



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ZARAGOZA
CAMPUS II**

**ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS DE UN
GASODUCTO UTILIZANDO EL
SOFTWARE COMERCIAL PHAST**

T E S I S

PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

P R E S E N T A:

**CRUZ AGUILAR ROGELIO
HERNANDEZ MEDINA ARELI MONTSERRAT**



MÉXICO, D.F.

SEPTIEMBRE 2013



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES "ZARAGOZA"

DIRECCIÓN

JEFE DE LA UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN

ESCOLAR
PRESENTE.

Comunico a usted que al alumno(a) Cruz Aguilar Rogelio con número de cuenta 406012234 de la carrera Ingeniería Química, se le ha fijado el día 13 del mes de septiembre de 2013 a las 14:00 horas para presentar su examen profesional, que tendrá lugar en la sala de exámenes profesionales del Campus II de esta Facultad, con el siguiente jurado:

PRESIDENTE	I.Q. SALVADOR JACINTO GALLEGOS RAMALES
VOCAL	I.Q. RENÉ DE LA MORA MEDINA
SECRETARIO	M. en I. PABLO EDUARDO VALERO TEJEDA
SUPLENTE	DR. FRANCISCO VIDAL CABALLERO DOMÍNGUEZ
SUPLENTE	I.Q. JUAN ÁNGEL LUGO MALDONADO

[Firma]
[Firma]
[Firma]
[Firma]

El título de la tesis que se presenta es: Análisis de consecuencias de un gasoducto utilizando el software comercial PHAST.

Opción de Titulación: Tesis profesional

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
México, D. F. a 27 de Septiembre de 2013.

DR. VÍCTOR MANUEL MENDOZA NUÑEZ
DIRECTOR
ZARAGOZA
DIRECCIÓN

RECIBI
OFICINA DE EXÁMENES PROFESIONALES
Y DE GRADO

Vo Bo

DR. ROBERTO MENDOZA SERNA
JEFE DE LA CARRERA DE I Q



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES "ZARAGOZA"

DIRECCIÓN

JEFE DE LA UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN

ESCOLAR
PRESENTE.

Comunico a usted que al alumno(a) Hernandez Medina Areli Montserrat con número de cuenta 406034636 de la carrera Ingeniería Química, se le ha fijado el día 13 del mes de septiembre de 2013 a las 16:00 horas para presentar su examen profesional, que tendrá lugar en la sala de exámenes profesionales del Campus II de esta Facultad, con el siguiente jurado:

PRESIDENTE	I.Q. SALVADOR JACINTO GALLEGOS RAMALES
VOCAL	I.Q. RENÉ DE LA MORA MEDINA
SECRETARIO	M. en I. PABLO EDUARDO VALERO TEJEDA
SUPLENTE	DR. FRANCISCO VIDAL CABALLERO DOMÍNGUEZ
SUPLENTE	I.Q. JUAN ÁNGEL LUGO MALDONADO

El título de la tesis que se presenta es: **Análisis de consecuencias de un gasoducto utilizando el software comercial PHAST.**

Opción de Titulación: Tesis profesional

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
México, D.F. a 27 de agosto de 2013.

DR. VÍCTOR MANUEL MENDOZA NUÑEZ
DIRECTOR
ZARAGOZA
DIRECCION

RECIBI

OFICINA DE EXÁMENES PROFESIONALES
Y DE GRADO

Vo Bo

DR. ROBERTO MENDOZA SERNA
JEFE DE LA CARRERA DE IQ



AGRADECIMIENTOS

Damos gracias a Dios por tener la dicha de contar con la ayuda de nuestras familias quienes nos apoyaron, aconsejaron y comprendieron en el camino de nuestra formación. Hoy estamos concluyendo un ciclo importante en el que tenemos la fortuna de cosechar el fruto que se sembró.

Dios también nos ha bendecido con grandes amistades con las cuales hemos colaborado, compartido muchas experiencias y apoyado entre nosotros.

Es con mucha alegría y emoción que recordaremos nuestros tiempos universitarios y todas las experiencias compartidas cuando conocimos el verdadero estrés, cuando aprendimos a administrar nuestro tiempo, el dinero y sobre todo a buscar soluciones a los problemas académicos y personales de manera metódica y objetiva.

Nuestra formación nos ha dado la oportunidad para poder relacionarse con gente muy valiosa en el ámbito laboral, de quienes aprendemos día a día, gracias por darnos la oportunidad de crecer como profesionales siendo siempre nuestros ejemplos de vida.

Agradecemos la ayuda y cooperación que se nos brindó por parte de los Ingenieros del Instituto Mexicano del Petróleo (IMP), sin su ayuda y orientación no hubiera sido posible esta labor.

Así mismo agradecemos al honorable jurado que con paciencia y dedicación revisó y evaluó nuestro trabajo.

A todos y cada uno de ustedes gracias por formar parte de nuestra historia.



ÍNDICE

RESUMEN	10
INTRODUCCIÓN	12
OBJETIVO	15
1. GENERALIDADES	17
1.1 ANÁLISIS HISTÓRICO DE ACCIDENTES	17
1.2 MANEJO Y CARACTERÍSTICAS DEL GAS NATURAL	21
1.3 DEFINICIONES DE TIPOS DE GAS	25
1.4 PRINCIPALES PRODUCTOS DEL GAS NATURAL	27
1.5 USO DEL GAS NATURAL Y VENTAJAS	28
1.5.1 USO EN EL HOGAR	29
1.5.2 USOS EN EL COMERCIO Y LA INDUSTRIA	29
1.5.3 USO COMO COMBUSTIBLE VEHICULAR	29
1.5.4 VENTAJAS EN CUANTO A SU USO	30
1.6 PROCESO GENERAL DE GAS NATURAL	30
1.7 LA INDUSTRIA EN EL MUNDO	30
1.8 LA INDUSTRIA EN MÉXICO	33
1.8.1 INFRAESTRUCTURA	34
1.8.2 EXTRACCIÓN Y PRODUCCIÓN	36
2. MARCO TEÓRICO	39
2.1 RIESGO Y PELIGRO	39
2.2 ANÁLISIS “¿QUÉ PASA SI?” (WHAT IF?)	40
2.3 LISTA DE VERIFICACIÓN (CHECK - LIST)	41
2.4 ANÁLISIS DE PELIGRO Y OPERABILIDAD (HAZOP)	42
2.5 ANÁLISIS DE MODOS DE FALLAS Y EFECTOS (FMEA)	44
2.6 ANÁLISIS ÁRBOL DE FALLAS (FTA)	45
2.7 ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS	46
2.7.1 INCENDIOS Y EXPLOSIONES	47
2.7.2 EFECTOS DE INCENDIOS Y EXPLOSIONES	49
2.8 ÍNDICE DE RIESGOS	50
2.8.1 ÍNDICE DOW DE INCENDIO Y EXPLOSIÓN	51
2.8.2 ÍNDICE DE MOND	55
3. DESCRIPCIÓN DE MODELOS DE SIMULACIÓN	60



3.1	MODELOS DE FUENTE	60
3.1.1	LIBERACIONES DE TIPO CHORRO DE GAS	63
3.1.2	LIBERACIONES DE TIPO DE CHORRO DE LÍQUIDO	63
3.1.3	LIBERACIONES DE TIPO CHORRO DE DOS FASES	63
3.1.4	CHARCAS DE LÍQUIDO	64
3.2	MODELOS DE DISPERSIÓN	66
3.2.1	MODELOS DE PLUMAS DE GASES	67
3.2.2	MODELOS PARA DISPERSIÓN DE GAS DENSO	67
3.3	MODELOS PARA EXPLOSIÓN E INCENDIO	68
3.3.1	MODELOS BASADOS EN LA DETONACIÓN DE TNT	70
3.3.2	MODELOS NO BASADOS EN LA DETONACIÓN DE TNT	71
3.3.3	EXPLOSIÓN POR EXPANSIÓN DE VAPOR DE LÍQUIDO EN EBULLICIÓN (BLEVE) Y BOLA DE FUEGO	72
3.3.4	CHARCAS DE FUEGO	74
3.4	MODELOS DE EFECTOS	76
3.4.1	EFFECTOS DE MATERIAL TÓXICO	76
3.4.2	EFFECTOS TÉRMICOS	77
3.4.3	EFFECTOS DE EXPLOSIONES	77
3.5	ESCENARIOS	78
4.	DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS SISTEMAS DE MANEJO DE GAS NATURAL DE MÉXICO	81
4.1	IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS Y METODOLOGÍA PARA UN ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS	84
4.1.1	IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS EN SISTEMAS DE GAS NATURAL POR MEDIO DEL PROGRAMA DE EVALUACIÓN DE INTEGRIDAD (IAP)	86
4.1.2	METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS	91
4.2	DESCRIPCIÓN DEL CASO DE ESTUDIO (GASODUCTO DE 16" Ø NACO – HERMOSILLO)	93
4.2.1	UNIFILAR DEL SISTEMA DE TRANSPORTE DE GAS NATURAL NACO – HERMOSILLO.	93
4.2.2	SEGMENTACIÓN DEL DUCTO.	93
4.2.3	CONDICIONES ANALIZADAS EN EL SISTEMA, VALORES DE RIESGO (ALTO, PROMEDIO Y BAJO)	94
4.3	ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS	99
4.3.1	IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS DE RIESGO	99
4.3.2	PLANTEAMIENTO DE ESCENARIOS	101
4.3.3	SELECCIÓN DEL SITIO	102
4.3.4	INFORMACIÓN REQUERIDA PARA LA SIMULACIÓN EN PHAST	103
5.	SIMULACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	107
5.1	RESUMEN DE LOS RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN	107
5.2	ANÁLISIS DE RESULTADOS	110
5.3	DIAGRAMAS DE RADIOS DE AFECTACIÓN	112
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		119



ANEXO A. PLANOS

ANEXO B. CRITERIOS

ANEXO C. ABREVIATURAS Y DEFINICIONES

ANEXO D. HOJA DE SEGURIDAD

ANEXO E. VENTANAS PRINCIPALES DE PHAST

ÍNDICE DE TABLAS, FIGURAS, GRÁFICAS Y MAPAS

TABLAS

TABLA 1.1 A) ACCIDENTES TRASCENDENTES.....	18
TABLA 1.1 B) FALLAS MÁS COMUNES	19
TABLA 1.1 C) DATOS DE ACCIDENTES EN POLIDUCTOS (1994-2003)	19
TABLA 1.1 D) LISTA DE ACCIDENTES NACIONALES E INTERNACIONALES	20
TABLA 1.8.1 A) ZONAS GEOGRÁFICAS DE DISTRIBUCIÓN DE GAS NATURAL Y EMPRESA PERMISIONARIA.....	36
TABLA 2.3 A) LISTA DE VERIFICACIÓN (CHECK-LIST)	39
TABLA 2.4 A) PALABRAS GUÍA PARA HAZOP.....	45
TABLA 2.8.1 A) TABLA DEL ÍNDICE DOW DE INCENDIO Y EXPLOSIÓN.....	53
TABLA 2.8.2 A) CATEGORÍAS DE RIESGO EN FUNCIÓN DE LOS INTERVALOS MANEJADOS	57
TABLA 2.8.2 B) CATEGORÍAS DE RIESGO EN FUNCIÓN DE LOS INTERVALOS MANEJADOS.....	58
TABLA 3.2 A) TIPOS DE NUBES DEBIDAS A LIBERACIÓN DE MATERIALES A LA ATMÓSFERA.....	67
TABLA 3.5 A) PARÁMETROS DE REFERENCIA PARA LA DETERMINACIÓN DE ESCENARIOS EN EL ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS.....	80
TABLA 4.2.2 A) SEGMENTACIÓN DEL GASODUCTO DE 16 Ø NACO – HERMOSILLO.....	94
TABLA 4.2.3 A) VALORES DE RIESGO POR FACTOR Y FUENTE DE RIESGO PARA EL SEGMENTO 2	97
TABLA 4.2.3 B) VALORES DE RIESGO POR FACTOR Y FUENTE DE RIESGO PARA EL SEGMENTO 4.....	99
TABLA 4.3.1 A) DISTRIBUCIÓN DE LOS PUNTOS DE RIESGO IDENTIFICADOS	100
TABLA 4.3.1 B) DISTRIBUCIÓN DE LOS PUNTOS DE RIESGO	101
TABLA 4.3.1 C) CLASIFICACIÓN DE LOS PUNTOS DE RIESGO POR CORROSIÓN EXTERNA, TERCERAS PARTES, IMPACTO AL AMBIENTE E IMPACTO A LA POBLACIÓN.....	101
TABLA 4.3.1 D) PUNTOS DE MÁS ALTO RIESGO A SIMILAR	101
TABLA 4.3.3 A) EVENTOS Y ESCENARIOS PLANTEADOS PARA CORROSIÓN EXTERNA.....	103
TABLA 4.3.3 B) PUNTOS DE MÁS ALTO RIESGO A SIMILAR	104
TABLA 4.3.4 A) ZONAS DE SEGURIDAD AL ENTORNO DE LA INSTALACIÓN O PROYECTO	104
TABLA 4.3.4 B) DATOS PARA LA SIMULACIÓN DE CONSECUENCIAS CUITACA – SANTA ANA	105
TABLA 4.3.4 C) DATOS PARA LA SIMULACIÓN DE CONSECUENCIAS SEGMENTO LOS CHINOS – HERMOSILLO.....	105
TABLA 4.3.4 D) CONDICIONES CLIMATOLÓGICAS UTILIZADAS EN LA SIMULACIÓN.....	106
TABLA 5.1 A) RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS PARA EL ESTADO FINAL DE LA DESCARGA.....	108
TABLA 5.1.B) RESULTADOS DE DISPERSIÓN DE GAS (DISTANCIA – CONCENTRACIÓN)	108



TABLA 5.1 C) RESULTADOS DE DISPERSIÓN DE GAS (DISTANCIA –CONCENTRACIÓN)	109
TABLA 5.1 D) RESULTADOS DE DISTANCIAS MÁXIMAS PARA DISTINTOS NIVELES DE RADIACIÓN	109
TABLA 5.1 E) RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS DE EXPLOSIÓN	109
TABLA 5.1 F) MATRIZ DE RIESGO.....	110
TABLA 5.1 G) ZONA DE RIESGO Y ZONA DE AMORTIGUAMIENTO	111

FIGURAS

FIGURA 1.2 A) COMPOSICIÓN DEL GAS NATURAL	23
FIGURA 1.2 B) COMPONENTES DEL GAS NATURAL ANTES DE SER PROCESADO	23
FIGURA 1.2 C) ETAPAS DEL PROCESAMIENTO DE GAS NATURAL	24
FIGURA 1.2 D) GAS NATURAL	25
FIGURA 2.7.1 A) TRIANGULO DEL FUEGO	49
FIGURA 2.7.1 B) TETRAEDRO DEL FUEGO.....	50
FIGURA 2.8.1 A) PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO PARA EL MÉTODO DOW.....	54
FIGURA 2.8.2 A) ÍNDICE DOW	59
FIGURA 3.1 A) ESTIMACIÓN DE TASA DE EMISIÓN (AICHE, 1994).....	63
FIGURA 4.1 A) METODOLOGÍA PARA LA IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS	86
FIGURA 4.1.1 A) FASES DEL IAP.....	88
FIGURA 4.1.1 B) PROCESO DEL IAP	89
FIGURA 4.1.1 C) ALGORITMO DEL IAP	91
FIGURA 4.1.2 A) METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE RIESGOS DEL SISTEMA DE GAS NATURAL A PARTIR DE RESULTADOS DE IAP	93

MAPAS

MAPA 1.7 A) DISTRIBUCIÓN REGIONAL DE LAS RESERVAS PROBADAS DE GAS SECO 2006 BPC.....	32
MAPA 1.8.1 A) RED DE DUCTOS Y CENTROS PROCESADORES DE GAS	33
MAPA 1.8.1 B) PUNTOS DE INTERCONEXIÓN DE GAS NATURAL CON ESTADOS UNIDOS	35
MAPA 1.8.1 C) REGIONALIZACIÓN DEL MERCADO DE GAS NATURAL	37
MAPA 1.8.2 A) REGIÓN NORTE	37
MAPA 1.8.2 B) REGIÓN MARINA NORESTE	38
MAPA 1.8.2 C) REGIÓN MARINA SUROESTE	38
MAPA 1.8.2 D) REGIÓN SUR.....	38
MAPA 4. A) SISTEMA DE DUCTOS DE PGPB (SE CUENTA CON LA ZONA NORTE, LA ZONA CENTRO Y ZONA SUR)	83
MAPA 4. B) DUCTO DE GAS NATURAL DE 16" Ø QUE VA DESDE NACO HASTA HERMOSILLO (SONORA)	84

GRAFICAS

GRAFICA 1.7 A) PRODUCCIÓN MUNDIAL DE GAS SECO, 2006 MPCD.....	32
GRÁFICA 4.2.3 A) PERFIL DE RIESGO	95
GRÁFICA 4.2.3 B) PERFIL DE RIESGO PARA EL SEGMENTO 1	96
GRÁFICA 4.2.3 C) SE OBSERVA QUE EL SEGMENTO 2 CUITACA –SANTA ANA, TIENE UNA AFECTACIÓN DEL 2.23%, QUE REPRESENTA 2 KILÓMETROS DE LONGITUD	97
GRÁFICA 4.2.3 D) PERFIL DE RIESGO PARA EL SEGMENTO 3	98
GRÁFICA 4.2.3 E) PERFIL DE RIESGO PARA EL SEGMENTO 4.....	99



RESUMEN



RESUMEN

El análisis de consecuencias se enfoca principalmente a identificar los riesgos que pueden causar consecuencias graves de interés, aquellas que resultan de eventos del proceso (manejo de sustancias tóxicas o inflamables, incendios o explosiones, etc.) que pueden poner en un potencial peligro a las instalaciones y principalmente al personal de las mismas, así como a las poblaciones aledañas.

Para ello se recurrió a la simulación empleando modelos matemáticos que representan el fenómeno físico evaluado, cuyo objetivo es determinar la cantidad de material emitido a la atmosfera a causa de una fuga y/o ruptura en un equipo o línea de proceso, de igual manera evaluar la forma en que se dispersa la nube resultante, así como los efectos por explosión y fuego.

Los resultados de la modelación se obtuvieron utilizando el simulador comercial PHAST (Herramientas de Programación para Análisis de Riesgos de Procesos), como un producto de Det Norske Veritas (DNV). Para la evaluación de consecuencias fue necesario alimentarle condiciones meteorológicas de la zona (presión atmosférica, temperatura ambiente, humedad relativa, velocidad del viento).

El análisis incluyó la evaluación de operaciones rutinarias y no rutinarias por medio del IAP (Integrity Assessment Program) como operación normal, paro asegurado de unidad o estación, paro de emergencia, etc.; para identificar fallas potenciales del equipo, errores humanos y desviaciones de los distintos modos de operación del sistema de gas natural de PEMEX.

Ante la necesidad de incrementar la seguridad en el sistema de transporte y mantener al personal protegido de posibles daños, tener instalaciones seguras y proteger el medio ambiente, se emiten una serie de recomendaciones enfocadas al mantenimiento preventivo, aplicación al sistema de control, entrenamiento y capacitación de los operadores, sistemas de seguridad y protección ambiental.



INTRODUCCIÓN



INTRODUCCIÓN

Ante la necesidad de tomar acciones efectivas en una situación tan compleja como lo es la operación y mantenimiento de un gasoducto que maneja gas natural, se tiene claro que es importante identificar los elementos que representen un riesgo, ordenándolos de manera prioritaria, realizando además, un examen crítico y minucioso que aclare la problemática y proponer soluciones que los haga más manejables.

La estimación de magnitud de consecuencias tiene como finalidad determinar los posibles impactos de un incidente o un grupo de eventos.

Un accidente industrial generalmente implica la emisión o liberación del material de proceso al ambiente. Algunas de las causas principales que originan un accidente son:

- Errores humanos.
- Desviaciones a las condiciones normales del proceso.
- Corrosión y desgaste de las líneas y equipos de proceso.
- Impactos y/o golpes externos.
- Otros.

En caso de fuga, el material liberado puede generar una nube inflamable o explosiva. En el caso de que la nube haga contacto con una fuente de ignición, se puede presentar escenarios donde se ocasionen daños a equipos y estructuras del proceso, daños a la salud del personal o afectación a terceros, así como pérdidas económicas y afectación al medio ambiente. Es por ello que en el presente trabajo se muestra la importancia de evaluar un análisis de consecuencias de un gasoducto, usando el simulador PHAST (Process Hazard Analysis Software Tools).

El programa PHAST es un producto para la modelación de consecuencias en ambiente Windows diseñado por DNV Technica (Det Norske Veritas), para dar soporte en el Análisis de Riesgos de Procesos Químicos, el cual permite predecir las consecuencias de inflamabilidad y toxicidad de descargas atmosféricas de materiales peligrosos así como también puede sobreponer las consecuencias en mapas y otros tipos de gráficas.

La identificación e interpretación de los riesgos se hace a partir de resultados obtenidos de las corridas del IAP (Integrity Assessment Program) para ambos sistemas ya descritos, asimismo se realiza el correspondiente análisis de consecuencias de los eventos o escenarios accidentales.

El IAP es un software que evalúa los riesgos de fuga en ducto para transporte de gas y líquidos peligrosos a través de la aplicación de un algoritmo de riesgo relativo que evalúa las condiciones del ducto a través de más de 200 variables, aplicado a la base de datos del ducto, lo cual permite identificar las secciones de alto riesgo. El IAP calcula los valores de riesgo relativo del ducto de acuerdo a la presencia de indicadores.



El presente se compone de los siguientes capítulos: en el capítulo I se describen las generalidades. El capítulo II muestra el manejo del gas natural, de igual forma en el capítulo III se hace la descripción de los modelos de simulación. En el capítulo IV se explica más detalladamente la metodología que se empleó para el análisis de consecuencias del sistema de manejo de gas natural y en el capítulo V se observan los resultados obtenidos del sistema de Gas Natural 48"-42" Cactus – Los Ramones, e interpretación de puntos de riesgo obtenidos por el programa de evaluación de Integridad (IAP).

De igual forma se muestran las secciones de conclusiones y recomendaciones, listas de tablas y figuras, por último los anexos que contienen criterios del análisis de consecuencias, diagramas unifilares del sistema y los resultados obtenidos de las simulaciones hechas en el PHAST.



OBJETIVO



OBJETIVO

General:

Realizar un análisis de consecuencias en un ducto que transporta gas natural.

Específicos:

- Llevar a cabo la identificación de los riesgos de un gasoducto de gas natural.
- Llevar a cabo la simulación de una ruptura en un gasoducto de gas natural, en zonas pobladas y despobladas, mediante el software Phast 6.4 (Process Hazard Analysis Software Tool).
- Establecer las medidas preventivas con el fin de brindar seguridad en el área.
- Presentar el reporte de la simulación mediante el Phast.



CAPÍTULO 1

GENERALIDADES



1. GENERALIDADES

Los estudios de análisis de riesgos son de vital importancia en el arranque de operaciones en las industrias. Ya que estos ayudan a la identificación de los peligros y riesgos, existentes en la mismas, y así mismo implementar las acciones pertinentes ante los resultados de dichos estudios.

En México, después de las fuertes explosiones en el sistema de alcantarillado en Guadalajara, Jalisco en 1992, a través de un decreto del presidente Carlos Salinas de Gortari, en la reunión de PREVENCIÓN DE DESASTRE, llevada a cabo el 29 de abril, se dio instrucciones a la SEDESOL para iniciar las auditorías ecológicas de las empresas potenciales más riesgosas, y elaborar el correspondiente Análisis de Riesgos.

Debido a los accidentes industriales y al avance de las industrias, los requerimientos de estos estudios se mantienen en constante implementación y se ve presente en el desarrollo de Software para la simulación de análisis de riesgos, mediante la alimentación de datos al programa, logrando diferentes escenarios, y el reporte de los mismos con información muy detallada.

1.1 ANÁLISIS HISTÓRICO DE ACCIDENTES

Accidentabilidad de ductos en el mundo

Es difícil presentar una visión más o menos precisa de accidentes e incidentes registrados en ductos, ya que en ello intervienen muchas variables, como son: disparidad en los métodos de reporte, normatividad en tuberías, condiciones locales, personal operativo calificado, vigilancia, regulación efectiva del uso del suelo. De acuerdo a una investigación realizada por la Agencia de Seguridad de Inglaterra, los accidentes más trascendentes (accidentes mayores) identificados en ductos construidos a nivel mundial durante el periodo de 1970 a 1995, dejaron la siguiente información:

Tabla 1.1 A) Accidentes trascendentes	
Evento	Cantidad
Incidentes	500
Lesionados	3 000
Muertes	2 000
Países afectados	97

Fuente: Elaboración propia con datos de investigación de la Agencia de Seguridad de Inglaterra, 2000.

El 53% de los incidentes reportados se suscitaron en ductos de gas natural, 18% con gas licuado de petróleo, 17% con crudo y 7% con gasolina.

También esta agencia determino los tipos de fallas más comunes ocurridos en ese mismo periodo de 1970 a 1995, con los porcentajes siguientes:



Evento	Porcentaje (%)
Daños por terceras partes	31
Causas no identificadas	22
Operaciones incorrectas	19
Otros	28

Fuente: Elaboración propia con datos de investigación de la Agencia de Seguridad de Inglaterra, 2000.

Incidentes mayores en ductos de transporte de Petróleos Mexicanos (Pemex)

El sistema de transporte por ductos en el país, consta de más de 55,000 km de tuberías, los fluidos transportados son: crudo, gasolinas, diesel, gas natural y productos petroquímicos, principalmente. Los diámetros de las tuberías varían desde 3" hasta 48" de diámetro, y comparten en gran medida los corredores de los derechos de vía (DDV's), donde se realizan las tareas y actividades de operación, mantenimiento e inspección principalmente.

Por otro lado, la PROFEPA monitoreó (durante el periodo comprendido entre los años de 1997 a 2001), los sistemas de transporte de hidrocarburos en tres diferentes medios, los cuales son: por ducto, marítimo y carretero, en donde se obtuvieron datos reveladores.

Los casos más significativos, con mayor número de registros de accidentes, son debidos a: tomas clandestinas (304 casos), corrosión (125 casos) y golpe mecánico (6 casos) entre los más importantes.

Una compilación de estos registros y otros más que se presentaron en los sistemas de poliductos instalados en los derechos de vía del país durante el periodo 1994-2003 se muestran en la tabla de datos de accidentes en poliductos (1994-2003).

Causas	Años										
	94	95	96	97	98	99	00	01	02	03	ST
Corrosión externa	7	7	23	19	35	27		3	1	3	125
Golpe mecánico	2	1		1				2			6
Falla de la soldadura transversal	1		1								2
Tomas clandestinas	9	21	45	7	46	51	35	37	45	8	304
Golpe de ariete	1										1
Fisura por sobrepresión			1		1				2		4
Falla de la abrazadera			1			1					2
Material defectuoso								1			1
Sobresfuerzo x Mov. Terr.								1			1
Fuga en la válvula									1		1
Ruptura de monoblock									1		1
Total											448

Fuente: Datos de Accidentes de Pemex-Refinación, Subdirección de Distribución. Gerencia de Transportación por ducto. Subgerencia Ductos Sureste. Pemex-Refinación, 2004.



Listado de accidentes nacionales e internacionales

Los gasoductos transportan material inflamable y volátil, por lo que son fuente de preocupaciones de seguridad.

