libre de hidrocarburos.
3. Verificar que se cumpla con el programa de mantenimiento preventivo a bombas y válvulas de seguridad.
4. Instalar transmisor de temperatura con señal a cuarto de control en el tanque TH-1 Y Torre DA-1.
5. Verificar el buen funcionamiento de indicadores locales de nivel
6. Habilitar control de VCN-121.
7. Dar prioridad al equipo de relevo en mantenimiento por alta presión.
8. Continuar con mantenimiento a cambiadores.
9. Cambio del equipo CO-1A/B.
10. Habilitar indicadores de presión y temperatura en los cambiadores CH-1A/B y CH-2
11. Instalar indicación de presión con señal a cuarto de control en tanque TH-1 y Torre DA-1.
12. Continuar con los recorridos operacionales y mantenimiento preventivo a válvulas de seguridad e instrumentos.

Tabla 4.2

**LISTA DE BUENAS PRACTICAS DE OPERACIÓN QUE DEBEN SEGUIR
LLEVÁNDOSE A CABO.**

Actividad
1. Continuar con el programa de mantenimiento a instrumentos.
2. Seguir cumpliendo con los programas de adiestramiento, simulacros y procedimientos operacionales.
3. Continuar cumpliendo con el programa de rotación de bombas y de mantenimiento preventivo y predictivo a los equipos (electromecánico).
4. Adiestramiento y actualización al personal operativo.
5. Elaborar un procedimiento para atender fugas por H2S.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES PARA EL ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS .

Del Análisis de Consecuencias de Efectos de la Nube Tóxica de Ácido Sulfhídrico, H_2S , debida a una fuga por sellos y/o conexiones en la bomba BA-1A/B, se concluye que:

- a) A una distancia de 525 metros, la concentración de H_2S es de 200 ppm y es una concentración letal por lo cual debe ser considerada como la zona inicial de evacuación.
- b) A una distancia de 857 metros, la concentración de H_2S es de 100 ppm, esta no provoca daños irreversibles pero deben evitarse exposiciones laborales y considerarse segunda zona de evacuación.
- c) A una distancia de 2340 metros, la concentración de H_2S es de 10 ppm esta es la concentración laboral de 8 hrs. Es decir a partir de 2340 metros pueden ser consideradas zonas de seguridad.

Como se puede apreciar, la nube tóxica de H_2S conlleva a un riesgo importante de toxicidad y pueden provocar decesos en el personal que ahí labora de no atender a tiempo dicha fuga. En el diagrama de localización de la nube tóxica de H_2S , se aprecia que los efectos de la fuga no solo atañen al sistema de tratamiento de aguas amargas, ya que este radio de afectación abarca a otras áreas dentro de la planta a sí como a la población circundante.

De esta manera, para mitigar los efectos de la nube tóxica de H₂S es necesario implementar la siguiente serie de recomendaciones:

Tabla 4.3

RECOMENDACIONES PARA REDUCIR LOS EFECTOS POR FUGA DE H₂S.	
ESCENARIO	RECOMENDACIÓN
Fuga de ácido sulfhídrico H ₂ S, de los sellos de la bomba y formación de una nube tóxica.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Difundir los efectos y las causas de una nube tóxica de ácido sulfhídrico. 2. Adiestramiento y actualización al personal operativo. 3. Elaborar un plan de emergencia y rutas de evacuación, a sí como realizar simulacros en los que participe todo el personal que labora en la planta, para mitigar los efectos de una nube tóxica de H₂S.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES PARA EL ANÁLISIS DEL ÁRBOL DE EVENTOS

La realización de un Análisis de Árbol de Eventos, nos proporciona una forma secuencial y cronológica de posibles sucesos, que se desencadenan a partir del evento iniciador; “ **Alto nivel en el tanque acumulador TH-1**” con todas las posibles consecuencias, las cuales de no mitigarse a tiempo originarán un riesgo potencial, de lo cual se concluye que; mientras más sistemas de control se tengan en una planta más automatizada se vuelve, no así la capacitación de los operadores; ya que independientemente que una planta este automatizada, los operadores deben saber como manejar la planta con o sin instrumentos por si en alguna ocasión se presenta alguna emergencia, ya que ha sido demostrado que las fallas operacionales y humanas son la segunda causa de los accidentes ocurridos después de la falla de equipo.