Tabla 1.1 D) Lista de Accidentes nacionales e internacionales	
Fecha	Acontecimiento
Agosto 1969	Explota gasoducto por motivo de robo en Henan, China . Mueren un centenar de personas.
Junio 1989	Explota el mayor gasoducto de la URSS en los Urales . Mueren 190 personas. Dos trenes de pasajeros que circulaban en ese momento cerca de la explosión fueron destruidos. De un total de 1,200 pasajeros, murieron 600.
22 de abril 1992	En México, Guadalajara en el barrio céntrico de Analco, las explosiones de petróleo en el sistema de alcantarillado mataron a 209 de personas, dejaron casi 500 heridos y 15,000 personas quedaron sin hogar.
Septiembre 1993	Explota el gasoducto que une Caracas y Tejerías en Venezuela . Mueren más de 70 personas.
Noviembre 1993	Explota gasoducto en la provincia de Quang Ninh, Vietnam . Mueren 39 personas.
Febrero 1994	Explota gasoducto que unía las instalaciones de Pemex en el estado de Tabasco, México . Mueren 10 personas.
Diciembre 1994	Explota gasoducto en el estado de Monagas en Venezuela . Mueren 70 personas.
Enero 1995	Explota gasoducto de Jian , provincia china de Shandog. Mueren 11 personas.
Agosto 1996	Explosión gasoducto en Henan , centro de China . Produjo 100 muertos; la explosión fue causada por un intento de robo.
16 de mayo 1998	Mueren 100 personas al estallar una tubería de distribución de combustibles a las afueras de la ciudad de Nigeria de Lagos .
28 de diciembre 1998	La explosión de un Gasoducto en Colombia , en la población de Arroyo de Piedra, donde murieron 15 personas y 25 resultaron heridas. No fue posible determinar las causas pero pruebas realizadas por las autoridades colombianas indicaron las existencias de colonias de bacterias, las cuales atacaron la tubería causando corrosión localizada generando escape de gas y la explosión del ducto.
19 de agosto 2000	La rotura de un gasoducto de gas natural que estalló en llamas cerca de Carlsbad, Nuevo México mató a 12 miembros de la misma familia. La causa fue una importante corrosión interna del gasoducto.
Agosto 2000	Explota tren cisterna que transportaba gas licuado en Nairobi . Mueren 25 personas.
Enero 2002	Explota gasoducto de Norandino , el cual transporta gas de Argentina a Chile. La explosión hizo un cráter de 70 metros de diámetro y el fuego arrasó con todo tipo de vida.
Diciembre 2003	Explota yacimiento de gas natural en Chongqing, China . Mueren 193 personas y fueron afectados 28 núcleos urbanos.
Enero 2004	Explosión en el perímetro de la planta gasística de Skikda en Argelia . Mueren 22 personas y 74 heridos. Se cree ocurrió la explosión de una caldera.

**Tabla 1.1 D) Lista de Accidentes nacionales e internacionales**
(continuación)

Fecha	Acontecimiento
30 de julio 2004.	Un gasoducto principal explotó en Ghislenghien, Bélgica (treinta kilómetros al sudoeste de Bruselas), matando a por lo menos 23 personas y dejando 122 heridos, algunos de extrema gravedad.
Diciembre 2006	Explota gasoducto en Nigeria dejando más de 500 muertos.
Mayo 2006	Estalla por quinta vez en sólo 18 meses de construcción el gasoducto de 540 kms. De longitud que transporta el gas de Cusco a la costa peruana .
7 de mayo 2007	Una explosión en Ucrania destruyó parcialmente un gasoducto que transporta gas de Rusia a la Unión Europea.
Septiembre 2007	Accidentes en varios gasoductos de la petrolera estatal mexicana (PEMEX) en el estado de Veracruz , aunque no causó víctimas, obligó a evacuar a 21,000 personas.
Septiembre 2007	Evacúan 3,000 personas por la explosión de un gasoducto de Pemex en Cuapiaxtla, Tlaxcala (México) y el ejército mexicano tuvo que acordar un radio de 2.5 kms. No se reportaron muertes, sino crisis nerviosas entre los vecinos del lugar.
Julio 2007	Explosión en gasoducto Guanajuato-Guadalajara . Unas 5,000 personas fueron desalojadas de veinte comunidades de los municipios de Celaya, Cortázar, Salamanca, Valle de Santiago y Pueblo Nuevo. Las llamas alcanzaron hasta 30 metros de altura.
Agosto 2010	Explosión en Turquía afectó un gasoducto iraquí y causó un gran incendio. Murieron 2 personas y hubo 1 herido, los cuales eran automovilistas que pasaban cerca y sus autos se incendiaron.
Diciembre 2010	Explosión en ducto en el municipio de San Martín Texmelucan , en el estado de Puebla , causó la muerte de al menos 22 personas. En un radio de 3 km se aprecian fachadas de casas con vidrios rotos y más de 25 vehículos calcinados.
Noviembre 2011	La explosión se registró a las 10:15 horas en el gasoducto de 36" Los Ramones-Estación 19. El sistema automatizado SCADA detectó una súbita caída de presión en el ducto, y de inmediato, personal del sector Ductos Reynosa de Pemex Gas se trasladó al sitio; en tanto se efectuó el cierre de las válvulas de seccionamiento para cortar el flujo del gas.
Diciembre 2012	Se registra explosión en el Centro Receptor de Gas y Condensados en Reynosa a las 10.45 hora local (15.45 GMT), ubicado en el kilómetro 19 de la carretera Reynosa-Monterrey, cercano a la frontera con Estados Unidos, dejando un saldo de 29 muertos.
Mayo 2013	Explosión de pipa de gas de doble remolque que iba a exceso de velocidad deja al menos 23 muertos y 36 heridos en el kilómetro 14 de la autopista México-Pachuca.
Julio 2013	El suministro de crudo por el oleoducto de 30 pulgadas, Nuevo Teapa-Venta de Carpio-Tula, fue suspendido de inmediato, para tratar de controlar las llamas que alcanzaban los 25 metros de altura en Tonatitla, Estado de México por extracción ilegal deja saldo de 7 personas lesionadas y 2 patrullas totalmente destruidas.

Fuente: Elaboración propia con datos recabados de internet de accidentes nacionales e internacionales de explosiones.



1.2 MANEJO Y CARACTERÍSTICAS DEL GAS NATURAL

El gas natural es una energía de origen fósil y procede de la descomposición de materia orgánica atrapada entre estratos rocosos. El gas natural es una mezcla de hidrocarburos ligeros en condiciones normales de presión y temperatura entre los que destaca el metano (CH_4). El metano tal como se extrae de los yacimientos, del gas natural es un producto incoloro e inodoro, no tóxico y más ligero que el aire y por lo general se encuentra en forma natural mezclado con otros hidrocarburos fósiles. Al momento de su extracción, el gas natural contiene impurezas como agua, ácido sulfhídrico, dióxido de carbono y nitrógeno que tienen que ser removidas antes de su transporte y comercialización.

El gas natural se encuentra generalmente en depósitos subterráneos profundos, formados por roca porosa o en los domos de los depósitos naturales de petróleo crudo, su composición, gravedad específica, peso molecular y su poder calorífico son diferentes en cada depósito, por lo que dependiendo de su origen, el gas natural se clasifican en dos tipos.

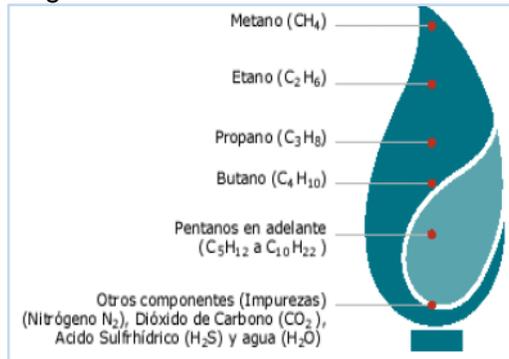
- **GAS ASOCIADO:** Es el gas que se extrae junto con el petróleo crudo y contiene grandes cantidades de hidrocarburos que son susceptibles de licuarse, como etano, propano, butano.
- **GAS NO ASOCIADO:** Es el que se encuentra en depósitos que contienen únicamente este combustible.

El gas asociado es gas natural libre, conocido habitualmente como gas de casquete gaseoso, el cual está por encima y en contacto con el petróleo crudo en el depósito. El gas disuelto es gas natural en solución con el petróleo crudo en el depósito, en las condiciones de este último.

En los depósitos que contienen gas asociado y petróleo crudo, el petróleo, el gas disuelto y el gas asociado pueden ser producidos conjuntamente usando la misma perforación del pozo. Una vez extraído del subsuelo, debe transportarse a las zonas de consumo, que pueden estar cerca o miles de kilómetros de distancia, el transporte desde los yacimientos hasta las áreas de consumo se realiza a través de tuberías de acero de gran diámetro llamados gasoductos, pero cuando el transporte se hace por mar y no es posible construir gasoductos submarinos, el gas se carga en buques metaneros, en estos casos el gas se licúa $160\text{ }^\circ\text{C}$ bajo cero para reducir su volumen 600 veces, para que en el puerto receptor el gas se descargue en las plantas o terminales de almacenamiento y regasificación, de esta forma permanece almacenado en grandes tanques a presión atmosférica y se inyecta a la red de gasoductos para su transporte a zonas de consumo.

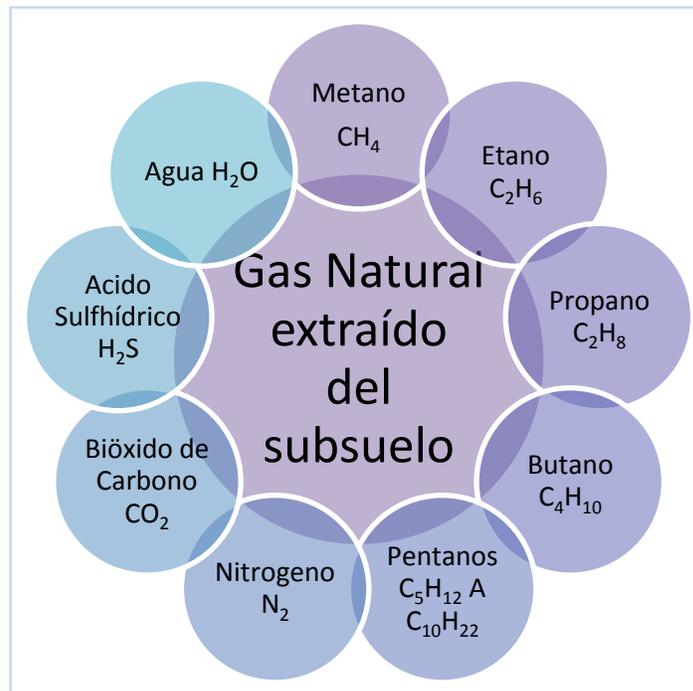
El gas natural comercial está compuesto de un 95% o más de metano y el 5% restante de una mezcla de etano, propano y otros componentes más pesados, como se muestra en la figura 1.2 A) y en la figura 1.2 B) se muestran los componentes del gas natural antes de ser procesado. Como medida de seguridad, en la regulación se estipula que los distribuidores deberán adicionar un odorizante al gas natural para que se pueda percibir su presencia en caso de posibles fugas durante su manejo y distribución al consumidor final.

Figura 1.2 A) Composición del gas natural



Fuente: Figura obtenida de la red (http://html.rincondelvago.com/gas-natural_endulzamiento.html)

Figura 1.2 B) Componentes del gas natural antes de ser procesado:



Fuente: Elaboración propia con información de Petróleos Mexicanos (PEMEX)



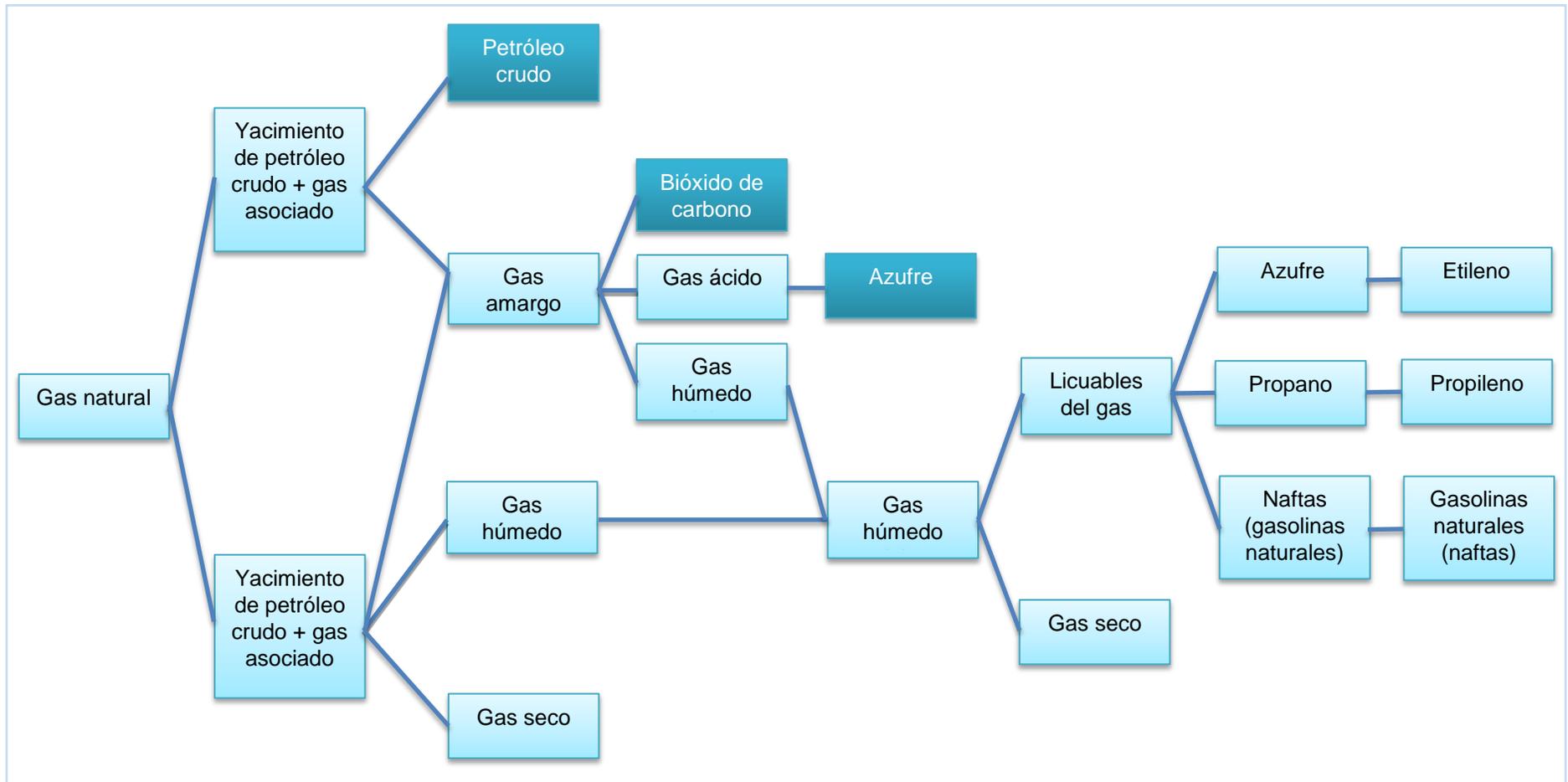
Figura 1.2 C) Etapas del procesamiento de gas natural:



Fuente: Elaboración propia con información de Petróleos Mexicanos (PEMEX)



Figura 1.2 D) Gas natural



Fuente: Elaboración propia con información de Petróleos Mexicanos (PEMEX)



El gas natural licuado ofrece una mayor flexibilidad para el intercambio que el transporte a través de gasoductos, permitiendo a los cargamentos de gas natural ser llevados y entregados donde la necesidad sea mayor y los términos comerciales sean más competitivos. Un estudio de costos de transporte publicado por Center for Energy Economics de Estados Unidos que a medida que aumenta la distancia por el gas natural es transportado, el uso del GNL tiene beneficios económicos sobre el uso de gasoductos. Transportar GNL resulta más económico que transportar gas natural en gasoductos sumergidos mayores a 1,126.5 km (700 millas), o a través de gasoductos en tierra a distancias de más de 3,540.5 km (2,200 millas).

1.3 DEFINICIONES DE TIPOS DE GAS

Gas natural:

Mezcla gaseosa que se extrae asociada con el petróleo o de los yacimientos que son únicamente de gas. Sus componentes principales en orden decreciente de cantidad son el metano, etano, propano, butanos, pentanos y hexanos. Cuando se extrae de los pozos, generalmente contiene ácido sulfhídrico, mercaptanos, bióxido de carbono y vapor de agua como impurezas. Las impurezas se eliminan en las plantas de tratamiento de gas, mediante el uso de solventes o adsorbentes. Para poderse comprimir y transportar a grandes distancias es conveniente separar los componentes más pesados, como el hexano, pentano, butanos y propano y en ocasiones el etano, dando lugar estos últimos a las gasolinas naturales o a los líquidos del gas natural, para lo cual se utilizan los procesos criogénicos.

Gas amargo:

Gas natural que contiene derivados del azufre, tales como ácido sulfhídrico, mercaptanos, sulfuros y bisulfuros. Proviene directamente de los yacimientos de crudo o de los diversos procesos de refinación.

Gas húmedo:

Mezcla de hidrocarburos que se obtienen del proceso del gas natural del cual le fueron eliminadas las impurezas o compuestos que no son hidrocarburos, y cuyo contenido de componentes más pesados que el metano es en cantidades que permiten su proceso comercial.

Gas seco:

Gas natural que contiene cantidades menores de hidrocarburos más pesados que el metano. También se obtiene de las plantas de proceso.



Gas ácido:

Gas que contiene cantidades apreciables de ácido sulfhídrico, dióxido de carbono y agua. Se obtiene del tratamiento del gas amargo con bases fácilmente regenerables como son la mono y dietanolamina (MEA y DEA) que son utilizadas para este propósito.

Gas dulce:

Gas libre de ácido sulfhídrico, mercaptanos y otros derivados de azufre. Existen yacimientos de gas dulce, pero generalmente se obtienen endulzando el gas natural amargo utilizando solventes químicos, solventes físicos o adsorbentes.

Etano:

Gas que en su estado natural es incoloro, inodoro e insípido, ligeramente más pesado que el aire. Su temperatura de condensación a presión normal es de $-88.6\text{ }^{\circ}\text{C}$. Sus límites de explosividad inferior y superior en el aire son 2.9 y 13.0 por ciento en volumen. Es el segundo miembro de la serie de las parafinas o alcanos. Su fórmula condensada es C_2H_6 . Se obtiene por fraccionamiento de los líquidos del gas natural. Se usa como materia prima para la fabricación de etileno.

Propano:

Gas que cuando es puro es incoloro e inodoro, más pesado que el aire. Su temperatura de condensación a la presión atmosférica normal es -42.5°C ; sus límites inferior y superior de explosividad en el aire son 2.4 por ciento y 9.5 por ciento, respectivamente. Es el tercer miembro de la serie de parafinas o alcanos; su fórmula condensada es C_3H_8 . Se obtiene por fraccionamiento de los líquidos del gas natural, de los condensados y de varios procesos de refinación, tales como la destilación atmosférica del petróleo crudo, la desintegración catalítica y la reformación de naftas.

Butano:

Gas que cuando es puro es incoloro e inodoro, más pesado que el aire; su temperatura de ebullición a la presión atmosférica normal es -0.5°C , sus límites inferior y superior de explosividad en el aire son 2.1 por ciento y 9.5 por ciento, respectivamente. Es el cuarto miembro de la serie de parafinas o alcanos; su fórmula de condensados es C_4H_{10} .

Pentanos:

Hidrocarburos saturados de fórmula empírica C_5H_{12} , de los cuales son posibles tres isómeros. Líquidos incoloros, inflamables; solubles en hidrocarburos y éteres e insolubles en agua. Existen en las fracciones de más bajo punto de ebullición del petróleo, donde se obtienen.



1.4 PRINCIPALES PRODUCTOS DEL GAS NATURAL

Gas seco:

- Fertilizantes nitrogenados
- Aditivos
- Anticongelante
- Fumigantes
- Desinfectantes
- Tintas
- Acabados textiles (ropa)

Etano:

- Fibras textiles y resinas
- Envases de plástico
- Partes automotrices
- Cremas y perfumes
- Detergentes
- Líquido para frenos y amortiguadores
- Filtros y envolturas para cigarros
- Rollos fotográficos
- Tuberías
- Pinturas y esmaltes
- Cintas adhesivas
- Juguetes
- Partes automotrices

Naftas (Gasolinas naturales):

- Adhesivos y pinturas
- Llantas
- Elastómeros
- Farmacéuticos y cosméticos
- Juguetes
- Bolsas
- Fibras textiles
- Teléfonos
- Resinas
- Poliuretanos
- Insecticidas
- Detergentes



Propano:

- Fibras sintéticas
- Acrílicos
- Partes automotrices
- Teléfonos
- Pinturas y esmaltes
- Tuberías
- Sacos para envasado de productos
- Juguetes
- Empaques
- Artículos domésticos

1.5 USO DEL GAS NATURAL Y VENTAJAS

Entre las fuentes de energía, el gas natural se caracteriza por su eficiencia, limpieza y competitividad. El gas natural es también una energía versátil, que se puede emplear tanto en el hogar como en el comercio y la industria. En el hogar, el gas natural calienta con rapidez, no necesita almacenaje previo, además es el combustible que menos contamina. En el comercio y la industria se benefician de la calidad de la flama del gas natural, una flama regular y sin impurezas.

El gas seco (gas natural comercial) se utiliza como:

1.- Combustible en:

- Transporte
- Hogares
- Comercios
- Industrias

2.- Generación de energía eléctrica por medio de plantas de ciclo combinado, esta tecnología consiste en utilizar la combustión del gas natural y el vapor que producen los gases de escape para generar electricidad de manera complementaria.

3.- Materia prima en la elaboración de productos petroquímicos ya que de forma relativamente fácil y económica puede ser convertido a hidrógeno, etileno o metanol para fabricar diversos tipos de plásticos y fertilizantes.



1.5.1 USO EN EL HOGAR

El gas natural puede utilizarse en los hogares para cocinar, lavar, secar, obtener agua caliente, calefacción y climatización. Los domésticos para cocinar con gas, por ejemplo, las estufas y muebles de cocina, están equipados ahora con los dispositivos más modernos: encendido electrónico y sistemas termopar que cortan el paso del gas si se apaga la flama. Los hornos de gas son programables, autolimpiables y disponen de un encendido automático, el vapor de agua de la combustión del gas permite en estos hornos, que los alimentos no se resequen. El gas natural también se aplica a lavadoras y lavavajillas, que sean el agua calentada por la caldera o calentador de agua y consiguen sustanciales ahorros de tiempo y dinero.

Los calentadores de gas natural producen agua caliente al instante y sin límite. Estos calentadores funcionan sólo cuando se necesita agua caliente, lo que permiten ahorro máximo de energía. El gas natural también permite calentar los hogares alcanzando el máximo confort, las calderas de calefacción mixtas (calefacción de agua caliente) pueden ser para una sola vivienda (individuales) o para todo un edificio o urbanización (colectivas), estas calderas son regulares y programables para tener el confort necesario en cualquier momento.

1.5.2 USOS EN EL COMERCIO Y LA INDUSTRIA

En el comercio y en la industria, el gas natural puede utilizarse en cualquier proceso de generación de calor o frío, en la cogeneración de energía térmica, así como en la generación de electricidad.

La combustión del gas natural permite regular mejor la temperatura de las cámaras de combustión de una extensa gama de equipos y aplicarla directamente al tratamiento de múltiples productos. Como combustible, el gas natural se utiliza en los sectores industriales que necesitan energía térmica limpia, eficaz y económica: hornos, fundiciones, tratamientos térmicos, cubas de galvanizado y calefacción de grandes locales (polideportivos y naves industriales o comerciales), además el gas natural también permite climatizar y generar frío para edificios e industrias.

Otra aplicación de actualidad y con un gran futuro es la cogeneración. La cogeneración con gas natural produce conjuntamente energía eléctrica (o mecánica) y calor útil para fábricas, centros sanitarios y hoteleros, además la cogeneración con gas natural reduce en gran medida la emisión de contaminantes. Otra utilidad por su alto contenido de hidrógeno, es como materia prima para la producción de amoníaco en fertilizantes, así como en otras aplicaciones petroquímicas.

1.5.3 USO COMO COMBUSTIBLE VEHICULAR

El problema de localidad del aire, particularmente la persistencia de ozono en diferentes ciudades, originada por la combinación de hidrocarburos (butano y pentano) y óxido de nitrógeno en la atmósfera, es emitida principalmente por la combustión de gasolina de



vehículos particulares, de pasajeros y de transporte de carga, los cuales son responsables de dicha emisión a la atmósfera en un 54% de los hidrocarburos y un 75% de los óxidos de nitrógeno.

1.5.4 VENTAJAS EN CUANTO A SU USO

Considerando las propiedades físico-químicas del gas natural, las ventajas más importantes, en cuanto a su utilización en diferentes sectores son las siguientes:

- Es un combustible relativamente barato.
- Presenta una combustión completa y limpia, la cual prácticamente no emite dióxido de azufre.
- Seguridad en las operaciones, debido a que en casos de fugas, al ser más ligero que el aire, se disipa rápidamente en la atmósfera. Únicamente se requiere buena ventilación.
- Promueve una mayor eficiencia térmica en plantas de generación de electricidad.
- El gas natural es un combustible excelente para motores de combustión interna. Su alto valor antidetonante hace posible elevadas relaciones de compresión, con aumento de rendimiento.

El metano y el gas natural son combustibles satisfactorios para turbinas de gas.

1.6 PROCESO GENERAL DE GAS NATURAL

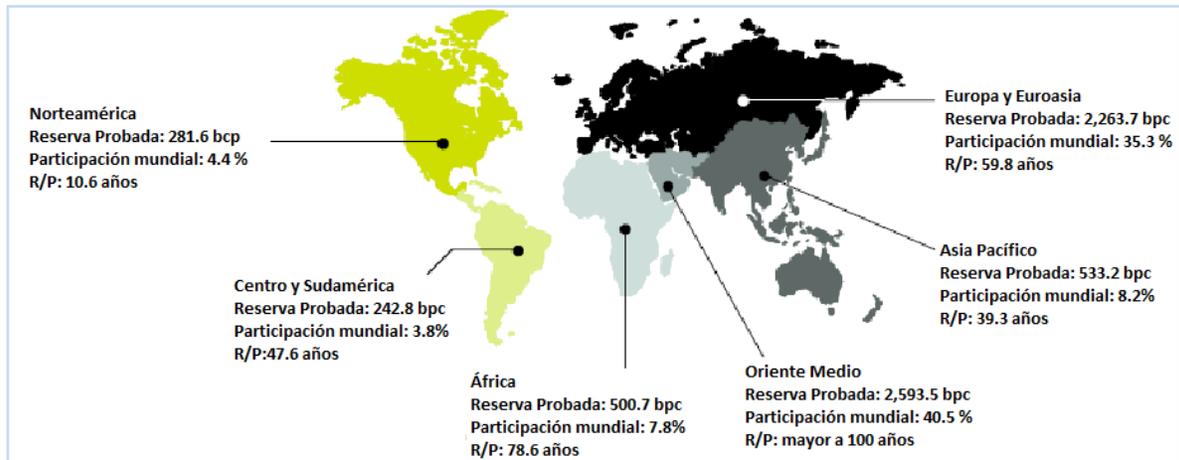
El proceso que conlleva el gas natural comienza en los pozos, donde se extrae petróleo y gas natural. Este gas puede venir puro o con hidrocarburos líquidos y agua, estos elementos son retirados por medio de baterías de separación, para que después el gas natural ingrese al sistema de recolección, que lo transporta al medidor donde confluye todo el gas extraído del pozo.

El gas es transportado por una línea de conducción hacia una planta de procesamiento, en la cual se separan el etano y el metano.

1.7 LA INDUSTRIA EN EL MUNDO

Históricamente las reservas mundiales de gas, en la mayoría de los años, se han incrementado. Hasta finales de 2006, las reservas probadas de gas natural permanecieron prácticamente sin cambio, ya que reportaron un ligero ascenso de 0.7% respecto al año anterior para totalizar 6,405 billones de pies cúbicos (bpc).

Mapa 1.7 A) Distribución regional de las reservas probadas de gas seco 2006 BPC



Fuente: SENER prospectiva de gas natural 2007-2016

Se pueden encontrar reservas de gas natural en todos los continentes, éstas se encuentran distribuidas en forma irregular. Los enormes campos gasíferos que contienen dos terceras partes (66.7%) de reservas de gas natural en todo el mundo se encuentran en los países de Oriente Medio y Rusia.

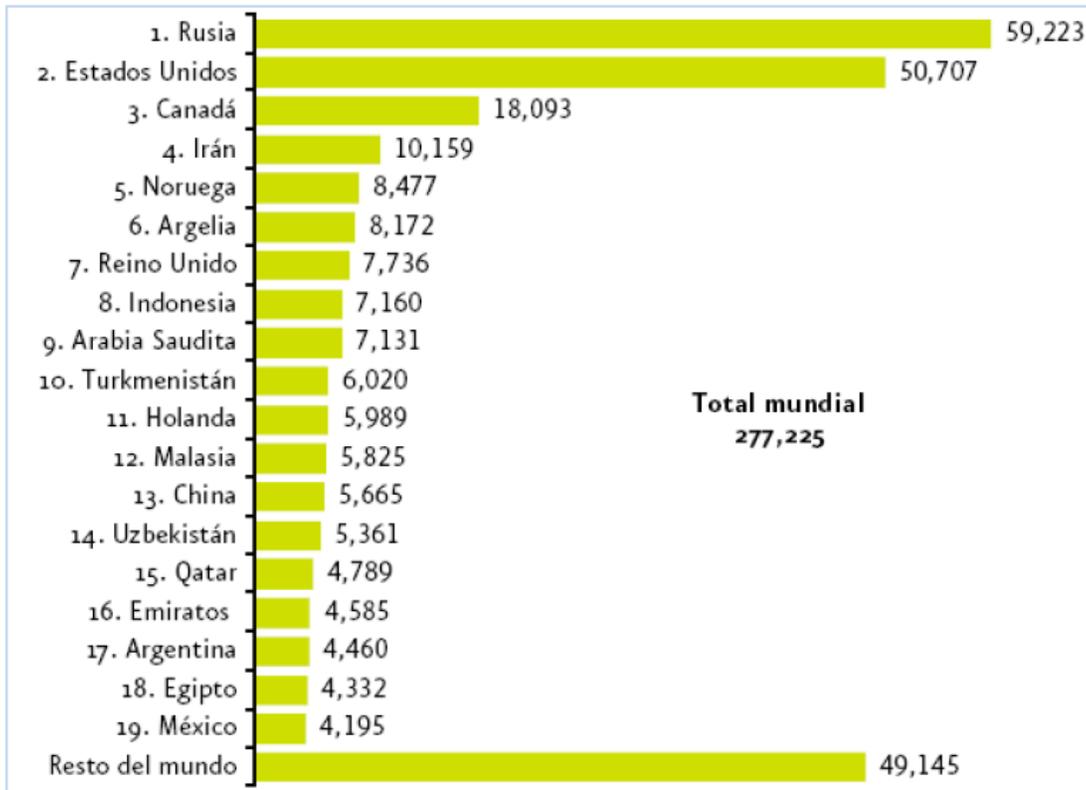
El gas natural está ganando importancia en el mercado energético global, convirtiéndose en un combustible de usos diversificados, principalmente porque su combustión es eficiente y limpia, lo cual se ha generado un incremento en los ritmos de producción para satisfacer la demanda, incluso acelerando la incorporación de reservas en distintos países por el incremento de la extracción.

El fuerte incremento en la producción mundial de gas natural en los últimos años ha derivado en que la tasa de R/P se haya reducido en niveles superiores a los programados, de tal manera se tiene que en 2003 dicha tasa se ubicó en 70.4 años, mientras que el año 2006 esta relación bajó a 63.3, incluso en el incremento en los niveles de adición de reservas.

Los principales productores de gas natural son Rusia y Estados Unidos. Otros países como Canadá, Irán, Noruega, Argelia, Reino Unido, Indonesia y Arabia Saudita presentaron 63.3% de la producción global de gas seco 2006, y se encuentran extrayendo de sus yacimientos por encima de los 7000 mmpcd. Cabe señalar que México se ubica en el lugar 19 como productor de gas seco, al considerar la clasificación del BP Statistical Review of World Energy.



Grafica 1.7 A) Producción Mundial de Gas Seco, 2006 MPCD



Fuente: SENER. Prospectiva de Gas Natural 2007-2016

Petróleos Mexicanos se ha colocado en una destacada posición en el escenario mundial, así lo han reconocido publicaciones especializadas en materia energética de prestigio internacional. De acuerdo con Energy Intelligence Group, Pemex se colocó en 2005 como la treceava empresa productora de gas seco en el mundo, en comparación con otras grandes corporaciones petroleras de distintos países. Esta posición refleja la importancia que tiene Pemex como empresa petrolera en el contexto internacional y el significado económico que representa para el desarrollo de México.



1.8 LA INDUSTRIA EN MÉXICO

A partir de 1995 se realizaron diversas reformas a la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, que permitieron la participación de la inversión privada en el sector del gas natural. En consecuencia, en este rubro no es un monopolio, sino que participa en un mercado abierto a la competencia.

La reforma de 1995 buscaba maximizar los beneficios ligados a este combustible y desarrollar una infraestructura de gasoductos acorde con las necesidades del país. En esencia, dicha reforma perdió la participación privada en actividades que previamente estaban reservadas al Estado a través de Pemex, tales como el transporte, el almacenamiento, distribución por medio de ductos, así como el comercio exterior y comercialización de gas nacional.

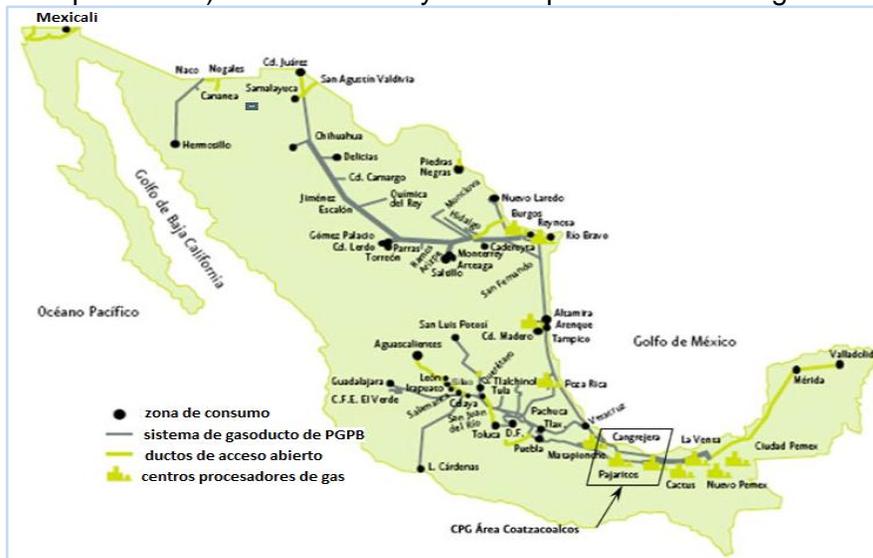
De conformidad con la visión de largo plazo de gas natural se introdujeron las reformas pertinentes a la Ley Reglamentaria del Artículo 27 Constitucional en el ramo del Petróleo y se expidió el Reglamento de gas Natural, con el fin de brindar certidumbre jurídica a los inversionistas interesados en incursionar en el sector.

A partir de la publicación del Reglamento de gas natural en 1995, la Comisión Reguladora de Energía (CRE) inicio la definición de las zonas geográficas de distribución y los procesos para otorgar permisos de distribución de gas natural en dichas zonas.

1.8.1 INFRAESTRUCTURA

Pemex Gas y Petroquímica Básica (PGPB) cuenta con 10 complejos procesadores de gas, de ellos, en dichos complejos existen un total de 68 plantas de distintos tipos.

Mapa 1.8.1 A) Red de ductos y centros procesadores de gas



Fuente: SENER. Prospectiva de gas natural 2007-2016.

Existen en México 15 interconexiones con Estados Unidos, de las cuales ocho pertenecen a sistemas aislados a los que no puede llegar la producción nacional, y las siete restantes los ductos de Gulf Terra, Kinder Morgan, Tetco y Tennessee, pueden ser utilizados en forma bidireccional para exportar un volumen máximo de gas 750 MMPCD hacia el sur de Texas.

Mapa 1.8.1 B) Puntos de Interconexión de gas natural con Estados Unidos



Fuente: SENER. Prospectiva de Gas Natural 2007-2016.



Hoy, PGPB transporta el gas natural a los grandes consumidores, así como a la entrada de las ciudades, mientras que la distribución al interior de éstas, en la mayoría de los casos, ésta a cargo de empresas privadas de distribución. Las empresas que han recibido permisos de distribución en diversas zonas geográficas del país por parte de la CRE, cuentan con sus propios gasoductos.

El consumo regional de gas natural está estrechamente relacionado con la distribución de la infraestructura así como con la ubicación de los centros industriales, actividades petroleras, puntos de generación de electricidad y concentración poblacional. Estos factores son lo que principalmente han desarrollado el mercado de gas natural en México.

Existen cinco zonas regionales de mercado: Noroeste, Noreste, Centro, Occidente y Sureste.

Tabla 1.8.1 A) Zonas geográficas de distribución de gas natural y Empresa permisionaria	
Zona geográfica	Empresa permisora
Mexicali	Ecogas México (antes Distribuidora de Gas Natural de Mexicali, S de R.L. de C.V.)
Piedras Negras	Compañía Nacional de Gas, S.A. de C.V.
Chihuahua	Ecogas México (antes DGN Chihuahua, S. de R.L. de C.V.)
Hermosillo	Gas Natural del Noroeste, S.A. de C.V.
Saltillo	Gas Natural México, S.A. de C.V.-Saltillo
Toluca	Gas Natural México, S.A. de C.V.-Toluca
Monterrey	Compañía Mexicana de Gas, S.A. de C.V.
Monterrey	Gas Natural México, S.A. de C.V.-Monterrey
Nuevo Laredo	Gas Natural México, S.A. de C.V.-Nuevo Laredo
Ciudad Juárez	Gas Natural de Juárez, S.A. de C.V.
Río Pánuco	Tractebel GNP, S.A. de C.V.
Norte de Tamaulipas	Tamaulipas, S.A. de C.V.
Cuatitlán-Texcoco-Hidalgo	Consorcio Mexi-Gas, S.A. de C.V.
Cuatitlán-Texcoco-Hidalgo	Distribuidora de Gas Natural México
Distrito Federal	Comercializadora Metrogas, S.A. de C.V.
Querétaro	Tractebel Digaqro, S.A. de C.V.
El Bajío	Gas Natural México, S.A. de C.V.
La Laguna-Durango	Ecogas México (antes DGN de La Laguna-Durango, S.A. de C.V.)
Cananea	Distribuidora de Gas de Occidente, S.A. de C.V.
Bajío Norte	Gas Natural, S.A. de C.V.-Bajío Norte
Puebla-Tlaxcala	Natgasmex, S.A. de C.V.
Guadalajara	Tractebel DGJ, S.A. de C.V.

Fuente: CRE. Datos proporcionados por la Comisión Reguladora de Energía.

Mapa 1.8.1 C) Regionalización del mercado de gas natural



Fuente: SENER. Prospectiva de Gas Natural 2007-2016

1.8.2 EXTRACCIÓN Y PRODUCCIÓN

Regiones de extracción de Gas Natural en México

Región Norte:

Ubicada en parte Norte y Centro del país, su distribución geográfica incluye una parte continental y otra marina. Su extensión es superior a dos millones de kilómetros cuadrados. Al norte limita con Estados Unidos de América, al este con la isobata de 500 metros del Golfo de México, al oeste con el Océano Pacífico y al sur con el Río Tesechoacán, siendo este el límite de la región Sur.

Mapa 1.8.2 A) Región Norte



Fuente: SENER. Prospectiva de Gas Natural 2007-2016



Región Marina Noreste:

Se localiza en el sureste de la República Mexicana, en aguas territoriales frente a las costas de los estados de Campeche, Yucatán y Quintana Roo. Abarca una superficie de 166 mil kilómetros cuadrados, e incluye parte de la plataforma continental y talud del Golfo de México.

Mapa 1.8.2 B) Región Marina noreste



Fuente: SENER. Prospectiva de Gas Natural 2007-2016

Región Marina Suroeste:

Se ubica en aguas territoriales de la plataforma y talud continental del Golfo de México. Su superficie es de 352,390 kilómetros cuadrados y está limitada en la porción continental hacia el sur por los estados en Veracruz, Tabasco y Campeche, por la región Marina Noreste hacia el Este, al Norte por las líneas limítrofes de aguas territoriales nacionales, y al Oeste por la región Norte.

Mapa 1.8.2 C) Región marina Suroeste



Fuente: SENER. Prospectiva de Gas Natural 2007-2016

Región Sur:

Se encuentra localizada en la porción Sur de la República Mexicana, geográficamente abarca los estados de Guerrero, Oaxaca, Veracruz, Tabasco, Campeche, Chiapas, Yucatán y Quintana Roo. Esta región cuenta con cinco activos de producción que son Bellota-Jujo, Macuspana, Cinco Presidente, Samaria-Luna y Muspac; además toda la región forma parte de los activos de exploración.

Mapa 1.8.2 D) Región Sur



Fuente: SENER. Prospectiva de Gas Natural 2007-2016



CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO



2. MARCO TEÓRICO

El análisis de riesgo es un método sistemático de recopilación, evaluación, registro y difusión de información necesaria para formular recomendaciones orientadas a la adopción de una posición o medidas en la respuesta a un peligro determinado. Se considera como un proceso que consta de cuatro etapas:

- Identificación del peligro
- Evaluación del riesgo
- Gestión del riesgo
- Comunicación del riesgo

La **identificación del peligro** consiste en especificar al acontecimiento adverso que es motivo de precaución.

En la **evaluación del riesgo** se tiene en cuenta la probabilidad (la probabilidad real y no solo la posibilidad) de que se produzca el peligro, las consecuencias si ocurre y el grado de incertidumbre que supone.

La **gestión del riesgo** consiste en la identificación y aplicación de la mejor opción para reducir o eliminar la probabilidad de que se produzca el peligro.

La **comunicación del riesgo** consiste en el intercambio abierto de la información y opiniones aclaratorias que llevan a una mejor comprensión y adopción de decisiones.

2.1 RIESGO Y PELIGRO

Riesgo.

La palabra riesgo suele utilizarse para indicar la posibilidad de sufrir pérdidas, o como una medida de pérdida económica o daño a las personas, expresada en función de la probabilidad del suceso y la magnitud de las consecuencias.

Los profesionales de la seguridad industrial para el riesgo, definen la palabra riesgo como el producto de la frecuencia de un determinado evento por la magnitud de las consecuencias probables:

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

Peligro.

Se entiende como la condición física o química que puede causar daño y puede producir efectos adversos, en términos generales es la característica de un sistema que representa potencial para producir un accidente.



2.2 ANÁLISIS “¿Qué PASA SI?” (WHAT IF?)

Este es un método de análisis de riesgos general que difiere de otros porque no es tan rígido y sistemático, sin embargo, por esta misma característica se requiere de mayor experiencia en la identificación de riesgos y peligros potenciales, pues es más factible que se omitan aspectos importantes. El equipo de trabajo lo forman 2 ó 3 personas como mínimo que sean especialistas en el área a analizar, y que cuenten con una documentación detallada de la planta, proceso, equipos, procedimientos, seguridad, etc.

El objetivo es el de considerar las consecuencias negativas de posibles sucesos no deseados. Utiliza la pregunta **¿Qué pasaría si...?** aplicada a las desviaciones en el diseño, construcción, modificación y operación de instalaciones industriales. Por lo general, de la aplicación de la pregunta ¿Qué pasaría si...? se obtienen sugerencias de sucesos iniciadores y fallas posibles, a partir de los cuales puede producirse una desviación peligrosa.

Para la realización de este análisis de se requiere contar con:

- Diagramas de flujo de proceso, diagramas de tubería e instrumentación, isométricos, diagramas de detalle, etc.
- Procedimientos de operación actualizados.
- Información específica del proceso para generar el listado exhaustivo de preguntas, que inicien con ¿Que pasa sí?, para cuestionar las desviaciones de cualquier variable o condición en el proceso en operación normal.

Ventajas que representa esta metodología:

- Cubre una amplia gama de riesgos.
- Requiere de poca capacitación previa y es fácil de utilizar.
- Resulta eficaz como herramienta de aprendizaje.
- Cuestiona el diseño, flexible.
- Reconoce los efectos de procesos adyacentes.
- Compara el proceso contra experiencias anteriores.
- Es aplicable a los procesos contra experiencias anteriores.
- Método creativo con una visión de trabajo, amplia gama de disciplinas.
- Puede usarse en procesos por lote (batch).

Desventajas que representa esta metodología:

- Fácilmente pasa por alto los riesgos potenciales ya que carece de estructura.
- Su efectividad depende de la experiencia del coordinador.
- Requiere de un entendimiento básico de las operaciones de proceso y de los procedimientos.
- Requiere de los diagramas de tubería e instrumentación (DTI's).
- Se basa en una revisión conceptual, profundidad del análisis limitada.
- Los atajos dan una revisión débil, sólo funciona si se plantean las preguntas precisas.



2.3 LISTA DE VERIFICACIÓN (CHECK - LIST)

La lista de verificación se remite a la experiencia acumulada por organizaciones industriales, elaboradas generalmente a través de los años por distintas personas la cual sigue áreas o puntos de interés.

El propósito es registrar y organizar la estructura de las desviaciones respecto a estándares dentro del sistema de estudio así como también asegurar la concordancia con las regulaciones o normas nacionales e internacionales.

La lista es para comparar el estado de un sistema con una referencia externa, empleando términos como respuestas a la lista de preguntas que ayudan a intuir los resultados, como son: “sí”, “no”, o “se necesita más información”.

Generalmente se aplica a la evaluación de equipos, materiales o procedimientos y el grado de detalle varía, es usual que las empresas consultoras de seguridad tengan desarrollado diversos formatos.

Ventajas de esta metodología:

- Especifica requerimientos mínimos.
- Útil para gente de poca experiencia.
- Uniformidad en la información.
- Bajo costo en su desarrollo y aplicación

Limitaciones de esta metodología:

- Se limita a la experiencia del autor.
- Puede llegar a omitirse preguntas importantes.
- Tiene una aplicación tediosa.
- Si se olvida algún punto, difícilmente se tendrá en cuenta.

A continuación se muestra un ejemplo del formato de verificación.

Tabla 2.3 A) Lista de Verificación (Check-List)			
Equipo o Instalación	A	B	C
Localización: (Desarrollo de preguntas)			
Naves y Edificaciones: (Desarrollo de preguntas)			
Material, Equipos Procesos			
(Desarrollo de preguntas)			
Instrumentación y Control			
(Desarrollo de preguntas)			



Tabla 2.3 A) Lista de Verificación (Check-List) (Continuación)			
Equipo o Instalación	A	B	C
Acciones de Emergencia			
(Desarrollo de preguntas)			
Notas: A= Ya se ha tenido en cuenta o Sí B= No aplica o No C= Requiere mayor profundidad o Necesita más información			

Fuente: Formato típico de una lista de verificación en forma resumida.

2.4 ANÁLISIS DE PELIGRO Y OPERABILIDAD (HAZOP)

Técnica de identificación de peligros inductiva basada en la premisa de que los peligros, los accidentes o los problemas de operabilidad, se producen como consecuencia de una desviación de las variables de proceso con respecto a los parámetros normales de operación en un sistema dado y en una etapa determinada. Lo lleva a cabo un equipo multidisciplinario formado por personal de ingeniería, mantenimiento, instrumentación, proceso y seguridad mediante la técnica de tormenta de ideas.

Por tanto ya sea que se aplique en la etapa de diseño, como en la etapa de operación en régimen permanente, operación en régimen no permanente, arranque o paro; la técnica consiste en evaluar, en todas las líneas y en todos los sistemas las consecuencias de posibles desviaciones en todas las unidades de proceso, planteadas a través de palabras guía.

Para tener un estudio completo del HAZOP se requiere de la siguiente metodología:

- 1) Disponer de la información necesaria que defina el sistema de estudio.
- 2) Formar un equipo de composición multidisciplinaria. El director del equipo debe tener experiencia previa en el uso del análisis HAZOP.
- 3) El sistema se segmenta y se selecciona las partes que se han de analizar denominando a estos como nodos.
- 4) Aplicar las palabras guía (Tabla 1.6 A) a cada una de las líneas de proceso que entran o salen de un nodo seleccionado. Las palabras guías se aplican tanto a acciones (reacción, transferencia, etc.) como a parámetros específicos (presión, temperatura, etc.).
- 5) Identificación de las posibles desviaciones.
- 6) Identificación de las posibles causas de cada desviación.
- 7) Evaluación de soluciones.
- 8) Toma de decisiones.
- 9) Al cabo del tiempo establecido, seguimiento de la implementación de las medidas correctoras.



El registro sistemático de los resultados del análisis HAZOP, se realiza habitualmente en el formato tradicional que consiste en columnas como se muestra en el ejemplo:

	Compañía:		Área/Proceso:			Fecha:	
	Nodo:						
	Diagramas:			Producto:			
Desviación:							
Causas	Consecuencias	F	G	R	Protecciones	Recomendaciones	Clase

Fuente: Ejemplo de hoja de registro de sesiones de HAZOP.

Ventajas del HAZOP:

- Incluye múltiples puntos de lista.
- En forma estructurada se identifican mayor número de problemas con una visión de grupo.
- Toma en cuenta el error humano.
- Analiza en detalle el proceso o sistema.
- En general permite identificar entre el 90-99% de los riesgos existentes, pero sin ser todas reales.
- Es una técnica sistemática que puede crear desde el punto de vista de seguridad, hábitos metodológicos útiles.

Desventajas del HAZOP:

- El éxito o fracaso depende de la exactitud y actualización de la información, diagramas y habilidades del grupo.
- Es un método muy arduo, se requiere en teoría para un nuevo proyecto
- No indica las interacciones entre nodos o secciones en el sistema.
- Es una técnica costosa.
- Depende mucho de la información disponible, a tal punto que puede omitirse un riesgo si los datos de partida son erróneos o incompletos.

**Tabla 2.4 A) Palabras guía para HAZOP**

Palabras Guía	Significado	Comentarios	Desviación
No, nada.	Total negación de la intención.	Ninguna parte de la intención ocurre.	No existe flujo donde debiera. No existe energía.
Más, mayor	Aumenta el grado de la intención	Se refiere a cantidades y propiedades.	Mayor flujo, mas carga, más tiempo de reacción, alta temperatura, presión viscosidad.
Aparte de, también	Un aumento cualitativo.	La intención ocurre junto con otra actividad.	Otras fases, impurezas, otros flujos, aparte existe corrosión.
Parte de, sólo parte de.	Una disminución cualitativa.	Algunas intenciones ocurren, otras no.	Composición diferente, alguna omisión en adicionales.
Contrario a.	Ocurre lo opuesto a la lógica.	Ocurre lo contrario a lo que se esperaba.	El flujo se regresa, el producto se envenena.
En vez de, antes de, después de, a donde más.	Sustitución completa.	Ocurre algo totalmente distinto a lo esperado.	En vez de cargar "a" se carga "b", en vez de enfriar se calienta.

Fuente: <http://www.oilproduction.net/files/HAZOP-tecnica>

2.5 ANÁLISIS DE MODOS DE FALLAS Y EFECTOS (FMEA)

El análisis FMEA (del inglés Failure Modes and Effects Analysis), identifica los modos de falla de un solo equipo en el sistema, además de los efectos potenciales de dichos modos de falla en el sistema o planta. El modo de falla puede identificarse con la pérdida de función de un componente (cuando deja de actuar), función prematura (actúa prematuramente, antes de que se produzca la demanda), función fuera de tolerancia falla característica física indeseada como puede ser una fuga pequeña, observada durante una revisión (modo de falla incipiente).

El método de falla y análisis de efecto por lo tanto lleva a cabo un estudio del equipo, la manera en que puede fallar, los efectos de falla y la probabilidad de falla. El FMEA asume que el sistema no tiene riesgos excepto los asociados con las fallas de equipo. Cada falla se considera independiente y no tiene relación con otras fallas en el sistema excepto para aquellos efectos subsecuentes que puede producir. Aplicando los datos de falla se revelarán los puntos más críticos para llevar los cambios necesarios para mejorar la probabilidad que el equipo funcione como se diseñó.

Es importante llevar a cabo una hoja de FMEA para reducir la posibilidad de omisiones, teniendo como resultado la generación de una tabla como la siguiente.



HOJA DE ANÁLISIS DE FMEA

HOJA DE DATOS DE FMEA

Planta: _____ Fecha: _____

Proceso: _____ Página: _____

No.	Identificación	Descripción	Modo de falla	Efectos	Índice de gravedad

Fuente: Ejemplo de hoja de datos de FMEA.

2.6 ANÁLISIS ÁRBOL DE FALLAS (FTA)

El análisis de árbol de fallas FTA (del inglés Fault Tree Analysis) es una técnica deductiva que se enfoca en situaciones particulares de accidentes y provee la forma para determinar las causas de dicha situación. El árbol de fallas es un modelo gráfico que muestra las múltiples combinaciones de fallas que puede tener un equipo, con errores humanos, combinaciones que pueden resultar en la existencia de la situación de interés, llamado Top evento o Evento Final. Cabe mencionar que una característica importante del FTA es que tiene la flexibilidad para ejecutarse como una herramienta cuantitativa.

Ventajas del FTA:

- Define varias rutas que conducen al evento cumbre.
- Cuantifica la probabilidad de llegar a los eventos cumbres.
- Genera información objetiva para la toma de decisiones.
- Analiza los errores humanos.
- Permite comparar los índices de pérdida de los procesos modificados y no modificados.

Desventajas del FTA:

- Requiere de un conocimiento muy completo del caso de estudio.
- El árbol puede ser difícil de interpretar, ya que no es fácilmente comprensible por el lector.
- Es costoso ya que requiere de mucho tiempo.
- Se enfoca a los eventos y no a los procesos (campo de acción limitado).
- Requiere de la experiencia de especialistas.
- Requiere de entrenamiento para utilizarlo.



Requerimientos para el análisis.

- Diagramas de tubería e instrumentación.
- Especificaciones y dibujos de equipos.
- Procedimientos de operación.
- Conocimientos de modos de fallas en equipos.
- Equipo de emergencia y control.
- Información de datos de razones de fallas.

2.7 ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS

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

Existe una gran variedad de modelos que se utilizan en el análisis de consecuencias.

- Los modelos de fuente se utilizan para predecir la tasa de descarga, la evaporación instantánea, la cantidad de aerosol formado y la cantidad de sustancia evaporada.
- Los modelos de nube de vapor se utilizan para medir de dispersión en la dirección del viento, tomando en consideración las condiciones meteorológicas y la densidad del vapor.
- Los modelos de impacto permiten predecir las zonas de afectación debidas a fuego y explosión.
- Los modelos para gas toxico se usan para predecir la respuesta humana debida a la explosión a un gas toxico.
- Otros modelos se utilizan para predecir los efectos en humanos a la explosión del fuego y ondas de sobrepresión (AIChE, 1989; Theodore et al., 1989).

Para cada uno de estos fenómenos peligrosos, se establece una serie de variables físicas, que definen unos criterios de vulnerabilidad cuyas magnitudes se consideran representativas para la evaluación del alcance del fenómeno peligroso considerado.

De la aplicación de estos criterios de vulnerabilidad a partir de las variables físicas y químicas que caracterizan los fenómenos peligrosos generados según los tipos genéricos de accidentes potenciales que se pueden producir, se delimitan una serie de zonas objeto de planificación, es decir, áreas alrededor del foco del accidente en las que es preciso tomar alguna medida de protección para las personas, el medio ambiente y los bienes materiales porque, en alguna medida sufrirán las consecuencias del propio accidente.



2.7.1 INCENDIOS Y EXPLOSIONES

EXPLOSIÓN

Una explosión libera energía de manera súbita y violenta. Las causas pueden ser variadas, pero generalmente las explosiones de acuerdo al tipo de energía que las origina se clasifican en explosiones físicas y químicas (explosiones producidas por liberación de energía química).

En el primer caso la energía de un gas comprimido se libera súbitamente, en general a causa de un fallo mecánico seguido del colapso del recipiente de contención. Es lo que ocurre, por ejemplo, en la ruptura catastrófica de un recipiente conteniendo gas a presión. También entrarían dentro de esta categoría la despresurización súbita de un gas licuado almacenado bajo presión a temperatura superior a la ebullición normal (lo que ocasionaría la rápida evaporación del mismo acompañada de un aumento de presión al aumentar el número de moles en fase de gas) o las explosiones debidas al aumento de presión en el interior de un recipiente por calentamiento (incendio) externo.

En cuanto a las explosiones debidas a la liberación de energía química, son causadas por reacción química que da lugar a una elevación de la temperatura y/o a un aumento en el número de moles en fase de gas. La energía liberada en una explosión química depende de la naturaleza y estado físico de los reactantes y productos. Las explosiones de mezclas de valores combustibles con comburente (habitualmente aire), y las producidas por explosivos como TNT, etc., éstas son características diferentes, ya que estos últimos materiales llevan en sí mismos el oxígeno necesario y, por lo tanto, la explosión puede producirse en ausencia de aire.

En el caso de la ignición de una mezcla inflamable, la velocidad a la que se produce la liberación de la energía potencial química en la combustión del material es la principal deferencia entre incendios y explosiones.

Si una nube homogénea de gas o vapor en condiciones de inflamabilidad entra en ignición en ausencia de restricciones externas, el resultado es un frente de llama esférico que se propaga rápidamente al resto de la nube. La combustión da origen a un aumento de temperatura, y habitualmente del número de moles, a medida que la reacción transcurre. La velocidad del proceso ocasiona un aumento de presión local que no se equilibra con los alrededores, a diferencia de lo que ocurriría en un incendio, donde el proceso es lo suficientemente lento como para generar ondas de presión.