Tabla 4.4

RECOMENDACIONES PARA REDUCIR EL EVENTO	
ESCENARIO	RECOMENDACIÓN
Alto nivel en el tanque acumulador TH-1.	<p>Elaborar un programa de mantenimiento minucioso y riguroso a la instrumentación.</p> <p>Verificar el cumplimiento correcto del programa de mantenimiento predictivo, preventivo y proactivo a válvulas de seguridad y bombas.</p> <p>Elaborar ó supervisar la aplicación de una lista de verificación (checklist) a servicios auxiliares (aire, vapor, corriente eléctrica).</p> <p>Involucrar a personal de operación en la entrega y recibo de equipo crítico.</p>

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

CONCLUSIONES FINALES

Los resultados del Análisis de Riesgos no pretenden de ninguna manera reducir los riesgos de la planta a cero, pues sabemos que esto es casi imposible, a menos que no exista, pero este análisis pretende iniciar un compromiso de los trabajadores de la planta, así como de sus directivos y generar una industria más responsable y consciente.

De ahí que, el Análisis de Riesgos que se llevó a cabo en esta planta representa una simple fracción del trabajo que se realiza para la creación de una nueva cultura organizacional y laboral, en la cual la producción es más eficiente, los costos son reducidos y lo más importante, existe una protección al ambiente y un aumento a la seguridad de los trabajadores de la planta, la comunidad y el ambiente. Por lo tanto, este tipo de análisis da pauta a que las industrias tomen por su propia cuenta la aplicación de las recomendaciones que el estudio propone, ya que por el sólo hecho de haber realizado este análisis, no se tiene la certeza de que el proceso esté liberado de sufrir cualquier contingencia, por el contrario, compromete a dar seguimiento al cumplimiento de cada una de las recomendaciones, de no hacerlo así, se estaría encubriendo un posible escenario de accidente .

Es por eso que el Ingeniero Químico debe de tener una visión más amplia para resolver este tipo de problemas en algún momento dado o bien saber como prevenir buscando siempre una mejor solución.

APÉNDICE A

HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD PARA EL SULFURO DE HIDROGENO

Nombre Comercial : Sulfuro de Hidrógeno	Nombre Químico : Sulfuro de Hidrógeno
Peso Molecular : 34.08 gm/mol	Formula Química : H ₂ S
Sinónimos : Monosulfuro de Dihidrógeno, Sulfuro de Dihidrógeno, Dihidruo de Azufre, Ácido Sulhídrico.	% y Nombre de las Componentes Hidrógeno = 5.90 % mol Azufre = 94.09 % mol
Límite Máximo Permissible de Concentración En el aire (IPVS ppm) : 450	Grado de Riesgo Salud NFPA : 3 nom 114 : 2 Inflamabilidad NFPA: 4 NOM 114:4 Reactividad : 0.0
Temperatura de Fusión °C : -85.49 °C	Temperatura de Ebullición °C : -60.33 °C
Presión de Vapor (mmHg a 20°C): 14060	Densidad Relativa : 1.54
Densidad de Vapor (Aire = 1) : 1.189	Solubilidad en el Agua g/ml : 1 g/1.87 ml H ₂ S a 10°C
Temperatura de Autoignición °C 260 °C	Estado Físico, Color y Olor : Gas incoloro con olor a huevo podrido.
Velocidad de Evaporación (Butil Acetato =1) : Gas a condiciones normales.	Por ciento de Volatilidad % : Gas a condiciones normales y temperatura ambiente.
Sustancia Estable : sí	Condiciones a evitar : Calentamiento de recipiente.
No de CAS : 7783-06-4	No. Naciones Unidas UN - 1053

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

APÉNDICE A (CONTINUACIÓN)

HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD PARA EL SULFURO DE HIDROGENO

Incompatibilidad (sustancias a evitar) : Oxidantes, Bases fuertes y Metales	Descomposición de componentes peligrosos : En óxidos de azufre	
Productos de la combustión: Vapores tóxicos de óxido de azufre	Condiciones a evitar : Fuentes de Ignición Luz directa del sol No exceder 52°C en el almacenamiento	
Riesgos para la salud		
Vías de entrada	Síntomas del lesionado	Primeros auxilios
Ingestión accidental	No es ingerible	-----
Contacto con los ojos	Causa irritación a la conjuntiva provocando fotofobia, querconjuntivitis y vesiculación del epitelio de cornea. Lagrimeo, dolor, vista nublada.	Lavar con agua tibia abriendo bien los párpados por lo menos 15 minutos.
Contacto con la piel	No hay información	Quitar la ropa contaminada. Lavar con agua y jabón.
Absorción	No hay información	Transportar a la víctima a un lugar ventilado y evaluar signos vitales, si es necesario aplicar RCP y si está conciente, mantenerlo tranquilo y sentado.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

APÉNDICE A (CONTINUACIÓN)

HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD PARA EL SULFURO DE HIDROGENO

Indicaciones en caso de fuga o derrame.