El frente de llama en explosión puede visualizarse como un pistón permeable que causa ondas de presión en la mezcla no reaccionada. Estas ondas en general, se propagan a la velocidad local del sonido. Si la velocidad del frente de reacción es lo suficientemente grande, se produce la conocida superposición de frentes de onda de choque. Por lo tanto las explosiones pueden ser deflagraciones o detonaciones, dependiendo de la velocidad del frente de combustión con respecto a la del sonido en la mezcla no reaccionada. Si la velocidad del frente de llama es menor que la propagación del sonido en la mezcla que aún no ha sido alcanzada por la reacción del sonido, se produce una deflagración, mientras que en caso contrario tiene lugar la detonación de la mezcla inflamable.



Así mismo se admite que en la deflagración operan mecanismos convencionales de transferencia de calor, mientras que en una detonación al aumento de temperatura se debe primordialmente a la onda de choque formada, las condiciones para que exista detonación son más estrictas que la inflamabilidad, siendo los intervalos de detonabilidad menores. La detonación de mezclas de gases combustibles con aire suele requerir un cierto grado de confinamiento. Las presiones alcanzadas en detonaciones son más altas que las causadas por deflagraciones, y sus efectos mucho más destructivos. La inmensa mayoría de las explosiones de mezclas inflamables en la industria son deflagraciones.

INCENDIO

Un incendio es un fuego de grandes proporciones que se desarrolla sin control, el cual puede presentarse de manera instantánea o gradual, pudiendo provocar daños materiales, interrupción de los procesos, pérdida de vidas humanas y afectación al ambiente.

Según la Real Academia Española (RAE), incendio es un fuego grande que destruye lo que no debería quemarse y fuego se define como calor y luz producidos por la combustión por lo tanto la combustión es la reacción química entre el oxígeno y un material oxidable, acompañado de desprendimiento de energía y que habitualmente se manifiesta por incandescencia o llama.

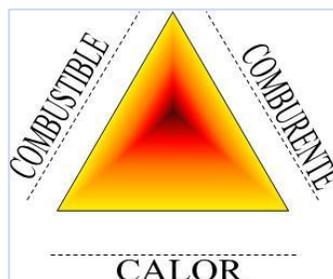
Se denomina combustión a la reacción de oxidación violenta de un combustible en presencia de un comburente cuando se producen unas condiciones de temperatura determinadas denominado “El triángulo de la combustión”.

Combustible: es cualquier material que puede arder, la mayoría de los materiales que conocemos son combustibles.

Comburente: es cualquier sustancia capaz de producir la oxidación de un combustible. Aunque es más habitual es el oxígeno.

Temperatura: la temperatura de ignición dependerá en cada caso de la combinación de combustible y comburente, no pudiendo establecerse pautas fijas para ello.

Figura 2.7.1 A) Triangulo del fuego



Fuente: Guía técnica: Métodos cualitativos para el análisis de riesgos.

Para que exista fuego es necesario que haya llama, y ésta se produce cuando los gases que se desprenden de una combustión comienza a quemarse, produciendo una reacción en cadena



que se mantendrá mientras que exista temperatura suficiente para que el combustible continúe desprendiendo gases. Por lo tanto para que exista un fuego es necesario el combustible, el comburente y la temperatura, también exista una reacción en cadena que permita que los gases de la combustión ardan y eso es lo que se llama “Tetraedro del fuego”.

Figura 2.7.1 B) Tetraedro del fuego



Fuente: grupo7ldf.blogspot.com.

2.7.2 EFECTOS DE INCENDIOS Y EXPLOSIONES

El resultado de un incendio o de una explosión depende de la naturaleza intrínseca del accidente y de las condiciones en que se produce, que pueden acrecentar o mitigar sus efectos. La naturaleza del accidente que finalmente tiene lugar, es función de la sucesión de circunstancias que configuran los elementos del accidente, en este caso un incendio o una explosión.

Existen distintas cadenas de evolución con los resultados finales que cabe esperar: onda de presión, formación de proyectiles o radiación térmica. Así dentro de las explosiones físicas, en el caso de que solo haya fase gas presente, los posibles efectos se reducen a la formación de ondas de choque y en su caso proyectiles, la explosión física inicial puede transformarse en una explosión química o en un incendio flash (es decir, en un proceso cuyos efectos están determinados por la existencia de una reacción química de combustión de la mezcla). Para ello el gas y el aire mezclados forman un intervalo de inflamabilidad y dan lugar a la ignición de la misma. Una explosión de nube de vapor no confinada (UVCE), o un incendio flash (flash-fire). Como efectos finales de la UVCE se han consignado la formación de una onda de presión y, en su caso, de proyectiles, ya que los efectos térmicos, aunque a menudo existen, suelen ser menos importantes que los anteriores.

Cuando en una explosión física están presentes líquido y vapor, la casuística es diferente. En el caso de que el líquido esté por debajo de su temperatura de ebullición en la explosión interviene el material que está en fase de vapor y el que se incorpora durante el breve tiempo que dura el proceso. En estas circunstancias la cadena de evolución es paralela a la del caso anterior. Por el contrario si la temperatura del gas líquido es superior a la de ebullición a la presión de los alrededores, la explosión física inicial que rompe el accidente produce una despresurización súbita, con la que tiene lugar una evaporación masiva del gas licuado. Esto es lo que se conoce como BLEVE (iniciales de Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion), es



decir una explosión en la que participa un líquido hirviente que se incorpora rápidamente al vapor en explosión. Las explosiones BLEVE son de gran poder destructivo por el elevado aumento de presión causado en la súbita incorporación del líquido a la fase de gas. La ignición en un BLEVE de origen a una masa de gases a alta temperatura que se conoce como “bola de fuego”, con importantes efectos de radiación térmica.

Un segundo tipo de explosión considerado, son las explosiones confinadas. Se incluyen las deflagraciones contenidas dentro de recipientes o edificios. El término estructuras de baja resistencia utilizado, hace referencia principalmente a edificios o silos, mientras que se supone que los recipientes de proceso poseen una resistencia mayor. En este caso, si la estructura permite contener o ventear adecuadamente la explosión no hay consecuencias posteriores, mientras que en caso contrario pueden producirse en uno o más de los efectos adversos: ondas de presión, formación de proyectiles y radiación térmica.

Las explosiones e incendios pueden producirse como consecuencia de pérdidas de contención. Tanto si tiene lugar la pérdida de contención de un gas, como de un líquido capaz de evaporarse de manera apreciable o si se produce un escape bifásico, el resultado es la formación de una nube que, tras su ignición, puede dar una UVCE o a un incendio flash. En otros casos, el resultado es la formación de un dardo de fuego (JET-FERE), el incendio del líquido derramado (POOL FIRE), o la dispersión sin mayores consecuencias en el caso de que la ignición no llegue a producirse y el gas no sea tóxico. En el momento en que se produce la ignición tiene gran importancia para determinar el tipo de incidente que finalmente tiene lugar.

2.8 ÍNDICE DE RIESGOS

Los índices de riesgo son métodos de evaluación de peligros semicuantitativos directos y relativamente simples que dan como resultado una clasificación relativa del riesgo asociado a un establecimiento industrial o a partes del mismo. No se utilizan para estimar riesgos individuales, sino que proporcionan valores numéricos que permiten identificar áreas o instalaciones de un establecimiento industrial en las que existe un riesgo potencial y valora su nivel de riesgo. Sobre estas áreas o instalaciones, puede realizarse posteriormente un análisis más detallado del riesgo mediante otros métodos generalizados.

Los métodos desarrollados de mayor difusión a nivel internacional son dos:

1. Índice de Dow de incendio y explosión
2. Índice de Mond

Ambos métodos se basan en la asignación de penalizaciones y/o bonificaciones a las instalaciones de un determinado establecimiento. Las penalizaciones se asignan en función de las sustancias peligrosas presentes y de las condiciones de proceso. Las bonificaciones tienen en cuenta los elementos de seguridad instalados para prevenir los efectos de posibles accidentes. La combinación de ambas lleva a la determinación de un índice de una instalación, pudiendo examinar, a la vista de estos índices, la importancia relativa de las partes estudiadas en función del riesgo asociado con ellas.



2.8.1 ÍNDICE DOW DE INCENDIO Y EXPLOSIÓN

Es un método desarrollado inicialmente por la compañía Dow Chemical en los años 60 con la denominación de Dow's Fire & Explosion Index que se ha ido perfeccionando con los años en ediciones sucesivas incorporando nuevos procesos de análisis.

Esta técnica es un procedimiento de caracterización del riesgo relativo en una unidad de proceso individual que considera la inflamabilidad y reactividad, asignándole a cada uno de ellos un factor material, aunado a las variedades de factores que incluyen características propias de los materiales y la cantidad presente de los mismos, para obtener el grado de riesgo. Esta técnica se aplica en aquellas unidades de proceso donde exista un gran impacto por riesgos de incendio o explosión de acuerdo al material existente, reacciones o procesos peligrosos.

Para esta técnica es necesario un análisis cuidadoso al definir las secciones a estudiar, por considerarlas de mayor impacto o porque contribuyen más al riesgo de incendio o explosión, por tal motivo el proceso deberá dividirse en secciones, tales como: alimentación, almacenamiento, precalentamiento, reacción, absorción, adsorción, purificación, destilación, compresión, etc. O por considerar equipos específicos como: bombas, tanques, compresores, etc. La clasificación de las unidades de proceso se puede usar para especificar mejoras en los sistemas de seguridad o para identificar áreas para una evaluación posterior a mayor detalle.

La información necesaria para aplicar el Índice DOW es la siguiente:

- Plano de localización general de la planta.
- Plano de distribución de equipo.
- Diagrama de flujo de proceso.
- Diagramas de tubería e instrumentación.
- Propiedades físicas, químicas y termoquímicas de todos los materiales utilizados.
- Relación de valores de reposición del equipo en la unidad de proceso.

El método se desarrolla siguiendo una serie de etapas y que se presentan de forma gráfica en la figura inferior. Las etapas son:

- a. Dividir la planta en estudio en unidades de proceso para las que se determina su índice de incendio y explosión, IIE.
- b. Determinar un factor material FM para cada unidad de proceso, basado en el material que se está procesando en la unidad. La lista de factores materiales del Índice DOW varía de 1 a 40 para 300 materiales y explica como determinar el factor para materiales no reportados.
- c. Evaluar los factores de riesgo.

F1: Daños de proceso generales (reacciones, transporte, accesos, etc.).



F2: Daños de procesos especiales /producto peligroso.

Las penalizaciones para cada categoría son conjuntamente adicionadas e incrementadas por el factor base de 1.0 para alcanzar el factor de contribución de daños.

d. Calcular un factor de riesgo, F3, y un factor de daño, FD, para cada unidad de proceso.
 $F3 = F1 \times F2$

e. Determinar los índices de incendio y explosión, IIE, y el área de exposición, AE, para cada unidad de proceso seleccionada.

$$IIE = F3 \times FM$$

El cálculo del índice de incendio y explosión es una medida del daño que puede resultar de un accidente en una unidad de proceso, la cual se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 2.8.1 A) Tabla del Índice Dow de incendio y explosión	
Índice de incendio y explosión Dow	Grado de daño
1-60	Ligero
61-96	Moderado
97-127	Intermedio
128-158	Pesado
≥159	Severo

Fuente: Guía técnica: Métodos cualitativos para el análisis de riesgos.

f. Calcular el valor de sustitución, VS, del equipo en el área de exposición.

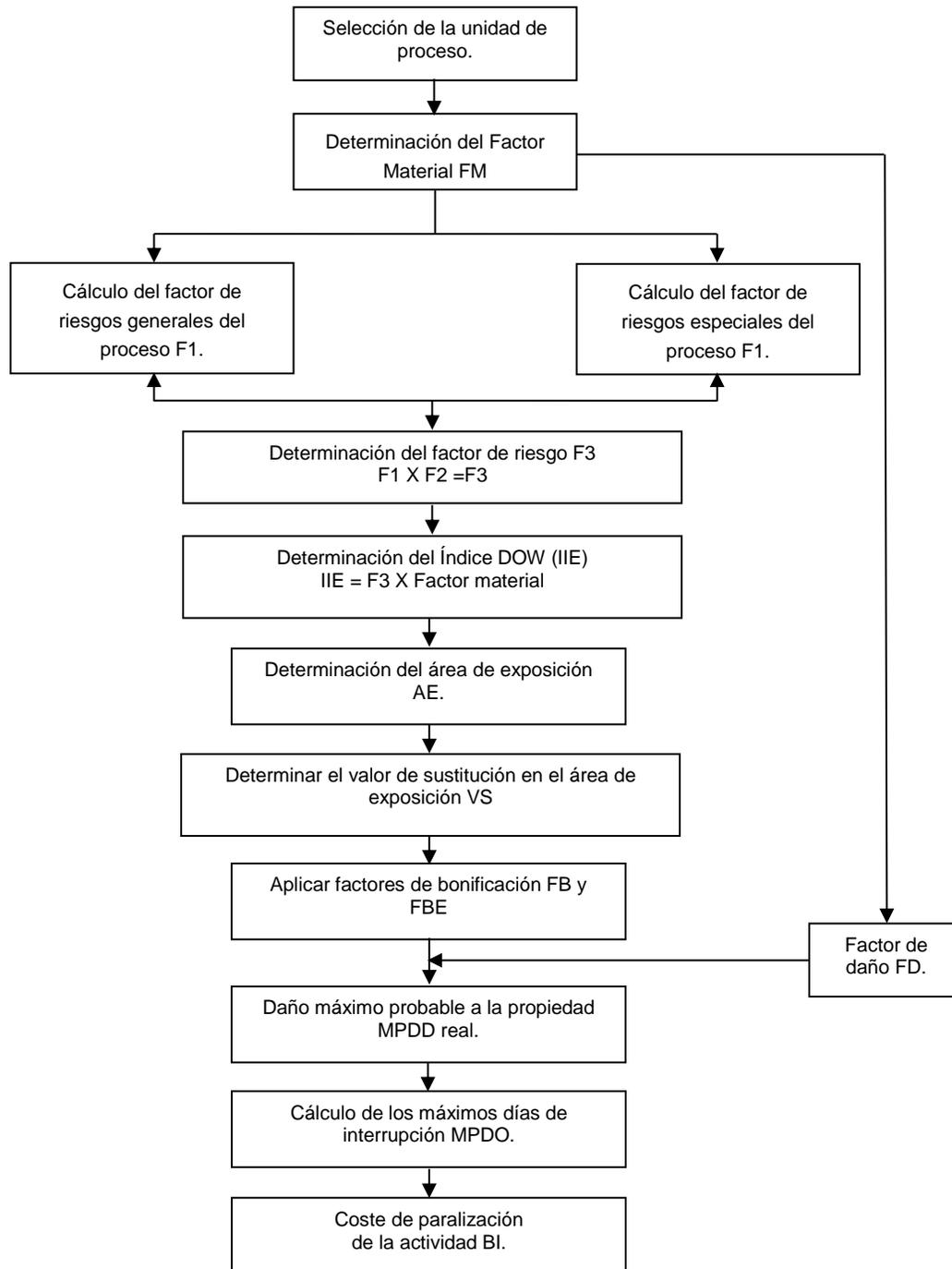
El área de exposición, es el área circular alrededor de la unidad de proceso que puede afectarse adversamente por un accidente. Esta área está relacionada con el índice de incendio y explosión y se determina por medio de una gráfica suministrada por el índice DOW.

g. Calcular el daño máximo probable a la propiedad, MPPD (Maximum probable property damage), tanto básico como real, por consideración de los factores de bonificación, FB y FBE.

Determinar los máximos días de interrupción, MPDO (Maximum probable days outage), y los costes por paralización de la actividad, BI (Business interruption), en estos días.



Figura 2.8.1 A) PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO PARA EL MÉTODO DOW.



Fuente: Procedimiento de cálculo extraído del DOW's Fire & Explosion Hazard Classification Guide. Sexta edición de 1987.



Factor material

Da una idea de la medida de la intensidad de liberación de energía de una sustancia o preparado. Toma valores entre 1 y 40 y existen valores para más de 300 sustancias usadas habitualmente en la industria. También establece la posibilidad de calcularlo a partir de unas determinadas propiedades físico-químicas de la sustancia.

Factores de riesgo

Tienen en cuenta las especiales condiciones del proceso que pueden modificar el riesgo de las instalaciones estudiadas. Hay que tener en cuenta tres tipos de factores de riesgo:

- Factores generales del proceso, F1: reacciones exotérmicas, endotérmicas, transferencias de producto, condiciones de ventilación, etc.
- Factores especiales, F2: toxicidad de las sustancias, considerada como complicación adicional, operaciones a presiones inferiores a la atmosférica, bajas temperaturas, corrosiones, etc.
- Factor de riesgo, F3: calculado a partir de los anteriores $F3 = F1 \cdot F2$.

Índice de incendio y explosión, IIE

Se calcula mediante la siguiente expresión:

$$IIE = FM \cdot F3$$

El método determina según este índice el área de exposición, AE, que representaría o daría una idea de la parte afectada por un incendio o explosión generada en la unidad de proceso estudiada.

Paralelamente, se determinarían las sucesivas variables: valor de sustitución (VS), el factor de daño (FD) y el máximo daño probable a la propiedad (MPDD).

Factores de bonificación

Son aquellos factores que protegen a la instalación mediante medidas de protección, sistemas de emergencia, etc. lo que hace disminuir el máximo daño probable a la propiedad. Los principales factores de bonificación pueden ser:

- i. Controles de proceso: sistemas de refrigeración, control de explosiones, paros de emergencia, energía de emergencia, programas de mantenimiento, etc.
- ii. Aislamiento material: válvulas de control remoto, enclavamientos, depósitos para vertidos de emergencia, cubetos, etc.



- iii. Protección contra el fuego: detectores, protección de estructuras, rociadores, cortinas, tanques de doble pared, sistemas especiales de extinción, etc.

Se calcula el factor de bonificación a partir de estos tres factores anteriores y se obtiene el daño máximo probable real a la propiedad:

$$\text{MPDD (real)} = \text{MPDD} \cdot \text{FBE}$$

A partir de este resultado, se calcula tanto el número de días de interrupción de la actividad, como el coste asociado a la interrupción industrial.

El método Dow se emplea principalmente como procedimiento de clasificación previa en grandes instalaciones o complejos (refinerías, complejos petroquímicos) para identificar las áreas con mayor riesgo potencial a las que se deben aplicar otro tipo de técnicas de identificación y cuantificación de riesgos.

Se requiere de informaciones muy detalladas de la unidad a estudiar: planos, diagramas de flujo, diagramas de tuberías e instrumentación (P&ID), hojas de especificaciones de equipos y principalmente la guía de cálculo correspondiente (la última edición es la séptima del año 1994).

2.8.2 ÍNDICE DE MOND

Método desarrollado inicialmente en la Imperial Chemical Industries PLC (ICI) a partir del índice de Dow. La principal diferencia con el anterior es que el índice de Mond introduce la toxicidad de las sustancias presentes, y este parámetro se introduce como factor independiente, considerando los efectos de las sustancias tóxicas por contacto cutáneo, inhalación o ingestión.

Para su aplicación se recomienda consultar la guía del ICI, teniendo en cuenta que en general es más detallado que el Dow, tiene en cuenta mayor número de parámetros de riesgo y bonificaciones y además facilita una clasificación de unidades en función del riesgo.

Naturalmente, este método se seleccionará siempre que en la instalación se presenten sustancias tóxicas en cantidades apreciables. Este índice permite obtener índices numéricos de riesgos para cada sección de las instalaciones industriales, en función de las características de las sustancias manejadas, de su cantidad, del tipo de proceso y de las condiciones específicas de operación, categorizando el potencial de riesgo de la sección analizada como una función de los parámetros siguientes, esto sin considerar la influencia de los medios de seguridad usados en la instalación.

- Factor del material. Se define como una medida de incendio, explosión o energía potencial liberada por el material de mayor riesgo.
- Riesgos especiales del material. Los aspectos revisados para determinar los riesgos especiales del material tienen por objeto tomar en cuenta las propiedades especiales



del material clave. Los factores de riesgo se asignan en función de las circunstancias de uso del material en la selección analizada y no como si este estuviera aislado.

- Riesgos generales del proceso. Las consideraciones de riesgo involucradas se refieren al tipo de proceso u otras operaciones que se efectúan en la sección seleccionada.
- Riesgos especiales del proceso. Los factores considerados se asignan con respecto a las características de operación del proceso que intensifiquen los riesgos especiales del material y los riesgos generales del proceso.
- Riesgos por cantidad. En este punto se asignan factores de riesgo adicionales relacionados con el uso de grandes cantidades de materiales que sean inflamables, explosivos o tóxicos.
- Riesgos por arreglo de equipo. En este punto los factores de riesgo son asignados con respecto al riesgo ocasionado por la disposición de equipo y tuberías en la sección.
- Riesgos por toxicidad. En este punto se analiza la influencia de la toxicidad de los materiales utilizados en el riesgo global.

Este índice durante su procedimiento cuantifica los siguientes índices de riesgo.

- Índice general de riesgo.
- Índice de riesgo de incendio.
- Índice unitario de toxicidad.
- Índice de toxicidad mayor.
- Índice de explosión interna.
- Índice de explosión externa.
- Índice global de riesgo.

Tabla 2.8.2 A) Categorías de riesgo en función de los intervalos manejados							
Índice de explosión interna (E)		Índice de explosión externa (A)		Índice unitario de toxicidad (U)		Índice de toxicidad mayor (C)	
Índice	Categoría	Índice	Categoría	Índice	Categoría	Índice	Categoría
0 - 1	Ligero	0 - 10	Ligero	0 - 1	Ligero	0 - 20	Ligero
1 - 2.5	Bajo	10 - 30	Bajo	1 - 3	Bajo	20 - 50	Bajo
2.5 - 4	Moderado	30 - 100	Moderado	3 - 6	Moderado	50 - 200	Moderado
4 - 6	Alto	100 - 500	Alto	6 - 10	Alto	200 - 500	Alto
> 6	Muy alto	> 500	Muy alto	> 10	Muy alto	> 500	Muy alto

Fuente: "Estudio de riesgo ambiental para la empresa Janel, s.a. de C.V. planta cintas adhesivas"

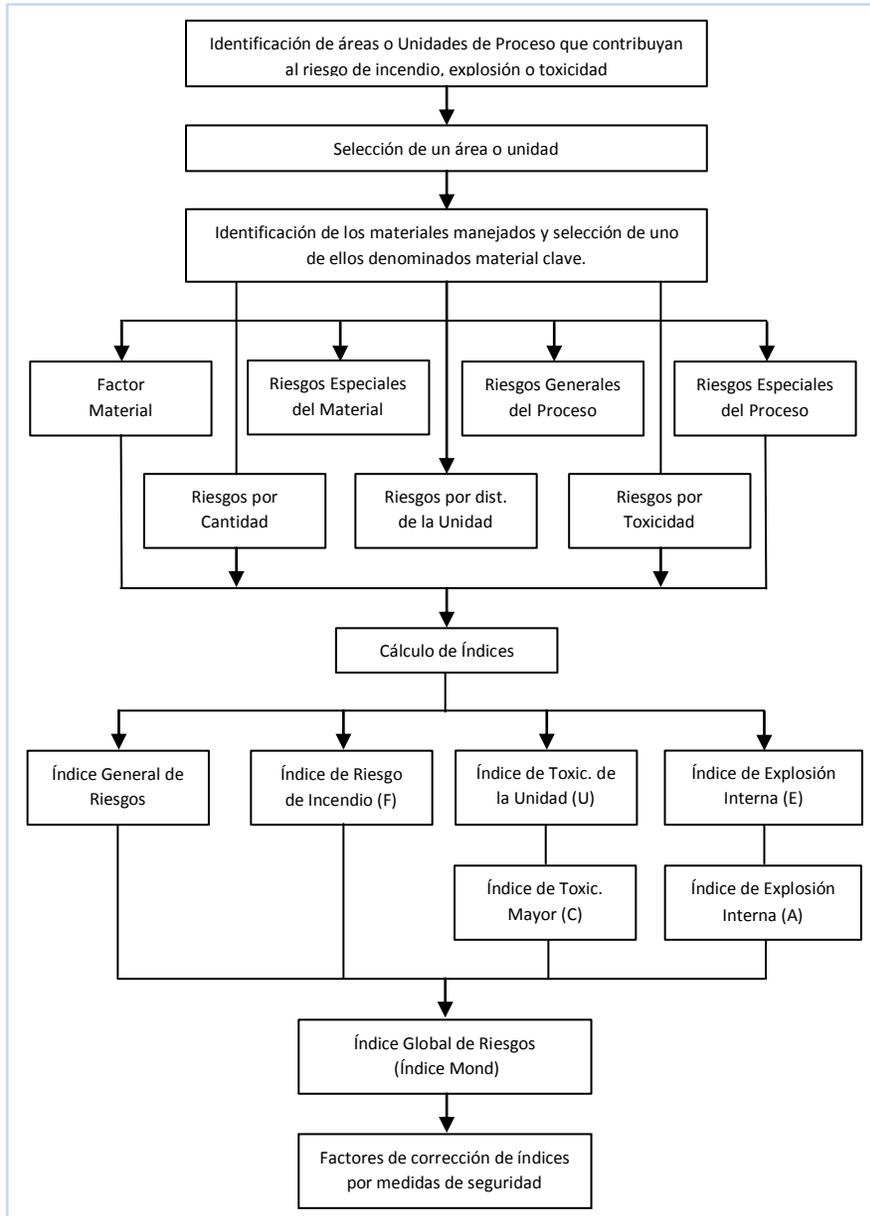


Tabla 2.8.2 B) Categorías de riesgo en función de los intervalos manejados					
Índice general de riesgo (D)		Índice de riesgo de incendio (F)		Índice unitario de toxicidad (R)	
Índice	Categoría	Índice	Categoría	Índice	Categoría
0 - 20	Suave	$0 - 50 \times 10^3$	Ligero	0 - 20	Suave
20 - 40	Ligero	$50 \times 10^3 - 100 \times 10^3$	Bajo	20 - 100	Bajo
40 - 60	Moderado	$100 \times 10^3 - 200 \times 10^3$	Moderado	100 - 500	Moderado
60 - 75	Moderado alto	$200 \times 10^3 - 400 \times 10^3$	Alto	500 - 1,100	Alto (grupo 1)
75 - 90	Alto	$400 \times 10^3 - 1 \times 10^6$	Muy alto	1,100 - 2,500	Alto (grupo 2)
90 - 115	Extremo	$1 \times 10^6 - 2 \times 10^6$	Intenso	2,500 - 12,500	Muy alto
115-150	Muy extremo	$2 \times 10^6 - 5 \times 10^6$	Extremo	12,500 - 65,000	Extremo
150-200	Potencial catastrófico	$5 \times 10^6 - 10 \times 10^6$	Muy extremo	> 65,000	Muy extremo
> 200	Muy catastrófico				

Fuente: "Estudio de riesgo ambiental para la empresa Janel, s.a. de C.V. planta cintas adhesivas"



Figura 2.8.2 A) ÍNDICE DOW



Fuente: "Elaboración de una Metodología para la Aplicación de riesgos en Plantas Petroquímicas y de Refinación"



CAPÍTULO 3

DESCRIPCIÓN DE MODELOS DE SIMULACIÓN



3. DESCRIPCIÓN DE MODELOS DE SIMULACIÓN

Las consecuencias de los eventos pueden estimarse de una manera cuantitativa o cualitativa, o en ambas. Los procedimientos cualitativos a menudo utilizan categorías relativas como son severos, moderados o insignificantes, dependiendo de la severidad del incidente.

A menudo las categorías cualitativas se establecen a partir de una consecuencia esperada. Procedimientos cuantitativos estiman el nivel esperado de severidad en términos del número de muertos, heridos, etc. Los procedimientos semicuantitativos a menudo usan un índice numérico para expresar las consecuencias relativas de un evento (AICHE, 1989 et al., 1989).

El análisis de consecuencias debe contemplar como mínimo:

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

Los efectos esperados de la liberación de sustancias.

3.1 MODELOS DE FUENTE

Los modelos de fuente se utilizan para definir cuantitativamente el escenario producto de liberación de los materiales por medio de la estimación de las tasas de descarga y la evaporación de un derrame líquido.

La mayoría de los incidentes con materiales peligrosos inician con una liberación del material con características tóxicas o inflamables. Esta liberación puede ser producto de la ruptura o fractura de los recipientes, válvula de venteo o válvula abierta. El material fugado puede estar en estado gaseoso, líquido, en dos fases etc. El establecer la fase en la que se encuentra el material liberado es importante ya que afecta la estimación del flujo para el tamaño del orificio considerado.

La fase en la que se encuentra la descarga depende del escenario en que se da la liberación y esta puede determinarse de acuerdo al diagrama de fases del material y del comportamiento de la sustancia en el diagrama durante el tiempo que dure la liberación. El punto inicial dentro del diagrama de fases está dado por las condiciones en que se encuentra el material antes de la liberación, el punto final dentro del diagrama puede estimarse de acuerdo a las condiciones en que se efectúa la liberación; la presión final a la que se encuentra el material liberado será la presión atmosférica.

El proceso de liberación se considera normalmente adiabático y con este criterio se determina la temperatura y composición a la presión atmosférica. Cuando existe un cambio de fase, un flujo bifásico debe considerarse. Un líquido puro se evapora a la temperatura de ebullición, en



cambio una mezcla lo hará en un rango de temperaturas (AICHE, 1989; AICHE, 1995, AICHE, 1996)

En los modelos de fuente o descarga lo primero que se debe determinar es la dimensión del orificio de fuga; para así estimar el tiempo de duración y el comportamiento en el flujo de descarga.

Los modelos de emisión de fuente requieren de una información inicial o básica para poderlos utilizar. Los datos iniciales sobre las características de la fuente son los siguientes:

Propiedades físicas y químicas del material. Es indispensable conocer la composición química del líquido y/o gas liberado, y establecer las propiedades; dentro de estas se incluyen al peso molecular, densidad, conductividad y punto de ebullición. Las propiedades dependientes de la temperatura como son presión de vapor, capacidad calorífica, calor de vaporización y tensión superficial, también pueden determinarse. Cuando el material liberado es una mezcla, las propiedades de cada componente deben determinarse.

Geometría del recipiente. La tasa de liberación está relacionada con la geometría de la fuente, esto incluye a las dimensiones del tanque y las características del orificio de fuga. Estos parámetros permiten estimar la cantidad liberada y el tipo de fuga (instantánea o continua). Así mismo la posición relativa del orificio con respecto al nivel del líquido (y su volatilidad) determinara cuando una liberación es exclusivamente gaseosa o, de gas y líquido.

Características del suelo. Las liberaciones de materiales en fase líquida o con características de gas denso que están en contacto con la superficie del terreno, intercambian calor, humedad e interaccionan con el suelo, por lo cual es importante conocer no solo las características topográficas sino también el calor específico del suelo, contenido de humedad y porosidad; de tal manera que sea posible evaluar la tasa de emisión por evaporación.

Variación en el tiempo. Las concentraciones máximas pronosticadas para un tiempo promedio, T_p , es probable que sean proporcionales a la tasa máxima de emisión para este periodo de tiempo; por lo que conocer como varía la tasa de emisión con respecto al tiempo es de utilidad. En algunos casos la tasa de emisión puede variar debido al cierre de alguna válvula u otro dispositivo; así mismo debe ponerse atención en que la tasa de flujo en recipientes presurizados o de líquido decrece con respecto al tiempo.

Presencia de gas y aerosol en el chorro de salida. La presencia en el momento de la fuga de gases y aerosoles debe establecerse. Además, los líquidos que no se evaporan de manera instantánea pueden no estar en forma de aerosol y forma una charca en el suelo.

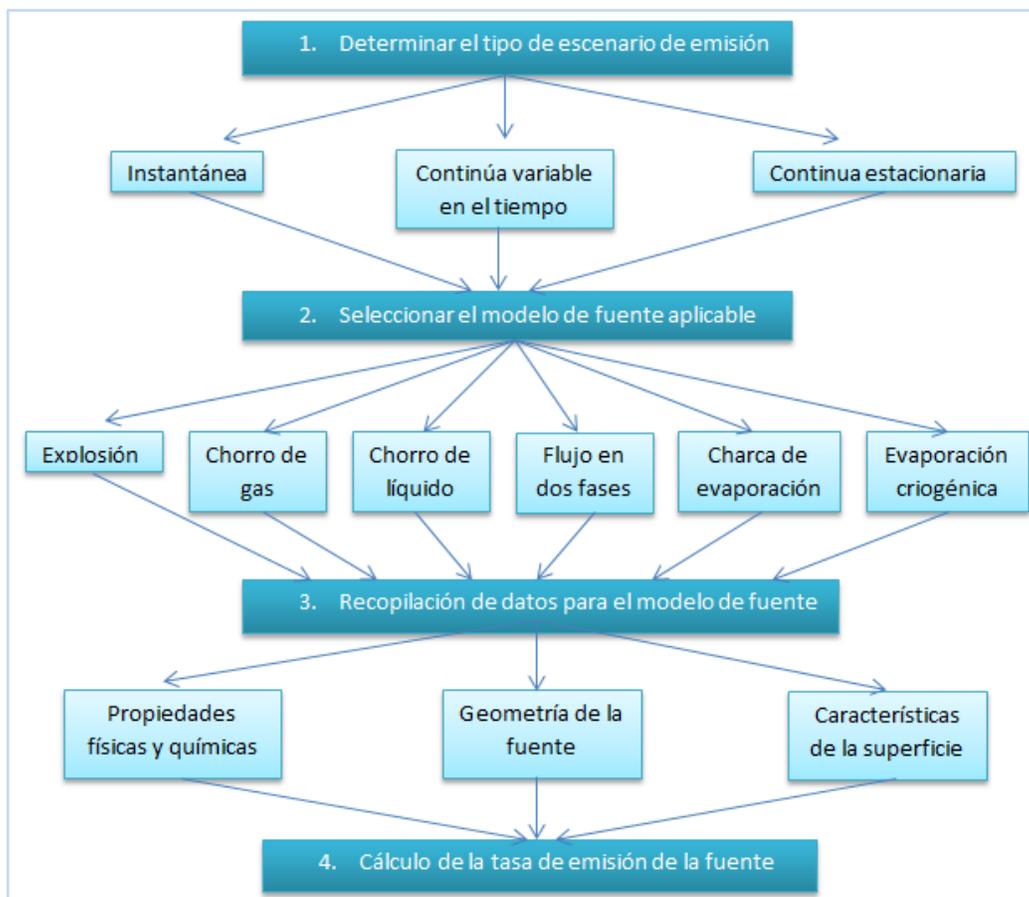
La simulación del comportamiento en la fuente debido a una liberación accidental de materiales peligrosos es tal vez la operación más crítica para una adecuada estimación de las concentraciones viento abajo. Las unidades utilizadas para definir la tasa de emisión son unidades de masa por tiempo (por ejemplo kg/s), también puede utilizarse unidades de masa por superficie por tiempo para la evaporación de un charco; así como expresar la emisión en unidades de masa cuando se considera que la liberación es instantánea.

Las liberaciones accidentales de materiales peligrosos pueden ser de diferentes tipos, por ejemplo gas o líquido, liberación instantánea o continua, material refrigerado o presurizado, en

suelo, en agua, etc.; en muchos casos pueden ser una combinación de los anteriores. Para la estimación de la tasa de emisión se requieren de manera simplificada los siguientes pasos:

- Determinar la dependencia con respecto al tiempo de la emisión.
- Seleccionar el modelo de acuerdo al tipo de fenómeno: evaporación en charca, flujo en dos fases, etc.
- Determinar los datos necesarios sobre propiedades físicas, químicas, de geometría de la fuente y sobre la superficie del terreno donde se localiza la fuga, requeridos por el modelo seleccionado.
- Estimar la tasa de emisión.

Figura 3.1 A) Estimación de tasa de emisión (AICHE, 1994)



Fuente: AICHE, 1994

Las liberaciones accidentales pueden agruparse en tres clases de acuerdo a su duración: instantáneas, continuas con variaciones con respecto al tiempo, continuas estacionarias o casi invariables con respecto al tiempo. El conocer qué tipo de fenómeno se presenta permite seleccionar entre las diferentes técnicas de modelación en la estimación de tasas de liberación. La selección del modelo de emisión depende del tipo de escenario en el que sucede la liberación, del material liberado y de sus propiedades. Los accidentes en tanque normalmente



involucran liberaciones de tipo continuo con variación en el tiempo que pueden requerir de modelos de emisión para chorro de gas, chorro de líquido o para emisión de dos fases. La evaporación en charcas de líquidos comúnmente presenta emisiones continuas que varían con el tiempo, debido a la variación temporal en los balances de masa y calor entre la superficie y el material en la charca. Para tasa de evaporación pequeñas y un área de la charca aproximadamente constante, un modelo para evaporación de charca líquida de tipo continuo estacionario puede ser el apropiado.

Cada tipo de modelo de emisión requiere de información de entrada para poder estimar la tasa de emisión, las cuales pueden agruparse en tres clases: propiedades físicas y químicas, geometría de la fuente y características del terreno.

3.1.1 LIBERACIONES DE TIPO CHORRO DE GAS

La liberación de tipo chorro de gas son ocasionadas por pequeños orificios en, por ejemplo recipientes con gas a presión, o cuando este orificio se localiza en el espacio que contiene vapor de un recipiente con un líquido volátil a presión. En este tipo de liberación puede esperarse que presente inicialmente una elevada tasa de emisión y ésta disminuya a medida que la presión en el recipiente disminuya. Cuando la liberación es un producto de un orificio pequeño el gas es liberado a una velocidad próxima o igual a la velocidad del sonido; cuando esta velocidad, se alcanza se denomina flujo crítico. Las ecuaciones para determinar la tasa de emisión de liberación tipo chorro de gas ideal son conocidas, así mismo la ecuación que define la ocurrencia de un flujo crítico para un gas ideal cuando es liberado a través de un orificio pequeño. También se han desarrollado ecuaciones para calcular la tasa de emisión cuando: un gas presenta un flujo crítico en condiciones isotrópicas, cuando la presión en el recipiente disminuye con respecto al tiempo y la liberación del material ocurre de manera isotrópica o adiabática. Para un orificio en el espacio con vapor en un recipiente con líquido presurizado o criogénico, el gas liberado se suministra continuamente por la evaporación del líquido en el tanque, y puede modelarse considerando condiciones isotrópicas (AIChE, 1996).

3.1.2 LIBERACIONES DE TIPO DE CHORRO DE LÍQUIDO

En liberaciones de material debida a un orificio localizado en la parte que contiene líquido en un recipiente con líquido criogénico o presurizado, el chorro es impulsado hacia el exterior del recipiente y dependiendo del punto de ebullición del material, una fracción del chorro líquido puro en un recipiente dependa de la presión en el interior de este y de la columna de líquido en el orificio, en este caso la ecuación utilizada para calcular el flujo a través de un orificio está basada en las ecuaciones de Bernoulli y Torricelli (AIChE, 1989, 1996).

3.1.3 LIBERACIONES DE TIPO CHORRO DE DOS FASES

La tasa de emisión cuando se presenta un chorro en dos fases se encuentra ubicada entre la de un gas y la de un líquido. Cuando un material se libera una fracción líquida que puede evaporarse instantáneamente, y esto dependerá del punto normal de ebullición. La evaporación instantánea es normalmente significativa en líquidos presurizados que presentan puntos de



ebullición por debajo de la temperatura ambiente. Asimismo, una maneja de determinar la cantidad de material evaporado instantáneamente, es considerar que el proceso de evaporación es tan rápido que puede considerarse adiabático, por lo cual el calor de evaporación es proporcionado por la entalpia del líquido liberado. En mezclas de dos o más sustancias el proceso de evaporación instantánea es más complicado y requiere que se realicen iteraciones y conocer el comportamiento de la mezcla en equilibrio entre fases vapor-líquido (AICHE, 1989).

3.1.4 CHARCAS DE LÍQUIDO

En los casos de liberaciones en forma de chorro de gas, chorro líquido o en dos fases pueden describirse como liberaciones continuas variables en el tiempo, donde esta variación es normalmente una disminución en el flujo. Este tipo de liberaciones resultado de un orificio en un tanque o puede resultar en la formación de una charca de líquido, de la cual se busca estimar la cantidad que se evapora. Un incremento en el área de la charca aumenta la tasa de emisión de manera aproximadamente lineal, así el aumento en función del tiempo en las dimensiones de la charca aumentara la emisión. Se han desarrollado ecuaciones para estimar el aumento en las dimensiones de la charca formada en función del tiempo para suelo y agua, las cuales pueden emplearse en la estimación de la tasa de emisión (AICHE, 1996).

Cuando sucede un incidente con material criogénico (por ejemplo: cloro), en donde el material presenta un punto de ebullición inferior a la temperatura ambiente, el líquido puede escurrir rápidamente a la tierra o superficie y formar una charca de líquido a baja temperatura, los vapores emitidos resultan en una nube de gas denso y frío que cubre la charca. La tasa de evaporación de un líquido criogénico depende casi por completo del balance de calor de la charca. Cualquier cantidad de calor que se transmita a la charca se utilizará para la evaporación del material, y la tasa de evaporación dependerá de la tasa de transferencia de calor y del calor de evaporación de líquido (AICHE, 1996).

Para charcas de líquidos que presentan un punto de ebullición superior a la temperatura del ambiente, la tasa de evaporación puede estar controlada por variables meteorológicas (como la velocidad del viento) o por difusión en la capa líquida. En ambos casos, la temperatura del líquido es una variable importante para determinar la tasa de evaporación de líquidos que no están en ebullición. De esta manera el balance de calor es importante en este caso como la es para el caso de charcas con líquido en ebullición (AICHE, 1996).

En el balance de calor de una charca la fuente primaria e inicial de calor proporcionado es el suelo, la convección del aire, la energía solar incidente, la pérdida de calor por evaporación, y la transferencia por radiación del aire complementan el balance de líquido. Ya que la masa líquida varia con el tiempo las ecuaciones que expresan el balance de energía deben expresarse con exactitud para determinar los cambios en la temperatura y la tasa de evaporación. Las ecuaciones empleadas para expresar la transferencia de calor para conducción, convección, radiación solar y radiación, se basan en las ecuaciones y consideraciones conocidas de la transferencia de calor. Normalmente los modelos empleados para derrames asumen que la temperatura en la charca es uniforme vertical, lo cual no es completamente apropiado para charcas grandes y profundas (AICHE, 1996).



Para derrames de líquidos criogénicos la fuente primaria de calor para la evaporación es la conducción a través del suelo. La temperatura de esta charca disminuye rápidamente y permanece cercana al punto de ebullición, y la posterior evaporación del líquido depende de calor por conducción. En este proceso es posible que se forme hielo en el suelo del fondo de la charca debido a la humedad, lo que disminuiría la conducción del calor y por lo tanto la tasa de evaporación.

En el caso de derrames de líquidos que presentan una temperatura de ebullición superior a la ambiente la charca formada en el suelo se evapora lentamente a una tasa que dependerá de la presión de vapor del líquido, la superficie de la charca y de las condiciones atmosféricas. En este caso en que la evaporación es lenta la mayoría de los modelos de simulación asumen que la evaporación está limitada por la transferencia de masa entre la fase líquida y la gaseosa. En la fase inicial para derrames grandes o para charcas de líquido realmente profundas, la difusión a través del líquido puede ser el factor limitante en compuestos que posean una presión de vapor relativamente alta. Para compuestos muy volátiles y una capa de líquido gruesa o viscosa, la tasa de evaporación puede estar limitada por la rapidez con la cual el líquido se difunde hacia la capa superficial de la charca.

Para charcas con líquidos formados por más de un componente, las ecuaciones básicas empleadas para determinar la tasa de evaporación para un componente son aplicadas modificándolas para incorporar a los diferentes componentes de acuerdo a su fracción mol.

Las condiciones en que se da una liberación a semejanza de las condiciones meteorológicas pueden ser muy variables y deben conocerse lo mejor posible para un adecuado aprovechamiento de los modelos. Es así que cualquier impresión en la fuente de emisión influye en las subsiguientes estimaciones de la evaporación y dispersión en el aire del material. Existen tres causas básicas de imprecisiones en la emisión de la fuente:

- Errores en la definición sobre el tipo de fuente.
- Imprecisiones en la estimación de los parámetros de entrada de acuerdo al modelo empleado.
- La impresión inherente al propio modelo.

Al jerarquizar las técnicas para la estimación de las emisiones iniciando las que poseen un grado de precisión mayor se tiene:

- Un chorro de líquido.
- Corro de gas.
- Evaporación en charca de líquido (un solo componente).
- Derrame de líquido criogénico.
- Evaporación de charca de líquido (más de un componente).
- Dos fases (un solo componente).



3.2 MODELOS DE DISPERSIÓN

Los modelos de dispersión tratan los aspectos de transporte y de dispersión de un material una vez que se ha liberado a la atmósfera. Estos modelos se estiman los siguientes valores (AICHE, 1989; 1996):

- Distancias para niveles de concentración a nivel del suelo
- Contornos o áreas donde se presentan diferentes concentraciones de interés.
- Masa de material inflamable dentro de ciertas concentraciones de interés.

En estos modelos las concentraciones están definidas para un tiempo promedio. Existen tres tipos de comportamiento de las nubes de material y tres de acuerdo al tiempo de liberación.

Tabla 3.2 A) Tipos de nubes debidas a liberación de materiales a la atmósfera	
Comportamiento de la nube	Duración de la liberación
Gas neutralmente flotante	Liberación instantánea (puff)
Gas positivamente flotante	Liberación continua (pluma)
Gas denso	Liberación continua variable con el tiempo

Fuente: AICHE, 1989; 1996

Los modelos de dispersión gaussiana describen de manera aproximada el comportamiento de una nube de vapor (material) a diferentes distancias viento abajo del punto de liberación. En el estudio del comportamiento de las liberaciones continuas (plumas) e instantáneas (puff) de materiales se han empleado los modelos gaussianos. Los gases densos presentan un comportamiento combinado de gas denso y dispersión gaussiana con una elevación de la pluma al inicio debido al momentum, seguida por una curva miento de la pluma y caída debido a los efectos de la densidad del gas.

Las condiciones meteorológicas en el momento de la liberación tienen una influencia determinante en la extensión de la dispersión. De las condiciones meteorológicas los factores principales son la velocidad del viento y la estabilidad atmosférica. La velocidad del viento puede ocasionar una dilución de los vapores; y una condición estable (estabilidad atmosférica) provoca un menor mezclado. La velocidad del viento y la estabilidad atmosférica puede obtenerse de registros meteorológicos, cuando no se tiene información sobre la estabilidad puede utilizarse la tabla de Pasquill que permite establecerla a partir de una estimación de la intensidad solar y de la velocidad del viento. Cuando no se tienen datos meteorológicos de un sitio, se utilizan típicamente para la evaluación de la dispersión, una estabilidad D y una velocidad de 5 m/s que corresponde a un día soleado, y una estabilidad con velocidad del viento de 2 m/s para una noche tranquila. La velocidad del viento varía en magnitud y dirección debido a la topografía del terreno; además los datos proporcionados por estaciones meteorológicas normalmente reportan la velocidad a una altura de 10 metros por lo cual debe de corregirse de acuerdo a la altura de la fuente.



3.2.1 MODELOS DE PLUMAS DE GASES

Los modelos aplicados para la simulación de la dispersión de gases neutralmente o positivamente flotantes, así como los modelos aplicados a liberaciones instantáneas se utilizan para predecir la concentración de materiales inflamables o tóxicos en intervalos de tiempo. Estos modelos están basados en los conceptos de dispersión gaussiana, en los cuales la difusión en la atmosfera es un proceso de mezclado aleatorio que sigue el comportamiento en los ejes horizontal y vertical de una distribución gaussiana. Estos modelos pueden aplicarse a liberaciones pequeñas de gas denso en la cual la fase densa en el proceso de dispersión es relativamente menor comparada con la fase neutralmente flotante; normalmente no se aplican estos modelos a liberaciones mayores de gas denso.

Las ecuaciones utilizadas en los modelos de dispersión gaussiana incluyen coeficientes de dispersión en los ejes horizontal y vertical, los cuales poseen diferentes valores cuando la modelación se aplica a plumas continuas o liberaciones instantáneas (puff). Los modelos de dispersión proporcionan como resultados concentraciones de acuerdo al tiempo para localizaciones viento abajo del lugar de la liberación. En nubes de material toxico o inflamable puede obtenerse para una concentración determinada una isopleth, que normalmente tiene elíptica. Los resultados comúnmente se limitan a una distancia de la fuente de 100 metros a 10 km. Para los modelos de liberación instantánea existe solo una concentración para cada punto en un tiempo determinado.

3.2.2 MODELOS PARA DISPERSIÓN DE GAS DENSO

La diferencia en la forma de dispersión de una nube de gas denso con respecto a otras es que la nube de gas denso en su trayectoria presenta una curvatura hacia abajo o hundimiento, una vez que el momentum deja de dominar el movimiento de la nube y la densidad del gas con respecto a la del aire obliga a este comportamiento. El mecanismo de dispersión de un gas denso difiere notablemente del que presenta una nube neutralmente flotante, esto se debe principalmente a una mayor densidad del gas con respecto a la densidad del aire. Las diferencias en el mecanismo de dispersión incluyen:

- Aceleración inicial y dilución.
- Dominio de una flotabilidad negativa.
- Dominio de la turbulencia ambiental negativa.

Existen varios tipos de modelos para simular la dispersión de un gas denso cuando la fuente de emisión está elevada con respecto al nivel del suelo; en los incidentes que ocurren en el transporte terrestre la fuente está próxima al suelo y por lo tanto los modelos empleados para fuentes elevadas no resultan satisfactorios. Cuando se analizan liberaciones a nivel del suelo de un gas denso, el número de Richardson es un criterio que se utiliza en ocasiones; este número representa la energía potencial debido al exceso de densidad dentro de la nube densa y la energía cinética debida a la turbulencia del ambiente. Si el número de Richardson es menor a 50 (sugeridos por experimentos en laboratorio), el movimiento de la nube ésta denominado por la turbulencia del ambiente y el efecto del gas denso posee poca importancia. Para decidir cuándo un gas denso debe considerarse como una liberación continua o



instantánea es necesario comparar la duración de la liberación, T_d , con el tiempo necesario para viajar de la fuente a la posición del receptor, x/u . si se supone que la velocidad del viento es constante, entonces cuando T_d es mayor a x/u la nube es considerada continua; cuando T_d es menor a x/u la nube es considerada instantánea; cuando estos valores son aproximadamente iguales es recomendable tratar la liberación de las dos maneras.

En muchos accidentes, especialmente cuando la liberación es un material presurizado, la nube de vapor se libera en forma de chorro con un significativo momentum inicial, en contrate existen otras liberaciones las cuales se localizan cercanas al nivel del suelo y poseen un bajo momentum. Cuando el momentum es alto la trayectoria inicial de la nube es denominada por la velocidad del chorro, lo cual debe ser tomada en cuenta en la simulación y utilizar modelos en donde el momentum es dominante. En las liberaciones donde esta característica es baja no pueden utilizarse los modelos anteriores y deberán emplearse otros como es el conocido por modelo de caja y considerar la formación de aerosoles para determinar cuál modelo puede ser el más apropiado.

Cuando se realiza la simulación de una liberación es normal identificar los peores escenarios probables que tienen gran influencia en las estrategias de mitigación y control. El peor caso se define con respecto a la máxima concentración a nivel del suelo para los receptores. Para liberaciones continuas cercanas al nivel del suelo de gases (por ejemplo para gases neutralmente flotantes) o gases densos en los cuales no existe un etapa de hundimiento de la pluma de emisión, el peor caso está asociado con condiciones estables y velocidades de viento pequeñas, para la cual la dispersión y dilución son menores. Para una liberación instantánea o de corta duración de un gas denso cercana al suelo las condiciones para el peor caso son posiblemente las asociadas con velocidades de viento moderadas. En liberaciones de corta duración en los cuales los vientos son ligeros, existe un retardo en la advección en dirección viento abajo, por lo contrario cuando los vientos son intensos, la nube de gas denso no se extiende lateralmente en las proximidades de la fuente pero la advección se da viento abajo con menor dilución.

3.3 MODELOS PARA EXPLOSIÓN E INCENDIO

Como resultado de una liberación pueden tener gases inflamables o líquidos los cuales podrían incendiarse o hacerse explosión. Un incidente con materiales peligrosos puede tener como resultado:

- Explosión de nube de vapor no confinada (UVCE).
- Explosión por expansión de líquido en ebullición (BLEVE).
- Explosión.
- Explosión confinada.
- Bola de fuego (fireball).
- Charca de fuego (poolfire).
- Fuego tipo chorro (jet fire).
- Fuego instantáneo (flas fire).



Las explosiones de nube de vapor no confiada pueden definirse como explosión en exteriores, que producen un daño debido a ondas de sobrepresión. Las condiciones necesarias para que suceda una explosión de nube de vapor son:

- El material liberado debe ser inflamable y en condiciones apropiadas de temperatura y presión.
- Previamente a la ignición la nube debe tener un tamaño suficiente.
- Una porción suficiente de la nube debe estar dentro del rango de inflamabilidad del material.
- La velocidad de propagación de la flama en la nube debe ser la apropiada.

El mecanismo para la propagación de la flama en la mezcla de combustible y aire está determinado por la conducción y difusión molecular del calor. El calor se produce en la zona de la reacción debido a una reacción química; el calor transmite principalmente por conducción y por difusión molecular. La difusión molecular es un proceso relativamente lento, la propagación de la flama de forma laminar es lenta, sin embargo la velocidad de propagación aumenta debido a la turbulencia y a las inestabilidades en la combustión. En una mezcla que presenta alta turbulencia la combustión tiene lugar en una zona extensa en la cual los productos de combustión y la mezcla que no ha reaccionado están intensamente mezclados. Asimismo, las altas velocidades de propagación están relacionadas con una alta turbulencia. Existen dos modalidades de combustión: la deflagración y la detonación, las cuales difieren en sus mecanismos de propagación. En una deflagración la reacción de combustión se propaga debido a un transporte difusivo del calor y a un mezclado turbulento de reactantes y productos de combustión. En una detonación la reacción se propaga por una fuerte onda de choque que comprime la mezcla más allá de la temperatura de auto ignición. En la deflagración las tasas de propagación en el material sin reaccionar es menor a la velocidad del sonido, en la detonación las velocidades de propagación son superiores a la velocidad del sonido.

Una nube de vapor inflamable puede, de acuerdo a las condiciones en que se encuentra la mezcla en el momento de ignición, ocasionar una charca de fuego, un fuego tipo chorro, fuego instantáneo o una bola de fuego. Cuando sucede lo anterior el calor es transmitido a los alrededores por convección y radiación térmica. Para describir la radiación del fuego se emplean dos métodos principalmente:

- Modelo de fuente puntual:

En este modelo se considera que una fracción del calor de combustión se emite como radiación en todas direcciones. El modelo se asume que la superficie de receptor dirigida hacia la fuente de radiación recibe el máximo flujo de radiación. La fracción de energía debida a la combustión, que es emitida como radiación térmica depende del combustible y de las dimensiones de la flama, asimismo la tasa de combustión depende de la liberación. Se han obtenido medidas de la fracción de energía emitida para diferentes materiales y tipos de resultados (charca de fuego, bola de fuego, etc.). Sin embargo, los modelos de fuente puntual son imprecisos para receptores próximos a la fuente.



- Modelo de flama sólida:

Este modelo considera que el fuego puede representarse como un cuerpo sólido de contorno geométrico simple y que toda la radiación térmica la emite la superficie. Para evitar que el volumen del fuego sea subestimado, la geometría del fuego y del cuerpo receptor, así como las posiciones relativas se debe considerar, ya que una porción del fuego puede ser obstruida por el cuerpo receptor y de la distancia entre estos. En este modelo se requiere calcular el poder emisor, que es el poder o potencia total de radiación que abandona la superficie del fuego por unidad de área y por unidad de tiempo; la emisividad se calcula determinando la absorción de la radiación de los productos de combustión en las flamas y la longitud de onda de la radiación, así como de la transmisividad que es la de absorción de la radiación por el medio presente entre el emisor y el receptor.

3.3.1 MODELOS BASADOS EN LA DETONACIÓN DE TNT

Estos modelos se basan en relacionar un peso equivalente de TNT con los patrones de daños provocados por una explosión de nube de vapor. Los modelos basados en la explosión de TNT tienen como propósito el cuantificar el potencial poder explosivo de un material y establecer los efectos dañinos potenciales para una determinada cantidad de material. En estos modelos la energía de combustión disponible de la nube de vapor se convierte en un peso equivalente de TNT; así, cuando se conoce el peso equivalente de TNT las características de la detonación, expresada como onda de sobrepresión, puede obtenerse para diferentes distancias del lugar de la explosión. La equivalencia de TNT para un material puede interpretarse como factor de conversión que expresa la eficiencia del proceso de conversión de la energía química (calor de combustión) en energía mecánica (explosión). Para una detonación estequiometría de una mezcla aire-hidrocarburo la eficiencia máxima teórica de la conversión del calor de combustión es de aproximadamente 40%. Para la mayoría de los incidentes de explosión de nube de vapor equivalencias de TNT se han deducido que han estado en un intervalo de 1 a 10%, basadas en el calor de combustión de la cantidad total de material liberado. Aparentemente solo una parte de la energía de combustión disponible está involucrada en una combustión explosiva.