Mantener alejados del área cualquier fuente de ignición. Evitar que el material llegue a drenajes o fuentes de agua. Usar en forma de rocío para bajar los valores y almacenarla en lugares especiales pues esta disolución es tóxica y corrosiva.

De protección Personal.

1. Especificar tipo:

Utilizar equipo de respiración autónomo y traje de protección completo. Para trasvasar pequeñas cantidades de disolución utilizar bata, lentes de seguridad y guantes.

Prácticas de Higiene.

Aislar el área de peligro, mantenerse de frente al fuego a favor del viento mantener a las personas innecesarias alejadas, mantenerse alejado de las áreas bajas, considerar la evacuación a favor del viento.

Información de Transportación (de acuerdo con el reglamento de transporte)

<p>Terrestre Marcaje 153. Gas Tóxico e inflamable. Código Hazchem. 2 WE</p>	<p>Marítima Marcaje Gas Venenoso e Inflamable. Código IMDG : 2151 Clase 2 ; 2:3</p>	<p>Aérea Código ICAO/IATA:1053 Clase 2</p>
--	---	--

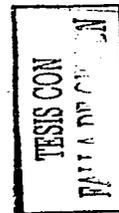
Información Ecológica (de acuerdo con el reglamento de ecología)

NOM - 052 – ECOL/1993

Precauciones Especiales.

1. De manejo y almacenamiento:

Los contenedores de este producto deben ser protegidos de electricidad estática, luz directa del sol, fuentes de ignición, de ácido nítrico concentrado, oxidantes fuertes, otros cilindros presurizados y líquidos y gases corrosivos. La temperatura de almacenamiento de los cilindros no debe exceder 52° C y el área debe estar bien ventilada.



ACRÓNIMOS

AAE	Análisis de Árbol de Eventos
AAF	Análisis de Árbol de Fallas
AMFE	Análisis del Modo de Falla y sus Efectos
ACQUIM	Sistema de Base de Datos para el manejo de información relacionada con Accidentes Químicos
ALARP	As Low as Reasonable Practicable
ALOHA	Aerial Locations of Hazardous Atmospheres
APELL	Awareness and Preparedness for Emergencias at Local Level
API	American Petroleum Institute.
ARCHIE	Automated Resource for Chemical Hazard Incident Evaluation
ASME	American Society Of Mechanical Engineers
BLEVE	Boiling Liquid Expanding Vapor Explosions
CCA	Consequence-Cause Analysis
CEE	Comunidad Económica Europea
CEI	Chemical Exposure Index
CFR	Code of Federal Regulations
CMO	Concentración Mínima de oxígeno
ENV	Explosiones de nubes de vapor
EPA	Environmental Protection Agency
ETA	Event Tree Análisis
F&EI	Fire and Explosion Index
FACTS	Failure and Accident Technical Information System

Acrónimos

FMEA	Failure mode and Efect Analysis
FTA	Fault Tree Analysis
GLP	Gas Licuado a Presión
HAZOP	Hazard Operability Análisis
HRA	Human Reability Analysis
IDLH	Immediately Dangerous to Life and Health
IPVS	Concentración Inmediatamente peligrosa para la Vida o Salud
LC ₅₀	Letal Concentration 50
LEGEPA	Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente
LIE	Límite Interior de Explosividad
LII	Límite Inferior de Inflamabilidad
LPE	Límite Permissible de Exposición. (Concentraciones Máximas para Laborales de Horas)
LPG	Liquid Petroleum Gas
LSE	Límite Superior de Explosividad
LSI	Límite Superior de Inflamabilidad
MHI	Material Hazard Index
NFPA	National Fire Protection Association
OSHA	Occupational Safety and Health Administration
PHA	Process Hazard Analysis
PPA	Programa para la Prevención de Accidentes
PROFEPA	Procuraduría Federal de Protección al Ambiente
PSM	Process Safety Management
RR	Relative Ranking

SCRI	Modelos Atmosfericos para Simulación de Contaminación y Riesgos en Industrias
SIII	Sustance Hazard Index
SPER	Sistema Preliminar de Estimación de Riesgos
TE	Top Event
TEMA	Tubular Exchange Manufacture Association
TPQ	Threshold Planning Quantity Index
UNEP	United Nations Enviromental Programme
UNIDO	United Nations Industrial Development Organization
USA	United States of America
WHO	World Health Organization
WOAD	Worldwide Offshore Accident Data Bank