Los modelos basados en el equivalente de TNT para la predicción de explosiones de nube de vapor se han desarrollado ampliamente, entre las diferencias existentes destacan:

- La fracción de material combustible:

Existen diferentes valores para la fracción de material combustible que debe considerarse en los cálculos: cantidad total liberada, cantidad evaporada instantáneamente y la cantidad evaporada instantáneamente modificada por un factor de automatización.

- El valor del equivalente de TNT:

Pueden emplearse valores basados en promedios deducidos de la observación de accidentes mayores; o un valor o conservativo.

- Los datos utilizados sobre la explosión de TNT:



Se ha observado que existe una dispersión significativa en los datos obtenidos para diferentes experimentos, por lo cual esto debe considerarse.

- La energía de la explosión de TNT:

Los valores comúnmente utilizados se encuentran en un rango de 1800 a 2000 BTU/lb (4.19 a 4.65 HJ/Kg).

3.3.2 MODELOS NO BASADOS EN LA DETONACIÓN DE TNT

Las ondas de choque proporcionadas por el modelo de explosión de TNT no corresponden adecuadamente con las observadas en la explosión de un gas, por lo cual se han desarrollado otros modelos que buscan una determinación más satisfactoria de las características de las ondas de choque. Estos modelos buscan una mejor interpretación de las explosiones de gases no incluidos en los métodos de TNT equivalente, e incluyen el que la fuente de las ondas de sobrepresión no es un punto, y que la fuerza de estas ondas de acuerdo a la extensión de la fuente de las ondas.

El modelo de TNT considera a la nube de vapor que explota como un todo, el concepto de multienergía define a la explosión de una nube de vapor como un número de subexplosiones que corresponden con varias fuentes de ondas de choque en la nube. El método de multienergía considera que los efectos de las ondas están determinados por el tamaño y naturaleza de las regiones dentro de la nube parcialmente confinada u obstaculizadas; este modelo divide la nube de vapor en volúmenes de acuerdo al grado de obstrucción y/o confinamiento, a los cuales se les asigna un índice de fuerza (intensidad) que varía de 1 a 10; el valor de 1 representa a una explosión débil y el valor de 10 a una detonación. Estos volúmenes confinados y/o obstaculizados serán las fuentes mayores de ondas de choque. Las partes no confinadas o no obstaculizadas no contribuirán significativamente a las ondas de choque, cada volumen en que se ha dividido la nube se modela como una carga de aire-combustible hemisférica y estequiometría, y se le asigna una fuerza (intensidad) de explosión. El trazo de gráficas que representan los niveles de sobrepresión y duración de la explosión como función de la distancia y de la fuerza de explosión permite predecir los efectos de las ondas de choque.

Existen otros modelos como son los que incluyen el método de Baker-Strehlow o el desarrollado por el Comité para la Prevención de Desastres (incluido en el Yellow Book, publicado en 1979) que se basan en resultados experimentales y ofrecen interpretaciones de cómo se desarrollan las ondas de choque.

El método de Baker-Strehlow para modelar una explosión de nube de vapor utiliza datos numéricos y experimentales relacionando la estructura de las ondas de choque generadas con la velocidad constante y la propagación en la aceleración de las flamas en una geometría esférica. Los datos se expresan como gráficas de sobrepresión e impulso positivo como función de la energía y de la distancia al centro de la nube. La aplicación de este método requiere se estime la velocidad máxima alcanzada por la flama, es una función del confinamiento, los obstáculos, la reactividad del combustible y la intensidad de la ignición. La



explosiva liberada por cada porción de la nube que contribuye a la onda de choque se puede calcular por diferentes métodos que son:

- Estimar el volumen de cada región congestionada, multiplicando la masa de combustible en esa región y tratando cada región congestionada dentro de la porción inflamable de la nube como una fuente separada de ondas de choque.
- Estimar la cantidad total del material liberado en un periodo de tiempo razonable y multiplicar por el calor de combustión y un factor de eficiencia.
- Estimar la cantidad de material dentro de los límites de inflamabilidad (generalmente por medio de modelos de dispersión) y multiplicarlo por el calor de combustión.

Cuando se ha calculado la energía se debe multiplicar por un factor de reflexión del suelo; este factor es normalmente 2 para nube de vapor que está en contacto con el suelo, si la liberación es elevada la nube no se dispersa de suelo y se debe seleccionar un factor entre 1 y 2.

3.3.3 EXPLOSIÓN POR EXPANSIÓN DE VAPOR DE LÍQUIDO EN EBULLICIÓN (BLEVE) Y BOLA DE FUEGO

Un BLEVE es una liberación súbita a la atmosfera de una gran masa de líquido presurizado sobrecalentado. La causa que origina al BLEVE es normalmente una flama externa que incide sobre la pared del recipiente debajo de nivel del líquido, debilitando la pared y provocando la ruptura de un recipiente que permite al líquido sobrecalentado el evaporarse instantáneamente, incrementando su volumen en aproximadamente 200 veces, ocasionando una onda de choque y la proyección de fragmentos del recipiente. Si el líquido liberado es inflamable puede resultar una bola de fuego instantáneo (flash fire) o una explosión de nube de vapor. En los incidentes que involucran un BLEVE, ya sea que el material sea inflamable o no, los efectos de la presión y la proyección de fragmentos deben determinarse. Los efectos debidos a la presión son comúnmente limitados, pero debe considerarse el efecto dominó que puede provocar en recipientes adyacentes. Existen diferentes teorías que buscan explicar el mecanismo de las BLEVES's, sin embargo, no existe una que explique por completo el fenómeno, la teoría más aceptada es la Reid que se basa en el comportamiento de líquidos sobrecalentados. En los incidentes de tienen como resultado un BLEVE se debe determinar las ondas de sobrepresión, proyección de fragmentos, así como la intensidad de la radiación térmica (cuando se trata de materiales inflamables).

Existen diferentes modelos desarrollados para determinar el diámetro de la bola de fuego y la duración de la combustión, así como modelos para la radiación emitida, basados en conceptos teóricos y resultados experimentales.

La radiación de una bola de fuego puede establecerse de acuerdo al diámetro (como función del tiempo o de acuerdo al a cantidad original de combustible) y a la duración de la combustión, así como los modelos para la radiación emitida, basados en conceptos teóricos y resultados experimentales.

La radiación de una bola de fuego puede establecerse de acuerdo al diámetro (como función del tiempo o de acuerdo a la cantidad original de combustible) y a la duración de la combustión.



Así mismo diferentes autores han publicado ecuaciones empíricas para describir la duración de la combustión de una bola de fuego como función de la masa original del combustible. Los modelos presentados por Lihou y Maund, Roberts y otros autores consideran hipotéticamente una esfera premezclada de aire y combustible a temperatura constante, la combustión está controlada por el suministro de aire el cual cesa después de un tiempo, este tiempo está relacionado empíricamente con la masa de gas inflamable en la esfera, la tasa de combustión, la temperatura de la bola de fuego, la duración de la combustión y la tasa de incremento en el diámetro. Es posible estimar la elevación que sufre una bola de fuego, sin embargo para el cálculo del peligro debido a la bola de fuego se supone que ésta es de forma esférica y que se encuentra a nivel del suelo, por lo cual este cálculo puede omitirse.

Hasegawa y Sato indica que cuando la cantidad calculada de evaporación rápida (o instantánea) es igual al 36% o mayor, todo el material liberado contribuye a la formación de un BLEVE y eventualmente a una bola de fuego. Para porcentajes menores de evaporación, parte del combustible de un BLEVE y eventualmente a una bola de fuego. Para porcentajes menores de evaporación, parte del combustible forma un BLEVE y el restante forma una charca. Se asume que cuando el porcentaje es menor al 36%, la cantidad calculada de material evaporado instantáneamente multiplicada por 3 es la que contribuye a un BLEVE. Para predicciones sobre el peligro debido a la bola de fuego, la cantidad de gas en el BLEVE puede considerarse como tres veces la cantidad de material evaporado instantáneamente hasta un máximo que no rebasa el 100% del material combustible disponible.

El principal peligro de las bolas de fuego es la radiación térmica ya que puede ocasionar incendios secundarios y provocar quemaduras severas en la persona expuesta. Los métodos para calcular la radiación para diferentes tipos de fuegos, incluidas las bolas de fuego, contemplados anteriormente se agrupan en dos tipos, modelo de fuente puntual y modelo de flama sólida. En el modelo de fuente puntual se calcula la fracción de calor de combustión que es irradiado en todas direcciones; este modelo de flama sólida es más realista que el anterior, este modelo considera las dimensiones de la bola de fuego, el poder emisor de la superficie de la bola de fuego, la atenuación debido a la atmósfera y un factor visual o factor de configuración geométrica. El factor visual se refiere a la fracción de radiación que choca directamente con la superficie receptora, para esto se considera la orientación relativa del objeto con respecto a la bola de fuego y la distancia al centro de la misma.

Las distancias para diferentes niveles de peligrosidad debidas a la radiación de un BLEVE-bola de fuego pueden obtenerse de acuerdo a diferentes estudios y publicaciones. Una ecuación útil para determinar la probabilidad es proporcional al producto de $tl^{1/3}$ donde l es la intensidad de la radiación y t es la duración de la radiación.

Las ondas de choque producto de un BLEVE pueden producirse de tres maneras:

- El vapor presente por encima de líquido puede generar una onda de choque, como sucede con los recipientes llenos de gas.
- El líquido puede hervir por una despresurización, y si la ebullición es rápida resulta una onda de choque.
- Si el fluido es combustible y el BLEVE no es inducido por fuego exterior, una explosión de nube de vapor puede presentarse.



Existen diferentes métodos para calcular los valores de los parámetros de las ondas inducidas por la explosión de recipientes a presión y de BLEVE's que la presentan. La selección de método apropiado dependerá de la fase en que se encuentra el material en el recipiente y la distancia al receptor de la onda explosiva.

Además de la onda de presión debido a la explosión, puede provocar fragmentos; cuando un material altamente explosivo detona se produce un gran número de pequeños fragmentos a gran velocidad y de forma muy irregular, por lo contrario cuando sucede un BLEVE produce pocos fragmentos de diferentes tamaños y menores velocidades iniciales. Las características de los fragmentos a utilizarse para la evaluación de consecuencias incluyen el número, velocidad, geometría y trayectoria. Las investigaciones para la predicción de la velocidad de los fragmentos y su alcance se ha concentrado en situaciones idealizadas de recipientes con gas presurizado, aunque también se han considerado recipientes con gas no ideal presurizado y combinaciones de gas y líquido. Para la explosión en el interior de un recipiente la velocidad inicial de los proyectiles puede estimarse, por ejemplo, considerando que una fracción de la energía disponible se transfiere del fluido en expansión a los fragmentos. La energía disponible por la explosión en el interior de un recipiente debe dividirse entre el trabajo para propagar las grietas que causan la ruptura, la energía cinética de los fragmentos, la energía de la onda de choque, el calor en los productos y la energía plástica remanente en los fragmentos. Otro método para determinar la velocidad inicial de los fragmentos comprende un análisis paso por paso de la transferencia de momentum de fluido que escapa a través de las grietas en medio de los proyectiles de material quebradizo, mientras que en aquellos de material más dúctil se obtendrá un menor número de fragmentos.

3.3.4 CHARCAS DE FUEGO

Las charcas de fuego son resultado común de incendios en charcas del producto de liberaciones de materiales líquidos, gases licuados y/o líquidos presurizados. Estas tienen un efecto y son de interés debido a posibles efectos dominó y en la determinación de zonas de seguridad. La modelación de charcas de las características de interés, entre los que destacan:

- Tasa de quemado:

Las charcas de fuego con dimensiones mayores arden con una tasa constante específica para cada material, existen ecuaciones desarrolladas para predecir la tasa de quemado, asimismo se dan valores de esta tasa que por ejemplo para hidrocarburos fluctúan en un intervalo de $0.05 \text{ kg/m}^2\text{s}$ (gasolina) a $0.12 \text{ kg/m}^2\text{s}$ (gas LP). La tasa de quemado permite estimar el calor producido por unidad de área y estimar la duración del fuego.

- Dimensiones de la charca:

El tamaño de la charca lo determina tanto la cantidad liberada como las características del terreno. En la modelación normalmente se asume que esta es circular y cuando tiene forma rectangular (debido a un confinamiento) se utiliza un diámetro equivalente.

- Altura de la flama:



Diversas observaciones indican que las charcas de fuego presentan una relación entre la altura de la flama y el radio, la más conocida es la de Thomas; existen además otras correlaciones que permiten conocer el efecto del viento. Algunos autores sugieren valores para la relación altura de la flama/diámetro de la charca de 2 o 3.

- Inclinación de la flama:

Las flamas de las charcas incendiadas son afectadas por la velocidad del viento, provocando una inclinación de la flama, cuando la velocidad del viento es grande la base de la charca puede ser arrastrada viento abajo; esto afecta la radiación que recibe los receptores cercanos, el arrastre de la flama es un efecto que no se incluye en muchos modelos. Normalmente se asume que la flama es vertical y que el calor irradiado es igual en todas direcciones. Aunque en el análisis de riesgos pueden incluirse o no estos efectos, es importante que se considere la inclinación de la flama.

- Poder emisor superficial:

El poder emisor de una superficie o flujo de calor irradiado puede calcularse por medio de la ecuación de Stefan Boltzman, esta ecuación es muy sensible a la temperatura de la flama ya que la radiación varía con la temperatura que se expresa a la cuarta potencia; además el efecto oscurecido del humo reduce la radiación total emitida por la flama. Otros métodos utilizan los flujos térmicos de las charcas incendiadas de varios materiales, o utilizan una fracción del calor irradiado de acuerdo al poder total de combustión; en ambos se considera la absorción de la energía irradiada al humo.

El poder emisor de una superficie por unidad de área puede estimarse usando el método de la fracción de radiación, de acuerdo a lo siguiente:

- Calcular el poder total de combustión (basado en la tasa de quemado y en el área de la charca).
- Multiplicarlo por la fracción de irradiación para determinar la potencia total de radiación.
- Determinar el área de la superficie de la flama.
- Dividir la potencia de radiación por el área de la superficie de la flama.

La fracción de irradiación normalmente se considera en un rango de 0.15 a 0.35.

- Factor geométrico de visión:

La radiación térmica que recibe un objeto está determinada por un factor geométrico de visión. Para establecer este factor existen varias ecuaciones en las que se consideran diferentes contornos de la superficie emisiva.

- Transmisividad atmosférica:

La transmisividad atmosférica es un factor importante que comúnmente se considera de 20 a 40% del flujo de calor que puede ser obstruido o disperso en la atmósfera en una distancia de 100 metros bajo condiciones típicas de la atmósfera.



3.4 MODELOS DE EFECTOS

Los modelos de efectos se emplean para establecer las consecuencias de un incidente, las consecuencias que se analizan dependen del propósito u objetivo del estudio. Como indicadores de las consecuencias en un individuo puede emplearse la muerte o lesiones, en el caso de propiedades se pueden utilizar las pérdidas económicas. Para expresar el riesgo se utilizan medidas comunes para cada tipo de efecto. Un método para establecer las consecuencias resultado de un incidente es el modelo de efecto directo, el cual predice los efectos sobre las personas o estructuras basados en criterios predeterminados, por ejemplo se considera que una persona muere cuando se expone a determinada concentración de gas tóxico.

Esto se considera a pesar de que las consecuencias pueden representarse de un amañera más realista como funciones de distribuciones de probabilidad. El utilizar funciones de distribución de probabilidad para establecer las consecuencias de un incidente es otro método posible.

3.4.1 EFECTOS DE MATERIAL TÓXICO

En la evaluación de las consecuencias de los efectos de un gas tóxico existen diferentes razones que dificultan una evaluación precisa en la respuesta de las personas a exposiciones agudas a gases tóxicos; en primer lugar se encuentra la diferente tolerancia que presentan las personas, en segundo lugar el que la severidad depende de la intensidad y duración de la exposición. Como cuarta razón, muchos incidentes involucran liberaciones de más de una sustancia, y no existe regla para determinar los efectos que esta sinergia, antagonismo o adición de efectos que se producen. Por último no existen protocolos para pruebas toxicológicas que permitan relacionar con exactitud los efectos sobre animales y los correspondientes a las personas.

Existen diferentes medidas para predecir la posibilidad de que una liberación de material peligroso que pueda resultar en muerte o en lesiones severas de personas expuestas, un ejemplo de estas medidas son las concentraciones inmediatamente peligrosas para la vida y la salud (IDLH siglas en inglés) otra forma de establecer las consecuencias es mediante la utilización de una función de probabilidad (función Probit) que establece una relación entre la dosis y la respuesta, y permite cuantificar el número de muertes que son más probables de ocurrir dada una exposición. El método Probit puede utilizarse para aproximadamente 20 sustancias de las cuales existe suficiente información, esta información se basa en experimentos con animales, por lo cual existe una incertidumbre al aplicarse a personas. Los modelos Probit pueden emplearse para estimar las consecuencias debidas a la exposición para emisiones de tipo continuo o emisiones súbitas o instantáneas (puff). Los modelos de dispersión se utilizan para determinar contornos que se especifiquen la concentración de un gas en función del tiempo, localización y distancia con respecto al punto de liberación. Una vez que se tiene determinada esta información se utilizan los modelos de efectos para establecer las consecuencias. Las zonas de afectación pueden determinarse de acuerdo a la concentración del gas y la duración de la exposición de tal manera que igualen o rebasen un nivel establecido (por ejemplo el IDLH).



3.4.2 EFECTOS TÉRMICOS

Existen dos maneras principales de estimar los efectos debidos a la radiación:

- El uso de tablas o graficas elaboradas a partir de datos experimentales o de incidentes ocurridos.
- El uso de modelos teóricos basados en la filosofía de la respuesta de la piel de radiación.

Los modelos de efectos térmicos estiman la probabilidad de muerte o lesiones a las personas, así como de daños a propiedades debido a la radiación emitida por la combustión de un material. Existen diferentes tablas y graficas que relacionan la intensidad de la radiación con los efectos y el tiempo de exposición; además, sin embargo estos modelos se utilizan menos que los correspondientes para efectos tóxicos.

Los modelos para la estimación de los efectos debidos a la radiación requieren en su mayoría el determinar los niveles de radiación y la duración de la exposición. Los niveles de radiación pueden obtenerse de los modelos para evaluación de consecuencias por fuego, la duración a partir de los modelos de consecuencias (por ejemplo BLEVE) y por la estimación del tiempo necesario para extinguir el fuego. A partir de los anteriores parámetros se estima el nivel de daño para una exposición determinada. En lugares con una insolación elevada es necesario sumar la intensidad de la radiación solar a la estimada por los modelos de consecuencias para obtener la exposición total.

3.4.3 EFECTOS DE EXPLOSIONES

Los modelos para efectos de explosiones se utilizan para predecir el impacto de las ondas de sobre presión, y de proyectiles en personas y objetos. La simulación de los efectos de una explosión está basada en los modelos para explosión de TNT. En las explosiones de nube de vapor las características de la detonación difieren de las explosiones de TNT ya que las explosiones de nube de vapor son generalmente deflagraciones. La intensidad y la forma de una onda debido a una súbita liberación de un fluido depende de diversos factores que incluyen el tipo de fluido liberado, la energía que produce la expansión, la tasa en que la energía se libera, la forma de recipiente, tipo de ruptura y las características de los alrededores. La duración de la sobre presión es importante para determinar los efectos sobre estructuras. La fase de presión positiva de la onda puede abarcar de 10 a 100 metros para explosiones de nube de vapor confinada típica. Un mismo nivel de sobre presión puede tener un efecto diferente dependiendo de la duración, si la duración de la detonación es menor que el tiempo de respuesta de las estructuras es posible que la estructura soporte aun altas sobre presiones.

Existe una ecuación Probit que relaciona el daño estructural con el tipo de sobre presión de acuerdo a su probabilidad, asimismo existe una relación para determinar la ruptura de vidrios con el pico de sobre presión, ambas basadas en datos experimentales y de incidentes. Los efectos sobre las personas debidas a la sobre presión depende del pico o máximo alcanzado, la tasa de elevación y de la duración de la fase positiva. El efecto del daño para un pico de sobre presión dado es mayor si el levantamiento es rápido. El problema de determinar los



efectos sobre las personas debido a una explosión es complejo, sin embargo existe una extensa literatura sobre los grados de daño asociados con diferentes ecuaciones Probit para los efectos de una explosión. Así existen ecuaciones Probit para determinar el número de muertes probables debidas al pico de sobre presión, para determinar el número de muertes probables debidas al pico de sobre presión, también para determinar la ruptura de tímpanos y que relacionan daños serios debido a proyectiles, particularmente cristales, debido al impulso explosivo; a partir de la primera se pueden desarrollar ecuaciones Probit para estimar la muerte y daños severos debido a la proyección o traslado del cuerpo de las personas debido a la onda de choque.

3.5 ESCENARIOS

Las consecuencias de un incidente dependen de las condiciones de la liberación y de las condiciones particulares del sitio en el momento de la liberación. En el transporte de materiales peligrosos es necesario establecer los posibles escenarios que generaría una liberación accidental, a partir de éstos podrán estimarse las consecuencias potenciales. Los escenarios posibles pueden agruparse en:

- Escenario de liberación en el peor caso.
- Escenarios alternativos.

El escenario para el peor caso puede definirse como la liberación de la mayor cantidad de un material peligroso que resulte en la mayor distancia, a partir de la fuente, hasta un nivel de interés. De una manera general la distancia estará determinada para una nube de material tóxico, radiación térmica debido a un incendio o nivel de sobre presión para una explosión desde el punto de origen de la fuga hasta un punto en que los efectos sobre las personas o instalaciones no sean serios (o de interés) de acuerdo a la exposición.

Los escenarios alternativos son aquellos que presentan una mayor probabilidad de ocurrencia que el escenario del peor caso. Las características propuestas en la tabla siguiente 3.5 A) para el escenario del peor caso es una combinación de condiciones que ocurren rara vez y que son poco probables que persistan un tiempo de duración largo, por lo que los escenarios alternativos contemplan condiciones más probables y menos conservadoras. Además, se debe contemplar que las condiciones debidas al modelo de simulación empleado pueden aumentar las distancias estimadas ya que las condiciones (estabilidad, velocidad del viento y rugosidad) no permanecerán constantes en segmentos de camino largo, debido a que el escenario del peor caso, aunque probable, puede sobre estimar el valor de las distancias de afectación, pueden utilizarse preferentemente las distancias obtenidas en los escenarios alternativos para la planeación, preparación y atención de emergencias.



Tabla 3.5 A) Parámetros de referencia para la determinación de escenarios en el análisis de consecuencias	
Escenario para el peor caso	Escenario alternativo
Niveles de interés	
En sustancias inflamables el nivel de interés para determinar la zona de riesgo es 1 lb/pulg ² en explosión de nube de vapor, y zona de amortiguamiento 0.5 lb/pulg ² . Debido a radiación térmica el valor es de 5 kw/m ² o 1500 BTU/ft ² h, para zonas de riesgo y zona de amortiguamiento de 1.4 kw/m ² o 440 BTU/ft ² h. Con sustancias tóxicas emplear el valor para inmediatamente peligroso a la vida y la salud (IDLH) para determinar la zona de riesgo y TLV ₁₅ o TLV ₆ para zona de amortiguamiento.	En sustancias inflamables el nivel de interés para determinar la zona de riesgo es de 1 lb/pulg ² en explosión de nube de vapor y zona de amortiguamiento de 0.5 lb/pulg ² . Debido a radiación térmica el valor es 5 kw/m ² o 1500 BTU/ft ² h, para zonas de riesgo y zona de amortiguamiento de 1.4 kw/m ² o 440 BTU/ft ² h. Con sustancias tóxicas emplear el valor para inmediatamente peligroso a la vida y la salud (IDLH) para determinar la zona de riesgo y TLV ₁₅ o TLV ₆ para zona de amortiguamiento.
Estabilidad, velocidad del viento	
Estabilidad F y velocidad del viento de 15 m/s. puede utilizarse otra velocidad del viento y estabilidad siempre y cuando se demuestre que los datos están de acuerdo a mediciones meteorológicas locales.	Estabilidad D y velocidad del viento de 3 m/s. puede utilizarse otra velocidad del viento y estabilidad siempre y cuando se demuestre que los datos están de acuerdo a mediciones meteorológicas locales.
Temperatura ambiente y humedad	
Temperatura de 25 grados centígrados y 50% de humedad. Cuando se tienen registros confiables puede utilizarse la temperatura máxima diaria y la humedad promedio para el caso de nube tóxica.	Temperatura de 25 grados centígrados y 50% de humedad, cuando se cuenta con registros meteorológicos locales puede utilizarse los valores correspondientes.
Altura de la liberación	
Nivel del suelo	Nivel del suelo
Rugosidad de la superficie	
Utilizar área urbana (terreno con obstáculos) o área rural (terreno plano) según corresponda.	Utilizar área urbana (terreno con obstáculos) o área rural (terreno plano) según corresponda.
Gas denso o gas neutralmente flotante	
Determinar el comportamiento del gas de acuerdo a sus propiedades.	Determinar el comportamiento del gas de acuerdo a sus propiedades.
Temperatura a que la sustancia es liberada	
Para líquidos diferentes a gases licuados por refrigeración, considerar que la liberación ocurre a la temperatura máxima diaria de acuerdo a registros meteorológicos. Para gases licuados por refrigeración considerar el punto de ebullición.	Utilizar lo establecido para el peor caso o establecer la temperatura para el escenario establecido.

Fuente: Offsite consequence analysis guidance; EPA, 1999.



CAPÍTULO 4

DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS SISTEMAS DE MANEJO DE GAS NATURAL DE MÉXICO



4. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS SISTEMAS DE MANEJO DE GAS NATURAL DE MÉXICO

El gasoducto de 48"- 42" Ø Cactus – San Fernando-Los Ramones

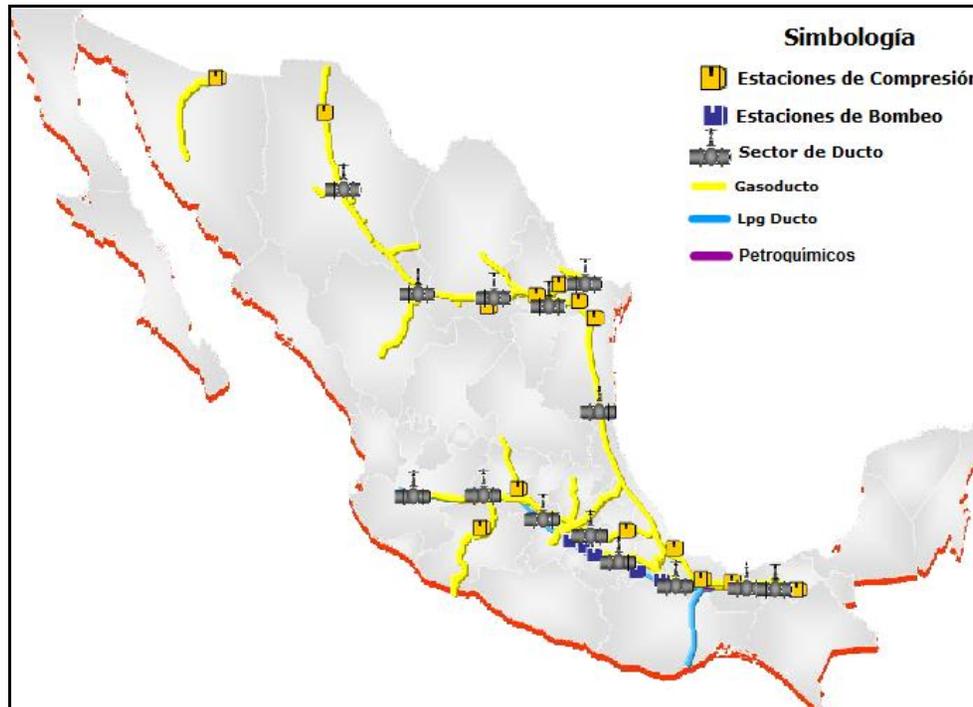
Tiene una longitud de 1,252+500 Km. Y una capacidad de transporte de 1,573 MMPCSD. Este Gasoducto transporta gas natural desde los centros de producción Cactus y Nuevo Pemex localizados en el sureste del país, hasta el altiplano por el gasoducto de 48" Ø Cempoala – Santa Ana y concluyendo su recorrido en el área de los Ramones, Nuevo León.

Este sistema representa la columna vertebral en el sistema nacional de gasoductos para el suministro eficiente y oportuno de Gas Natural, en toda su área de influencia; en su origen este gasoducto tiene una capacidad de transporte de 1573 MMPCD de una capacidad total de transporte de 4,824 MMPCD, aportando de esta manera un porcentaje de 32.6% en la capacidad de Transporte Nacional.

Este sistema de transporte consta de cuatro estaciones de Compresión: Estación No. 1 Cárdenas, Estación No. 3 Chinameca, Estación No. 5 Lerdo y Estación No. 7 Cempoala, que trabajan las 24 horas del día, los 365 días del año, generando una diferencial de presión por compresión de cada estación de 10 kg/cm² promedio. Cabe hacer mención que actualmente la Estación 5 Lerdo no opera, sin embargo, el sistema opera normalmente teniendo dos estaciones alineadas, ya sea Cárdenas con Cempoala o Cárdenas con Chinameca.

Este ducto es alineado principalmente por Cactus en un promedio de 340 MMPCD a una presión de 55 kg/cm² y Nuevo Pemex en un promedio de 873 MMPCD a una presión de 55 kg/cm².

Mapa 4. A) Sistema de Ductos de PGPB (Se cuenta con la zona norte, la zona centro y zona sur)



Fuente: Imagen de la red de ductos de PEMEX <http://ccs.infospace.com>

El gasoducto de 16" Ø Naco-Hermosillo (Sonora)

Consta de 339+660 kilómetros de longitud. El gasoducto está custodiado por el sector Chihuahua. Este sistema transporte gas natural desde los Estados Unidos en la Terminal de Implementación Naco hasta Hermosillo.

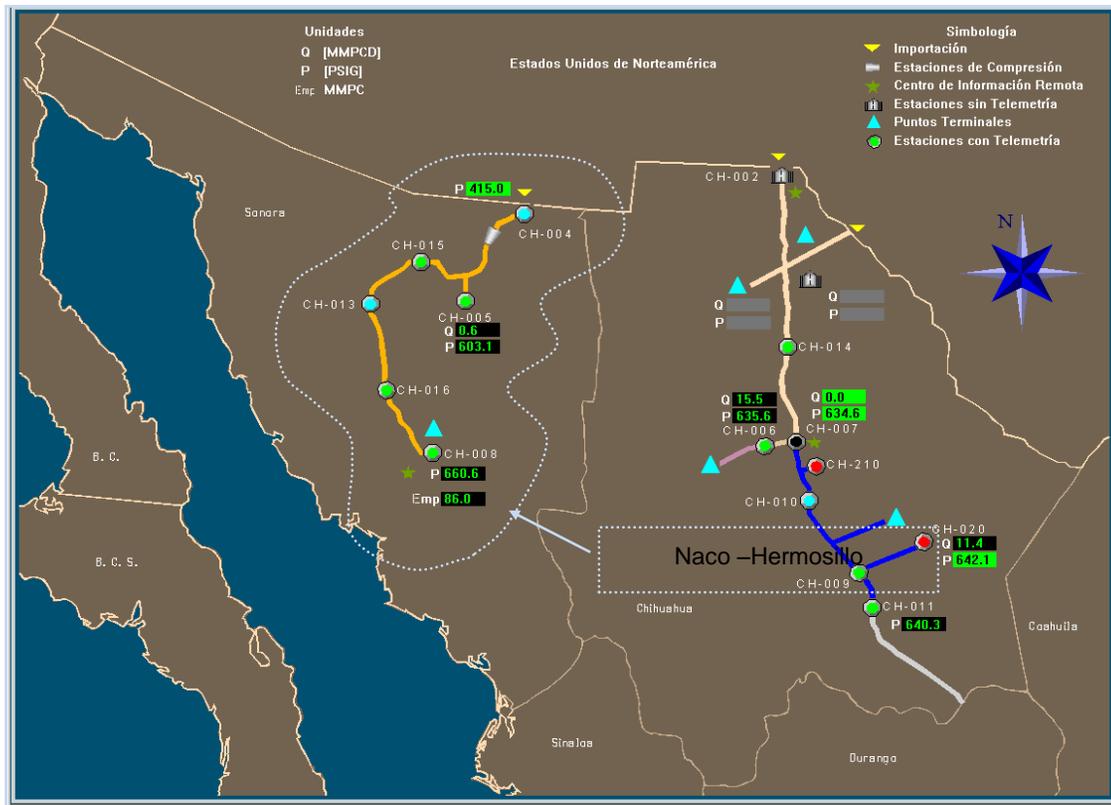
El Sistema de Transporte por ducto de Gas Natural referido anteriormente, está compuesto por las siguientes instalaciones:

- 4 Trampas de Recibo y Envío de Diablos.
- 1 Estación de Compresión Km. 13+000.
- 13 Válvulas de seccionamiento.
- Terminal de importación.

Debido a la naturaleza riesgosa del proceso y su impacto en el medio ambiente, es muy importante mostrar las zonas en las cuales el ecosistema podría sufrir cambios, así como posibles riesgos y su forma de evitarlos.



Mapa 4. B) Ducto de Gas Natural de 16" Ø que va desde Naco hasta Hermosillo (Sonora)



Fuente: www.pemex.com/flash/mapa/mapa.swf

PEMEX GAS Y PETROQUÍMICA BÁSICA se encuentra implementando un Sistema SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) para control y monitoreo en tiempo real de las condiciones de operación en las instalaciones que forman parte de la Red Nacional de Gas Natural y de LPG, desde un Centro de Control Principal (CCP), un Centro de Control de Contingencia (CCC) en Venta de Carpio, Edo. de México y 17 Centros de Información Remotos (CIR), localizados en diferentes sitios de la República Mexicana.

El SCADA centralizará la información básica de operación de cada una de las estaciones ligadas al sistema y permitirá operar los instrumentos y equipos asociados en forma rápida y confiable, como un factor fundamental que contribuya a que el sistema de ductos opere con mayor productividad, con menor costo y mínimo esfuerzo humano, lo que es muy poco probable lograr con un sistema de control neumático/eléctrico, convencional.

La necesidad de rapidez y exactitud en la obtención de información de los diferentes sectores, aunada a la estadística computarizada de variables, que se tiene con el SCADA, deberá incrementar la eficiencia y seguridad en el transporte y distribución de hidrocarburos y deberá permitir una dinámica y certera toma de decisiones en los niveles jerárquicos correspondientes, al tener conocimiento de cualquier situación normal, anormal o de emergencia en el momento oportuno.



Sistema SCADA.

El SCADA es un sistema computarizado de monitoreo y control remoto que permite manejar simultáneamente instalaciones dispersas. Este sistema colecta y procesa en tiempo real información sobre las variables de flujo, presión, temperatura y calidad de producto manejado.

Asimismo, permite operar a control remoto estaciones de medición, de compresión, de bombeo y válvulas de seccionamiento, así como controlar el empaque del sistema de ductos.

El SCADA para PGPB controla y monitorea:

- 99% de las inyecciones de gas natural.
- 97% de las extracciones de gas natural.
- 100% de las inyecciones y extracciones de gas licuado.
- 170 estaciones de medición.
- 3 estaciones de compresión (el control no está al 100%).
- 5 estaciones de bombeo (el control no está al 100%).
- 9,043 kilómetros de ductos de gas natural.
- 1,778 kilómetros de ductos de gas licuado.

El sistema SCADA está constituido por los siguientes componentes:

1. Instrumentación de Campo.
2. Estaciones Remotas.
3. Redes de Comunicación.
4. Estaciones de Monitoreo Central.

4.1 IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS Y METODOLOGÍA PARA UN ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS

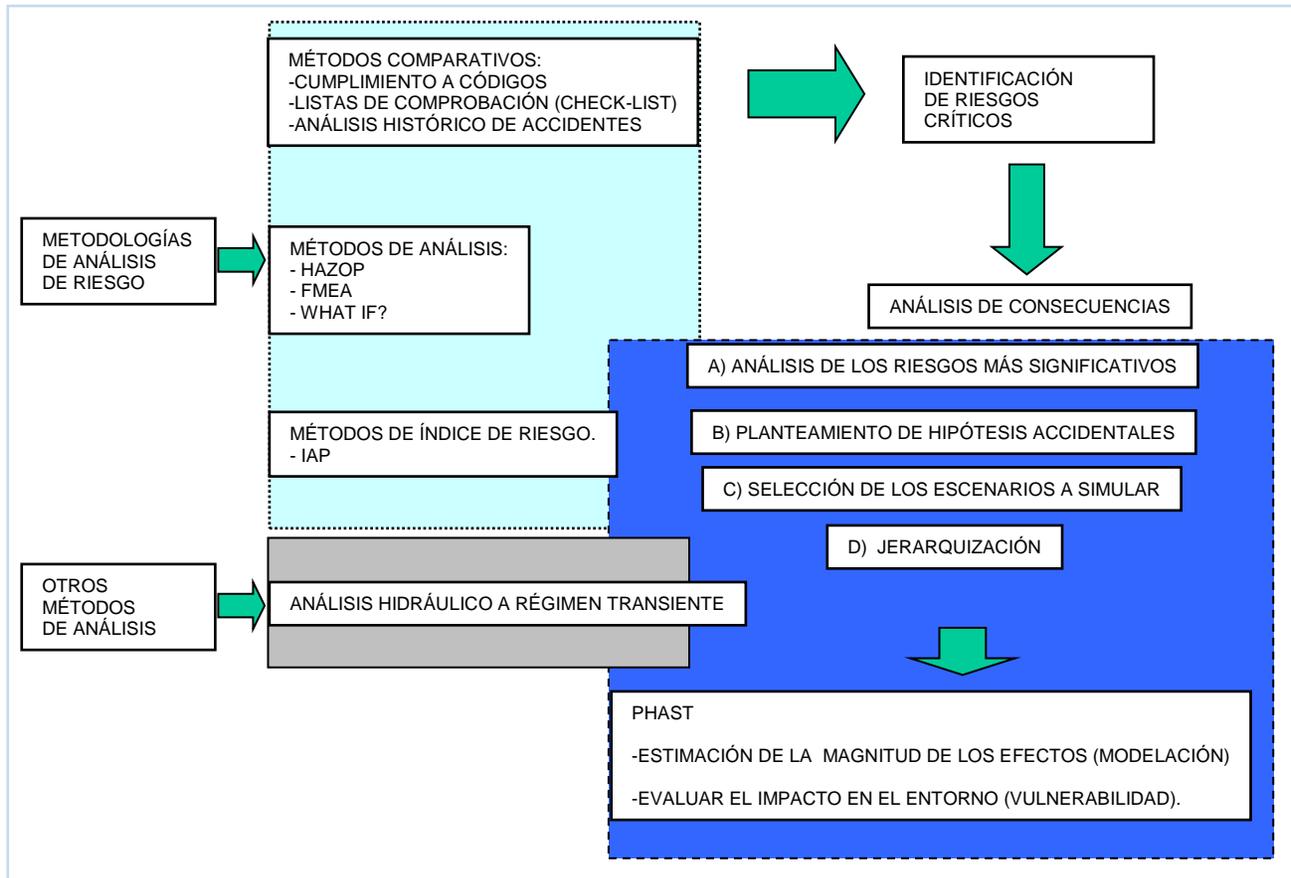
El propósito del análisis de consecuencias, es determinar si los efectos potencialmente peligrosos de accidentes severos en el sistema de transporte de Gas Natural, podrían bajo las peores circunstancias tener un impacto de suma importancia en áreas sensiblemente vulnerables como pueden ser poblaciones y ecosistemas.

Para el análisis de consecuencias del gasoducto, fue necesario realizar una simulación con el Programa de Evaluación de Integridad (IAP), para la selección de los diferentes eventos, considerando a todos aquellos puntos que representen un potencial de riesgo alto y que se encuentren por arriba de un criterio de riesgo o valor de comparación.

En la figura 4.1 A) se muestra la metodología general usada para la realización del Análisis de Riesgos del Sistema de Transporte de Gas Natural.



Figura 4.1 A) Metodología para la identificación de Riesgos.



Fuente: Phast-Manual de Capacitación, DNV Technica 1994-96



4.1.1 IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS EN SISTEMAS DE GAS NATURAL POR MEDIO DEL PROGRAMA DE EVALUACIÓN DE INTEGRIDAD (IAP)

El Programa de Evaluación de Integridad (IAP), es una herramienta que evalúa los riesgos de falla en ductos para transporte de gas y líquidos peligrosos. El IAP evalúa el riesgo a través de la aplicación de un algoritmo de riesgo relativo, que cuando es aplicado a la base de datos de un ducto, permite identificar segmentos de alto riesgo y secciones de alto riesgo dentro de los segmentos.

El IAP permite el desarrollo de una base de datos completa de un ducto, almacenando información de diseño del ducto, protección catódica y corrosión, inspección interior con equipo instrumentado, pruebas hidrostáticas, reparaciones y rehabilitaciones, vulnerabilidad de zonas pobladas y ambientales, consecuencias en el negocio, etc. El IAP permite calcular la MAOP (Presión Máxima de Operación Permisible), MOP, Presiones Normales de Operación, severidad de anomalías, volúmenes de ruptura o fuga, planeación de pruebas de presión y otros requisitos operativos y de regulación.

De igual manera, el IAP permite obtener reportes para relacionar y correlacionar valores de índices de riesgo con valores cuantitativos, por ejemplo, probabilidades reales y consecuencias de falla monetizadas, que faciliten el análisis costo-beneficio de diferentes opciones de mejora de riesgo.

Administración de Riesgo.

La administración de riesgo es un proceso general, bajo el cual la gerencia decide qué acciones tomar para controlar o reducir el riesgo esperado o existente. La administración de riesgo involucra la aplicación sistemática de políticas de administración, procedimientos, recursos y prácticas de las tareas de elaboración, análisis y control de riesgo. La meta de un buen sistema de administración de riesgo es proteger a los empleados, población, ambiente y activos de la compañía. La evaluación de riesgo es solamente uno de los componentes del proceso de administración de riesgo.

El proceso de administración de riesgo del IAP está compuesto de los siguientes objetivos:

Identificación de las variables esenciales de riesgo, de acuerdo a experiencias, expectativas y prácticas de operación y mantenimiento.

Establecimiento de metas y objetivos para reducción de riesgo.

Recolección de los datos necesarios para una evaluación efectiva de riesgo de la base de datos con el IAP.

Cálculo de riesgo relativo a lo largo de cada ducto, y

Evaluación de proyectos para reducción de riesgo que proporcionan un nivel aceptable de riesgo.

El IAP es una herramienta muy importante dentro del proceso de la administración de riesgos. El IAP auxilia en cada una de las siguientes fases críticas:

Figura 4.1.1 A) Fases del IAP



Fuente: Ezequiel Ander Egg, "Respetando la Investigación-Acción Participativa", Cuarta Edición, Grupo Editorial Lumen Hvmanitas

Evaluación de Integridad: El IAP es un medio para administrar datos para cualquier parte de un ducto – Diseño, Mantenimiento, Operación, Ambiente, Negocio, Población y otras variables que influyen en el riesgo del ducto.

Administración de la Inspección: Las inspecciones realizadas en el ducto deben considerar las necesidades de información de una compañía, así como los beneficios esperados de cada técnica en particular. El IAP ayuda a identificar puntos del ducto en donde se tiene poca información, también cuantifica los beneficios tangibles asociados con cada una de las diferentes técnicas de inspección.

Evaluación de Riesgo y Reparaciones: La evaluación de riesgo es el proceso de identificación de peligros y fuentes de riesgo, y estimar o calcular la severidad de las consecuencias potenciales.

Administración del Mantenimiento: La clave para un programa exitoso de administración de riesgo es la selección pro-activa de actividades de mantenimiento que reduzcan el potencial de falla.



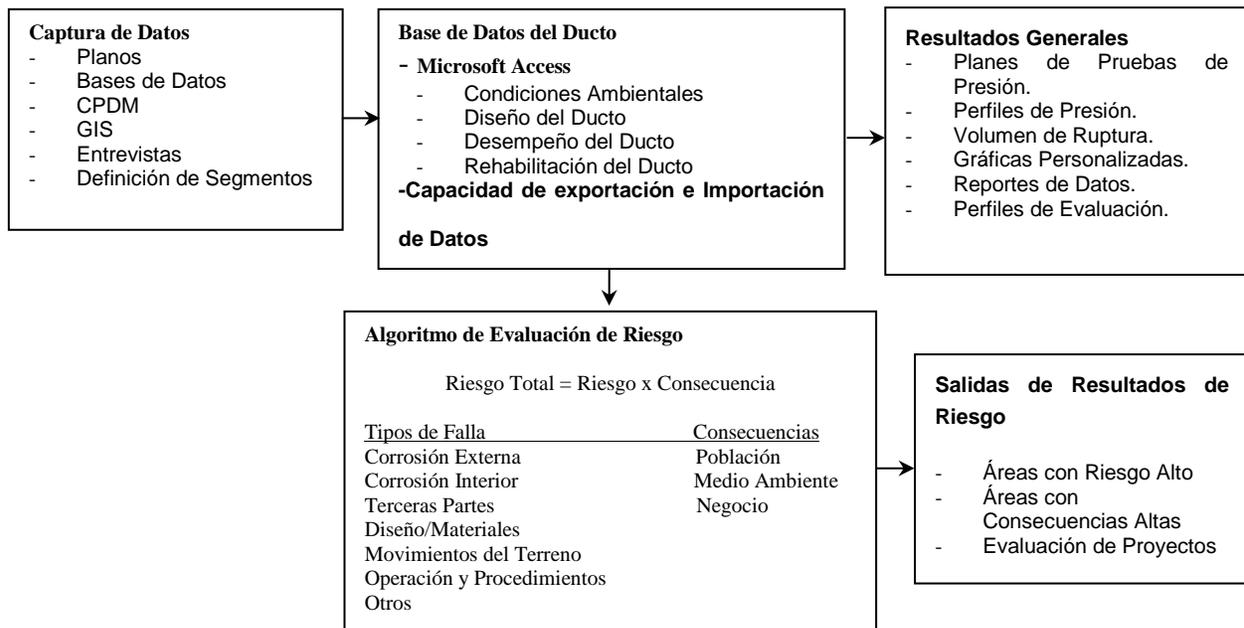
Proceso del IAP

Los cálculos de la evaluación de riesgo del IAP se basan en un método de Riesgo Relativo. Este método asigna de manera estratégica valores numéricos a cada variable que tiene probabilidades de afectar o influir en el riesgo de falla de un ducto. El método ofrece ventajas sobre análisis de tipo probabilístico o cualitativo, tales como:

- En la ausencia de información de falla para un ducto específico, las evaluaciones que se hagan de acuerdo a las características de riesgo relativo, identificarán situaciones de riesgo más alto - a diferencia de los análisis probabilísticos que asignan una frecuencia de probabilidad con fuentes limitadas de información.
- El significado del valor de riesgo se basa en fundamentos de ingeniería en relación con el desempeño de una variable, literatura o historial – a diferencia de los análisis cuantitativos.

Aplicando el algoritmo a la base de datos se producen resultados que dan soporte a las decisiones de canalización de recursos, ponderación de riesgo y apoyo de otros objetivos de la administración de riesgo.

Figura 4.1.1 B) Proceso del IAP



Fuente: Ezequiel Ander Egg, "Respetando la Investigación-Acción Participativa", Cuarta Edición, Grupo Editorial Lumen Hvmnitas



Algoritmo de Evaluación del IAP

Se basa en la jerarquización del riesgo relativo, que refleja las expectativas de riesgo de una compañía, considerando historial de fallas y experiencia operativa. Tomando en cuenta estas experiencias, el algoritmo identifica áreas de un sistema de ductos, que se encuentran bajo riesgo y consecuencias altas, con respecto a otras áreas. El algoritmo evalúa el riesgo total, riesgo de falla, siete tipos de falla, consecuencias de falla y tres tipos de impacto, que producen valores que permiten identificar el riesgo, para ponderarlo y tomar decisiones adecuadas en cuanto a la canalización de recursos.

Cada uno de los tipos de falla y consecuencias del algoritmo tiene muchas variables con ciertos valores, que se definen de acuerdo a una metodología de riesgo relativo. La metodología busca aquellas variables que contribuyen al riesgo y las califica de manera sistemática para obtener una tasa de riesgo para cada tipo de falla y consecuencia.

El algoritmo de riesgo está diseñado para permitir el máximo grado de flexibilidad para analizar las fuentes de riesgo. Esta flexibilidad se basa en el agrupamiento de las variables potenciales de riesgo en cuatro niveles generales. Los niveles son:

1. Riesgo Total. Es una función del Riesgo de Falla (probabilidad de falla) multiplicado por la Consecuencia del Riesgo (consecuencia en caso de que ocurriera una falla). El riesgo total para un segmento, se calcula utilizando el producto máximo de los valores de Riesgo y Consecuencias para cada sección de ducto.
2. Riesgo de Falla. Es una función de los siete tipos de factores de riesgo, o la consecuencia de riesgo, que es una función de los tres tipos de impacto.
3. Riesgo Individual o consecuencia – Tipo de Factor.

Tipos de Factores de Riesgo (7)

- Corrosión Exterior (EC).
- Corrosión Interna (IC).
- Terceras Partes (TP).
- Movimientos del Terreno (GM).
- Diseño y Materiales (DM).
- Operación y Procedimientos (SO).
- Otro

Tipos de Factores de Consecuencias (3)

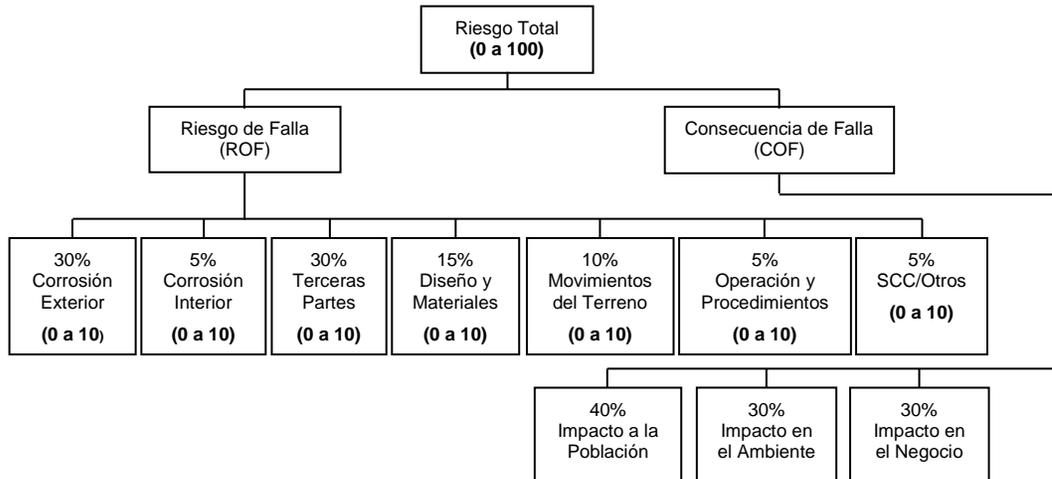
- Impacto a la Población (IOP).
- Impacto en el Ambiente (IOE).
- Impacto en el Negocio (IOB).

4. Variables individuales. Actualmente el algoritmo del IAP incluye más de 190 variables individuales de riesgo de falla o consecuencias. Hay 37 variables en el algoritmo que pueden ser definidas por el usuario.



La jerarquía del algoritmo se puede resumir gráficamente de la siguiente forma:

Figura 4.1.1 C) Algoritmo del IAP



Fuente: Ezequiel Ander Egg, “Respetando la Investigación-Acción Participativa”, Cuarta Edición, Grupo Editorial Lumen Hvmnitas

Una vez alimentada toda la información necesaria referente al sistema en la base de datos del IAP, se comienza con las corridas de los diferentes segmentos para identificar los puntos que representen alto riesgo.

Identificación de áreas de riesgo.

Dentro de los requerimientos para la Identificación de Áreas de Riesgo se tiene:

- Identificación de los riesgos con base en los resultados del IAP.
- Selección de los eventos o escenarios accidentales.
- Estimar y evaluar la magnitud de las consecuencias debido a posibles desviaciones en la operación del ducto, magnitud que se manifiesta hacia la población, medio ambiente e instalaciones.
- Analizar los resultados y determinar las medidas de prevención y mitigación para minimizar los riesgos identificados.

Escenarios de Incidentes

Incidente del Peor Caso (IPC). Este incidente generalmente no es muy probable que suceda, pero es posible, y presenta consecuencias particularmente severas. La generación de este tipo de incidentes, se lleva a cabo realizando una serie de suposiciones pesimistas. La separación física y la distancia son las salvaguardas más efectivas para mitigar las consecuencias de un IPC.



Ejemplo:

Para un material que a la vez es tóxico e inflamable, el IPC se define con la debida suposición de fuentes de ignición. En la mayoría de los casos, se supone que la ignición no sucede, de tal manera que el efecto tóxico se convierte en el peligro principal, (las zonas de efectos tóxicos son mucho mayores que las zonas que sufren los efectos de explosión).

En la definición de un IPC para algún material inflamable, se considera la ignición retardada seguida por una explosión (explosión de una nube de vapor, en vez de una ignición inmediata seguida por relámpagos o flamas de fuego, cuyas consecuencias no son tan severas como las de una explosión).

Para determinar un IPC, también se suponen las condiciones meteorológicas más desfavorables.

El incidente más probable, se define como el que tiene la más alta probabilidad de ocurrir y el orden de magnitud de sus consecuencias son menores que las de un IPC.

4.1.2 METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS

El proceso comienza, según se observa en la figura 4.1.2 A) con la identificación de puntos de riesgo, partiendo de un análisis de la información del IAP, para el ducto de transporte de Gas Natural.

Los factores de riesgo son los siete factores de falla: corrosión externa, corrosión interna, terceras partes, movimientos del terreno, diseño y materiales, operación y procedimientos. Los factores de consecuencias son: impacto a la población, al negocio y al ambiente. Por lo tanto el factor asociado a este riesgo es su posible causa. La identificación de riesgos más altos está basada en el valor del riesgo total más alto de todo el sistema. Este valor de riesgo es de acuerdo a la influencia que tienen factores de riesgo y/o consecuencia en ese kilómetro.

Una vez identificadas las variables asociadas para cada factor de falla se establecen criterios y causas posibles que puedan dar origen a un evento no deseado. Se hacen los planteamientos posibles de las hipótesis accidentales que se pueden presentar en el sistema, considerándose algunas otras hipótesis producto de la experiencia del grupo de análisis de riesgos.

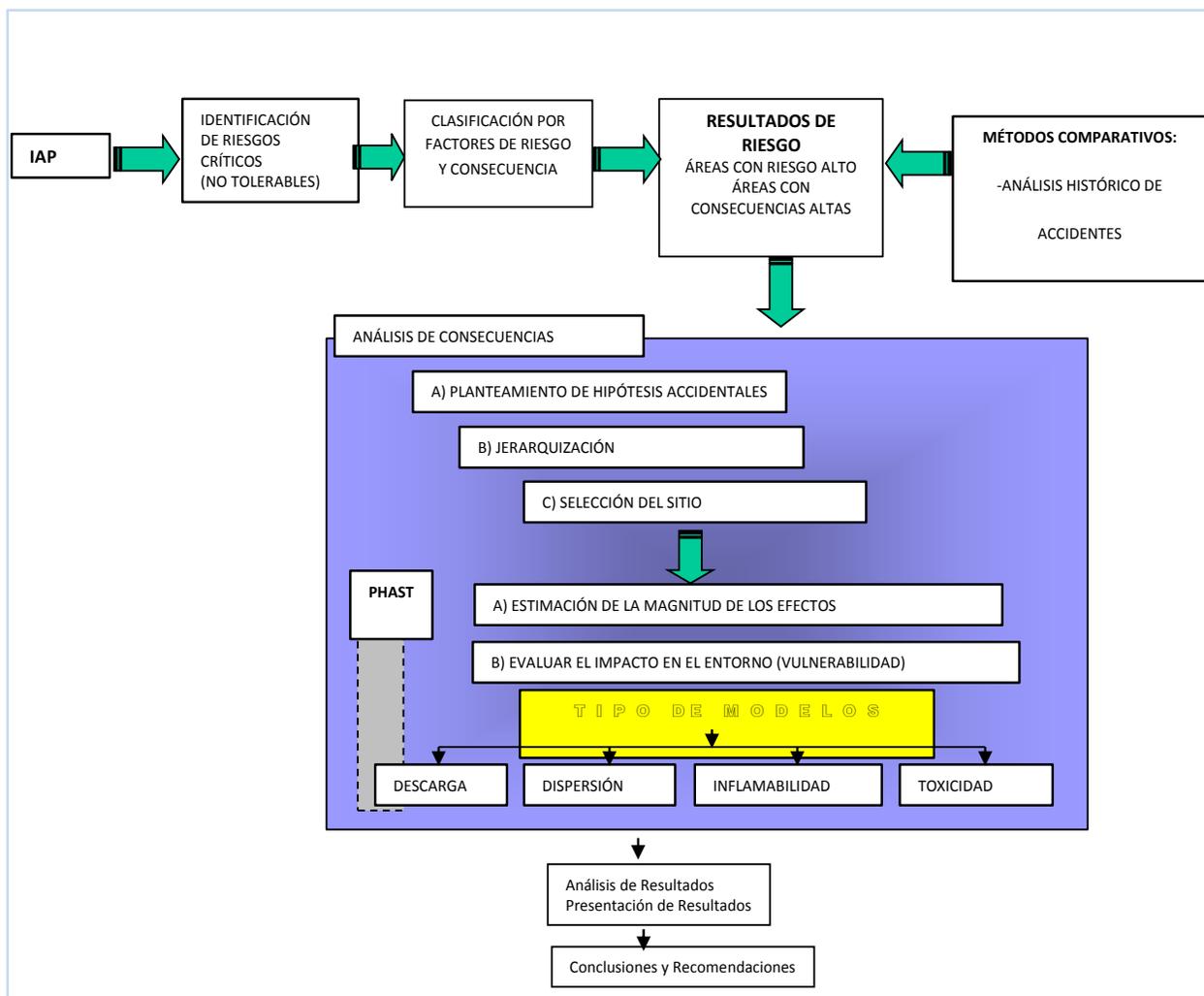
La técnica del análisis de consecuencias empleada fue de tipo cualitativo, puesto que no se cuenta con historial de accidentes que nos permita conocer con exactitud el número de accidentes por año. Por tanto la jerarquización por frecuencia se realiza con el criterio de categoría de frecuencia cualitativa en términos de probabilidad.