BIBLIOGRAFÍA

1. Santamaría Ramiro, J.M. y Braña Aísa, P. A.
Análisis de Riesgos en la Industria Química.
Fundación MAPFRE. España. 1994. [págs. 2.3.4. 22, 24 28]
2. Asociación Mexicana de Higiene y Seguridad.
Principios Generales de la Ingeniería de Sseguridad. La Esencia de la Ingeniería es la Seguridad .
Arturo Butrón Silva.
México, Maya 1993. [págs 10,16]
3. Bufete de Profesionales en Seguridad Industrial, S.A de C.V
Taller de Análisis de Riesgoos.
Ing. Ramón Domínguez Betancourt. [págs. 10, 12, 26, 27, 30-34]
4. Piccinini, N.
"Análisis de Riesgos en Instalaciones Industriales".
U.V.C. Valparaíso, Agosto, 1999 [págs.4, 12]
5. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo
"Los Análisis de Peligros y de Operabilidad en Instalaciones de Proceso".
NTP -238 1989 [págs 14, 15]
6. H.H Fawcett and W.S. Wood
"Safety and Accident Prevention in Chemical Operations".
2nd ed. (N.Y.: John Willey and Sons, 1982), [págs.9, 11, 12, 18, 28, 30]
7. Daniel A. Crowl / Joseph F. Louvar
"Chemical Process Safety: Fundamentals with Applications".
Prentice Hall 1990. [págs. 32, 33, 35, 39, 40]
8. Jorge Letayf, Carlos González
"Seguridad, Higiene y Control Ambiental"
McGraw-Hill México 1994. [págs. 13, 16, 22, 44, 46]
9. Ian Barraclough and Annick Camino
"Safety Culture, Keys for Sustaining Progress"
IAEA BULLETIN, 40/2/1998.
10. **"Guidelines for Consequence Analysis of Chemical Releases"**
CCPS, AICHE, 1995 [págs. 19, 20, 29,40, 48]

11. **Perry's Chemical Engineers "Handbook"**
7^{ma} Edición. McGraw-Hill International Editions 1998. [págs. 94, 95, 96....]
 12. **"Undertanding Atmospheric Dispersion of Accidental Releases" CCPS, AICHE, 1995 [pág. 48]**
 13. **"Control de riesgos de accidentes mayores"**
Ed. ALFAOMEGA México 1985.
Oficina Internacional del Trabajo Ginebra [págs.2,3,4]
 14. **"Eliminating potencial process hazards"**
Trevor A. Kletz
Chemical Engineering
Pag. 48, April 1, 1985
 15. **"Seminario sobre Estudios HazOp: Introducción a los Estudios HazOp"**
Independent Engineering Services LTD (Agosto, 1998) [págs.30-34]
 16. Rao V. Kolluru, Steven M. Bartell, Robin M. Pitblado
"Manual de Evaluación y Administración de Riesgos"
Mc Graw Hill 1a edición 1998. [pág. 7]
 17. **"Vapor Cloud Explosion, Methods for the Calculation of the Physical Effects of the Escape of Dangerous Materials".**
Wiekeman, B. J. Directorate General of Labour. Voobury
Holanda 1979.
 18. **"ARCHIE User's Manual"**
Versión 1.0
Federal Emergency Management Agency and U:S Enviromental Protection Agency.
 19. **W. Bartknecht, Explosion (New York: Springer-Verlag, 1981 p 27**
págs. 41, 42, 45
 20. **Curso de Análisis de Riesgos y Operabilidad "HazOp"**
American Institute Chemical Engineer
Aiche. (1998) [págs 2, 22, 24]
 21. **"Refino de Petróleo, Tecnología y Economía"**
J.H.Gary, G. E. Handwerk.
Ed. Reverté.
-

22. UNAM-Facultad de Química.
Taller de Análisis de Riesgos y Operabilidad.
México. 1999. [págs 2, 3, 4, 5, 22]
23. E.B.Evans.
Moderna Tecnología del Petróleo.
Ed. Reverté.1963.
24. Publicación de la Dirección Corporativa de Sistemas de Seguridad Industrial.
PEMEX.
Manual del sistema Integral de la Administración de la Seguridad y la Protección Ambiental.
Octubre de 1998. [pág. 4]
25. Instituto Nacional de Ecología **“Promoción de la Prevención de Accidentes Química”**, [pág 5]
Octubre. 1999.

Páginas electrónicas consultadas:

[http:// www. Profepa.gob.mx](http://www.Profepa.gob.mx)
[http:// www.osha.gov.com](http://www.osha.gov.com)
[http:// www.oecd.org/](http://www.oecd.org/)
[http:// www. bhopal.com/index.html](http://www.bhopal.com/index.html)
<http://smn.can.gob.mx/SMN.html>