Evaluación en PHAST

Para la estimación de magnitud de consecuencias (efectos) se utilizará el programa de simulación PHAST, con el cual obtendremos una serie de resultados de modelos por descarga, dispersión, inflamabilidad y toxicidad.

Los resultados gráficos y tabulares permitirán observar la magnitud de consecuencias de los escenarios planteados

Figura 4.1.2 A) Metodología para el análisis de riesgos del sistema de gas natural a partir de resultados de IAP



Fuente: Ezequiel Ander Egg, "Respetando la Investigación-Acción Participativa", Cuarta Edición, Grupo Editorial Lumen Hvmnitas



4.2 DESCRIPCIÓN DEL CASO DE ESTUDIO (GASODUCTO DE 16" Ø NACO – HERMOSILLO)

Ver numeral 4. Descripción del sistema de manejo de gas natural.

4.2.1 UNIFILAR DEL SISTEMA DE TRANSPORTE DE GAS NATURAL NACO – HERMOSILLO.

En el Anexo A se muestra el diagrama unifilar del sistema de transporte de gas natural 16" Naco-Hermosillo.

4.2.2 SEGMENTACIÓN DEL DUCTO.

Se realizó la segmentación de trampa a trampa del gasoducto Naco-Hermosillo para un mejor análisis de la información quedando de la siguiente manera:

Tabla 4.2.2 A) Segmentación del gasoducto de 16" Ø Naco – Hermosillo			
No.	Inicio	Fin	Long. (Km.)
1	Terminal Internacional Naco Km. 0+000	TRED Cuitaca Km. 78+579	78.579
2	TRED Cuitaca Km. 78+579	TRED Santa Ana Km. 168+141	89.562
3	TRED Santa Ana Km. 168+141	TRED Los Chinos Km. 249+633	81.492
4	TRED Los Chinos Km. 249+633	TRD Hermosillo Km. 339+660	90.027
LONG. TOTAL			339.660

Fuente: Elaboración propia de la segmentación del ducto.

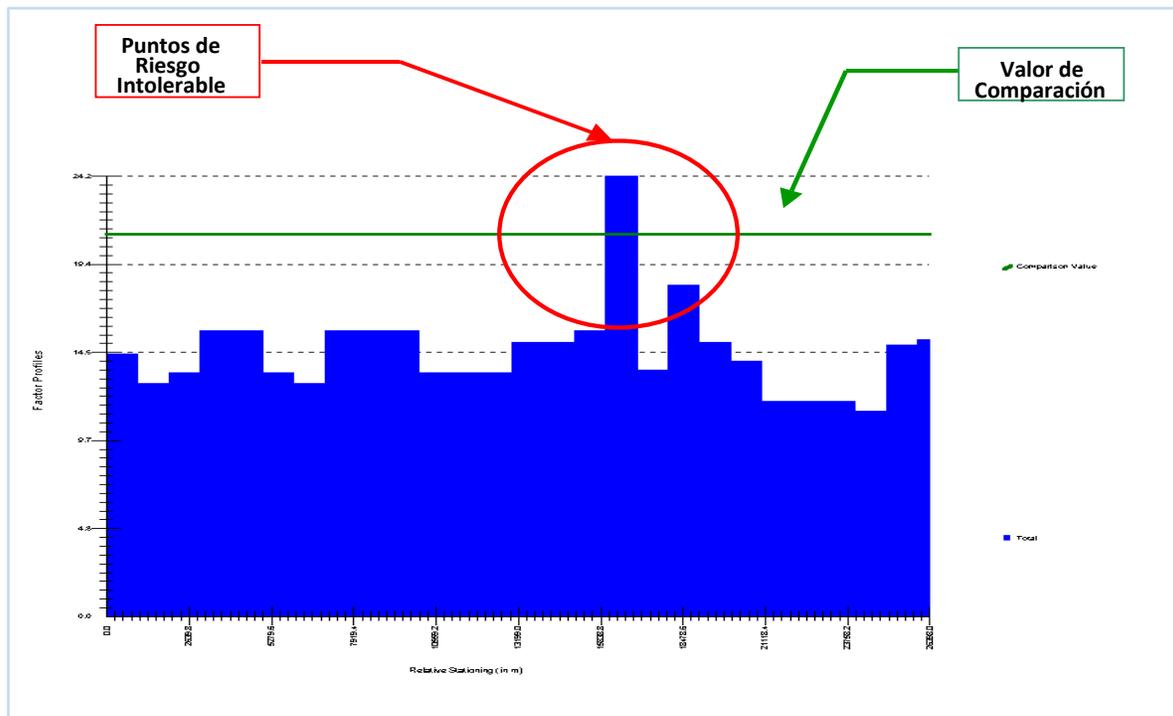
Este ducto es independiente de las Zonas Norte, centro y Sur; sus principales consumidores: C.F.E, FENOSA y otras industrias.



4.2.3 CONDICIONES ANALIZADAS EN EL SISTEMA, VALORES DE RIESGO (ALTO, PROMEDIO Y BAJO)

Se identificaron los puntos de riesgo, considerando a los puntos en cuestión dentro de un criterio de riesgo intolerable, el cual se le deben de aplicar técnicas para disminuir y mitigar dicho riesgo. La gráfica 4.1.3 A) muestra un ejemplo de los perfiles de riesgo, donde se observa el valor de comparación y los puntos de riesgo intolerables.

Gráfica 4.2.3 A) Ejemplo del perfil de Riesgo



Fuente: Ejemplo del resultado del programa IAP

Una vez que se obtienen el perfil se procede a realizar un estudio más detallado de los segmentos, a modo de definir cuáles son las posibles causas que hacen que el riesgo se vuelva intolerable. En el capítulo siguiente, se presentan los análisis para los segmentos que caen en el criterio de riesgo intolerable.

Riesgo Intolerable

Nivel de riesgo que no está dispuesto a tener en sus sistemas de ductos, y que requieren de acciones para reducirlas.

Riesgo Administrado

Zona de accidentes de disminución y/o control de niveles de riesgo, con el análisis y aplicación de proyectos.



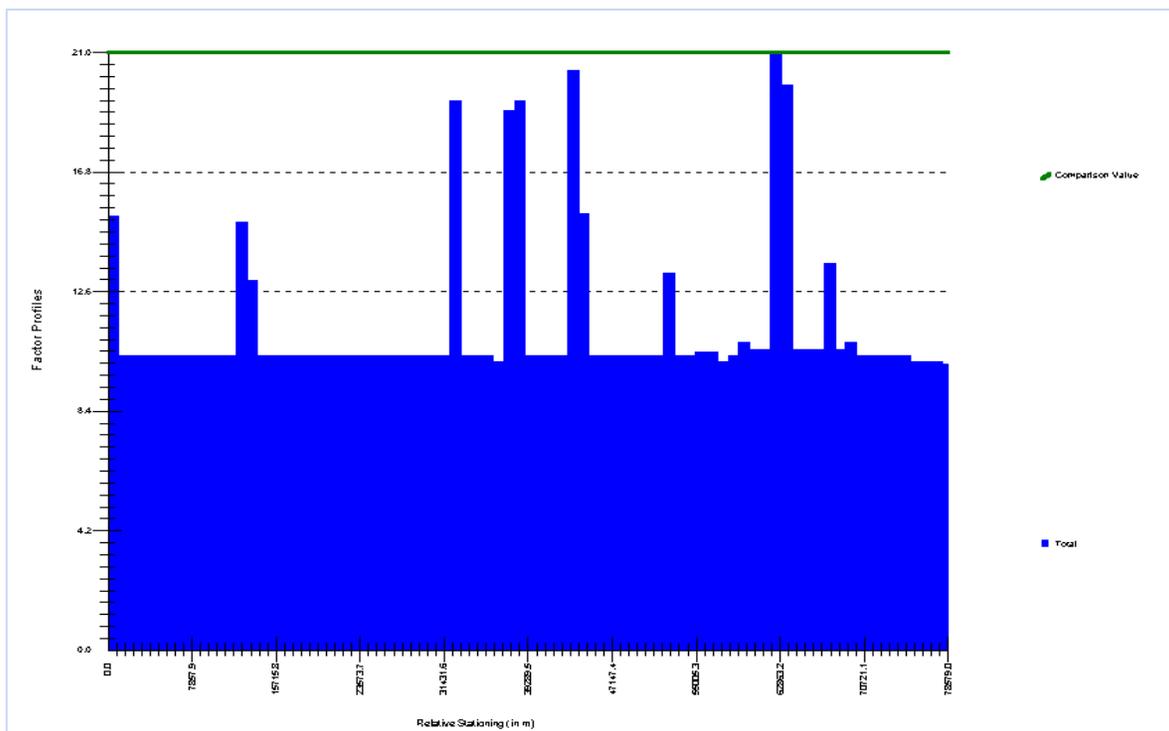
Riesgo Tolerable

Zona de riesgo controlado que no requiere de acciones inmediatas. Únicamente requiere las relacionadas con el monitoreo del mismo.

Segmento 1. Naco - Cuitaca

El Gasoducto de 16"Ø, en su segmento Naco – Cuitaca, se encuentra a cargo de la superintendencia de ductos Chihuahua. Este sistema cuenta con una longitud total de 78+579 kilómetros, espesor nominal, espesor de 0.250 pulgadas, 3 válvulas y 2 trampas de diablos.

Gráfica 4.2.3 B) Perfil de Riesgo para el Segmento 1



Fuente: Resultado del programa IAP

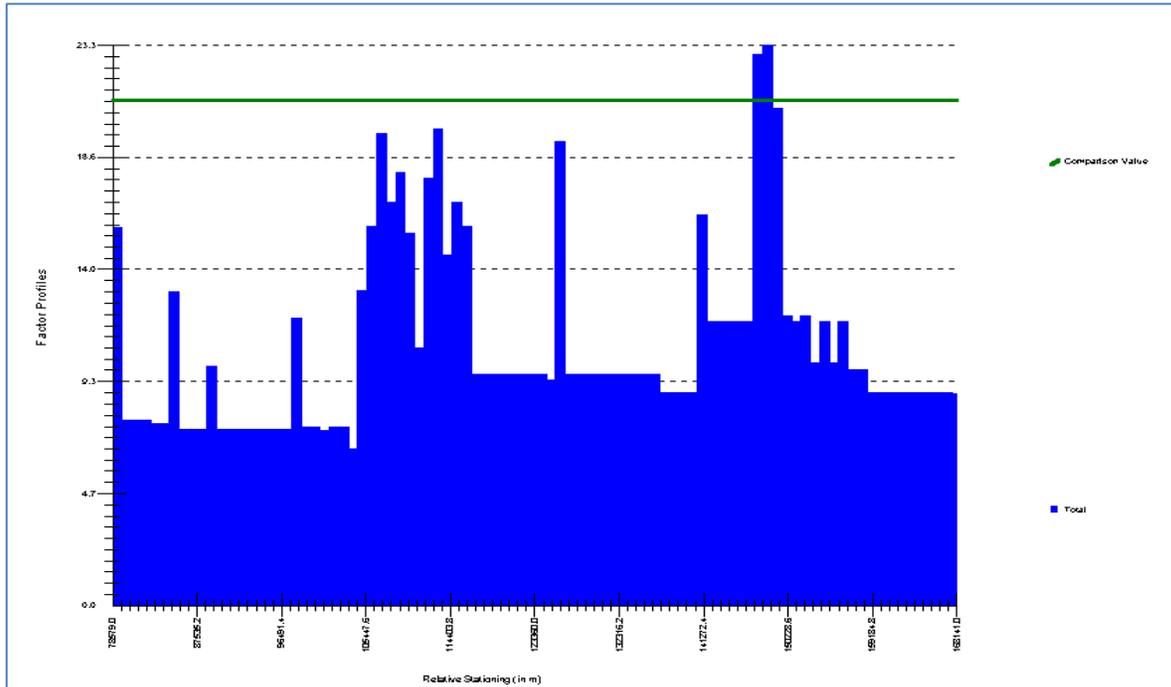
Este segmento se encuentra en riesgo administrado por lo tanto no será tomado como análisis de consecuencias.

Segmento 2. Cuitaca – Santa Ana

El Gasoducto de 16" Ø, en su segmento Cuitaca – Santa Ana se encuentra a cargo de la superintendencia de ductos Chihuahua. Este sistema cuenta con una longitud total de 89+562 kilómetros, espesor nominal de 0.250 pulgadas, 3 válvulas y 2 trampas de diablos.



Gráfica 4.2.3 C) Se observa que el segmento 2 Cuitaca –Santa Ana, tiene una afectación del 2.23%, que representa 2 kilómetros de longitud



Fuente: Resultado del programa IAP

Este segmento sobre pasa un riesgo no administrado por lo tanto los factores que influyen en el índice de Riesgo son:

Tabla 4.2.3 A) Valores de Riesgo por Factor y Fuente de Riesgo para el segmento 2:					
Nombre	Factor	Calificación			Fuente de Riesgo
		Bajo	Promedio	Alto	
Segmento 2 Cuitaca – Santa Ana	EC	4.10	5.79	9.16	<ul style="list-style-type: none"> - Tipo de Suelo: - Arcilla Sedimentada Dura - Tipo de Recubrimiento (Alquitrán de Hulla). - Edad del Ducto y del Recubrimiento (entre 10 y 20 años). - No se cumple con los criterios de Protección Catódica. - No se cumple con los criterios de inspección de intervalo cerrado para EC.



Tabla 4.2.3 A) Valores de Riesgo por Factor y Fuente de Riesgo para el segmento 2: (Continuación)

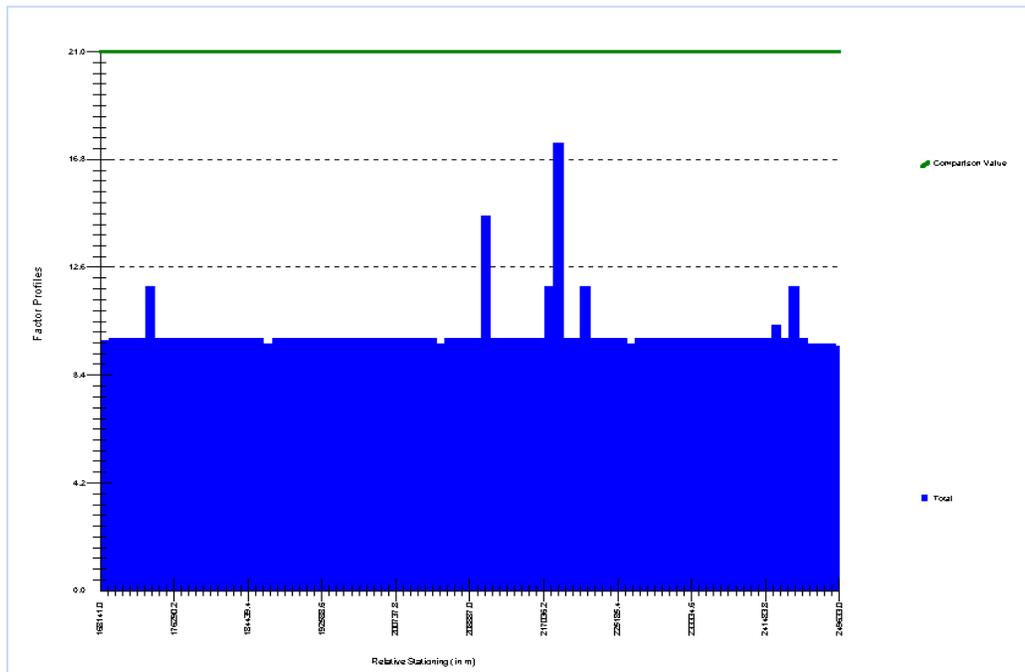
	TP	1.27	1.60	2.02	<ul style="list-style-type: none"> - Efectividad de respuesta ante una emergencia limitada. - Educación pública regular. - Cruces con la V.S. Magdalena (km. 147+986). - Cruce con las carreteras: Hermosillo - Nogales (km. 146+660), Imuris - Magdalena (km. 146+769) y Magdalena - Cucurpe (km. 148+028).
	IOP	0.75	1.99	7.12	- Clase de Localización 2.
	IOE	1.40	2.24	5.40	<ul style="list-style-type: none"> - Tipo de Suelo (Arcilla Sedimentada Dura). - Cruce con el canal 3 (km. 148+186) y el río Sasabe (km. 148+573). - El daño a la propiedad está calculado entre \$0 y \$10,000.

Fuente: Elaboración propia del Resultado del programa IAP

Segmento 3. Santa Ana – Los Chinos

El Gasoducto 16" Ø, en su segmento Santa Ana – Los Chinos se encuentran a cargo de la superintendencia de ductos Chihuahua. Este sistema cuenta con una longitud total de 81+492 kilómetros, espesor nominal de 0.250 pulgadas, 3 válvulas, y 2 trampas de diablos.

Gráfica 4.2.3 D) Perfil de Riesgo para el Segmento 3



Fuente: Resultado del programa IAP

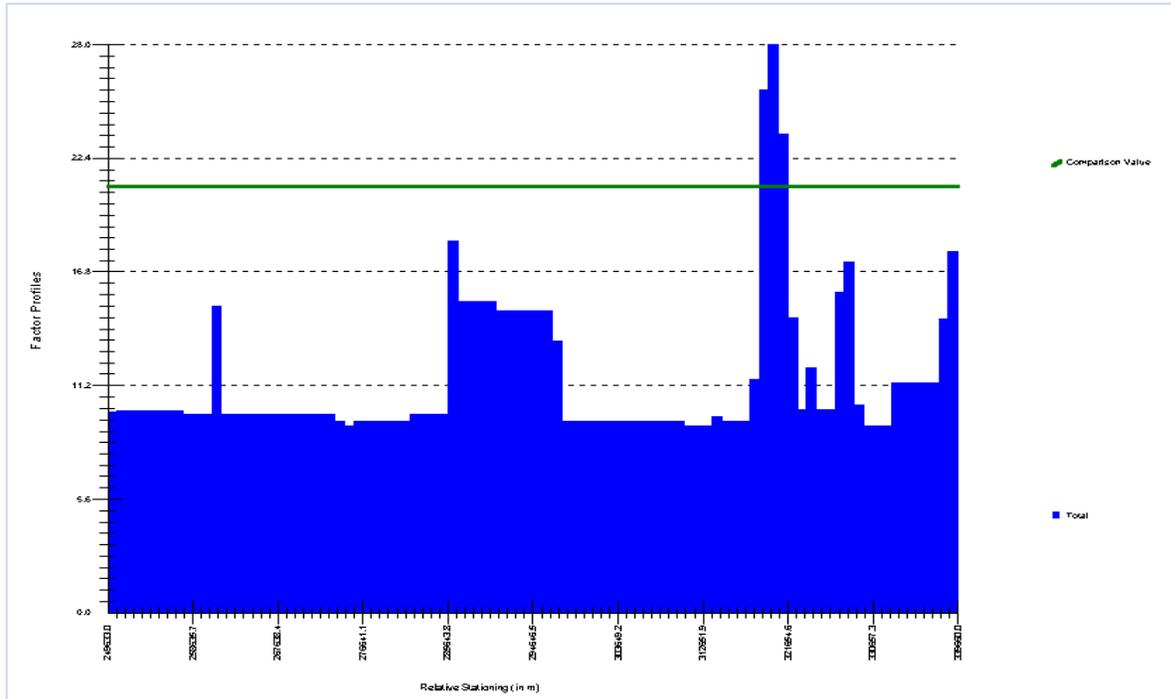
Este segmento se encuentra en riesgo administrado por lo tanto no se tomará en cuenta para el análisis de consecuencias.



Segmento 4. Los Chinos – Hermosillo

El Gasoducto de 16" Ø, en su segmento Los Chinos – Hermosillo se encuentra a cargo de la superintendencia de ductos Chihuahua. Este sistema cuenta con una longitud total de 90+027 kilómetros, espesor de 0.250 pulgadas, 3 válvulas y 2 trampas de diablos.

Gráfica 4.2.3 E) Perfil de Riesgo para el Segmento 4



Fuente: Resultado del programa IAP

Este segmento tiene una afectación del 3.33%, que representa 3 kilómetros de longitud. Los factores que influyen en el índice de Riesgo son:

Tabla 4.2.3 B) Valores de Riesgo por Factor y Fuente de Riesgo para el Segmento 4					
Nombre	Factor	Calificación			Fuente de Riesgo
		Bajo	Promedio	Alto	
Segmento 4 Los Chinos - Hermosillo	EC	4.75	5.38	7.97	<ul style="list-style-type: none"> - Tipo de Suelo (arenoso, tierra arable sedimentada). - Tipo de Recubrimiento (Alquitrán de Hulla). - Edad del Ducto y del Recubrimiento (entre 10 y 20 años). - No se cumple con los criterios de Protección Catódica. - No hay inspección visual del ducto y del recubrimiento.



Tabla 4.2.3 B) Valores de Riesgo por Factor y Fuente de Riesgo para el Segmento 4					
Nombre	Factor	Calificación			Fuente de Riesgo
		Bajo	Promedio	Alto	
	TP	1.02	1.55	2.62	<ul style="list-style-type: none"> - Actividad agrícola baja. - Efectividad de respuesta ante una emergencia limitada. - Cruces con las carreteras: Ferrocarril Guadalajara – Nogales (km. 319+224), San Pedro – Ures (km. 319+261) y San Pedro – Ures (km. 321+631). - Cruce con las vías de ferrocarril Guadalajara – Nogales (km. 319+224). - Cruce con estructuras de alto voltaje CFE (km. 320+489). - Cruce con la V.S. San Pedro (km. 319+614).
	IOP	2.10	2.53	7.66	- Clase de Localización 2.
	IOE	1.40	2.02	5.36	<ul style="list-style-type: none"> - Tipo de Suelo (Arenoso, tierra arable sedimentada). - El daño a la propiedad se calcula entre \$10,000 y \$100,000.

Fuente: Elaboración propia del Resultado del programa IAP

4.3 ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS

4.3.1 IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS DE RIESGO

Existen 5 puntos de riesgo alto a lo largo de todo el sistema de transporte de Gas Natural, donde los primeros factores que contribuyen a este son: la corrosión externa y terceras partes, además, dentro de los factores de consecuencias, los que más contribuyen son: Impacto a la Población e Impacto al Ambiente en la tabla 4.3.1 A) se encuentran todos los puntos de riesgo identificados, en el ducto 16" Ø Naco – Hermosillo.

Tabla 4.3.1 A) Distribución de los Puntos de Riesgo Identificados		
Gasoducto 16" Naco-Hermosillo		
Número	Segmento	puntos de riesgo
1	NACO-CUITACA	0
2	CUITACA-SANTA ANA	2
3	SANTA ANA-LOS CHINOS	0
4	LOS CHINOS HERMOSILLO	3
TOTAL		5

Fuente: Elaboración propia con datos de la elaboración de los puntos de Riesgo Identificados.



En la tabla 4.3.1 B) se muestran los 5 puntos de riesgo identificados de la tabla por números consecutivos, para los 2 segmentos (Cuitaca-Santa Ana y Los Chinos-Hermosillo) se muestran todos los puntos de riesgo, por segmento y kilometrajes, mostrando los números que los identificarán a lo largo del reporte. La tabla 4.3.1 C) muestra todos los factores: corrosión externa, terceras partes, impacto al medio ambiente e impacto a la población, junto con la clasificación de la población, lo que permite observar de una manera general todos los segmentos.

Tabla 4.3.1 B) Distribución de los Puntos de Riesgo			
No.	Identificación	KM	Segmento
1	2.1	146,579-147,579	CUITACA-SANTA ANA
2	2.2	147,579-148,579	CUITACA-SANTA ANA
3	4.1	318,633-319,633	LOS CHINOS HERMOSILLO
4	4.2	319,633-320,633	LOS CHINOS HERMOSILLO
5	4.3	320,633-321,633	LOS CHINOS HERMOSILLO

Fuente: Elaboración propia con datos de la elaboración de los puntos de Riesgo Identificados.

Tabla 4.3.1 C) Clasificación de los Puntos de Riesgo por Corrosión Externa, Terceras Partes, Impacto al Ambiente e Impacto a la Población							
No.	Identificación	Km	Segmento	CE/CL	TP/CL	IOE	IOP
1	2.1	146,579-147,579	CUITACA-SANTA ANA	2	2	2	2
2	2.2	147,579-148,579	CUITACA-SANTA ANA	2	2	2	2
3	4.1	318,633-319,633	LOS CHINOS HERMOSILLO	2	2	2	2
4	4.2	319,633-320,633	LOS CHINOS HERMOSILLO	2	2	2	2
5	4.3	320,633-321,633	LOS CHINOS HERMOSILLO	2	2	2	2

Fuente: Elaboración propia con datos de la elaboración de los puntos de Riesgo por Corrosión Externa.

Con base en los resultados, se pueden seleccionar los puntos de alto riesgo, a lo largo del ducto de gas natural, que son los que se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 4.3.1 D) Puntos de MÁS Alto Riesgo a Simular		
Identificación	Km	Segmento
2.2	147,579-148,579	CUITACA-SANTA ANA
4.1	318,633-319,633	LOS CHINOS HERMOSILLO

Fuente: Elaboración propia con datos de la elaboración de los puntos de más alto riesgo a simular.

Analizando los riesgos intrínsecos del transporte del Gas Natural en este sistema, los resultados se basan en una evaluación de impactos o consecuencias a la población, medio



ambiente e instalaciones, de acuerdo a fallas por diversas causas tales como: fugas por corrosión externa, diseño y vida del ducto, procedimientos de operación, etc.

Durante el análisis también se observó que la mayoría de los segmentos con puntos altos de riesgo por factores de falla por corrosión externa y terceras partes principalmente.

4.3.2 PLANTEAMIENTO DE ESCENARIOS

Evento I. Ruptura debido a Corrosión Externa Severa.

En los sitios donde existen creces de agua, existe una mayor posibilidad de presentarse corrosión, de igual manera en los sitios donde existen cruces aéreos, como en la llegada a válvulas de seccionamiento y en la llegada a trampas de diablos y/o estaciones de medición y Regulación, se pueden tener eventos causados por corrosión externa severa.

Los escenarios considerados se encuentran en creces aéreos, cruces con cuerpos de agua, cruces con carreteras, cruces con líneas de ferrocarril, las cuales son áreas sensibles y contienen válvulas de seccionamiento.

Los factores que pueden aumentar el riesgo por corrosión externa son factores de diseño, entre los cuales se pueden citar la edad del revestimiento, de monitores y la inspección visual de la línea.

Los factores de rehabilitación como la no reparación de efectos o fallas críticas derivadas de la inspección ultrasónica, podrían volverse susceptibles de desencadenar directa o indirectamente efectos posteriores. El tipo de corrosión es localizada y además este factor de falla es uno de los más frecuentes de accidentes en transporte de hidrocarburos.

Los escenarios debidos a corrosión externa severa son los siguientes:

Ruptura por corrosión Severa en la Interface Agua – Tierra

El siguiente escenario es debido a que se localizan ríos o cuerpos de agua por el paso del ducto. Los ríos o cuerpos de agua por donde atraviesa el ducto se encuentran clasificados e identificados.

Ruptura por corrosión severa en la interface Tierra – Aire

Algunas secciones se encuentran expuestas a la atmosfera, por lo que el cambio repentino de factores climatológicos, tales como: la variación de humedad de la tierra y de la atmósfera puede provocar el desgaste paulatino del revestimiento. Estas interfaces las podemos encontrar en: cruces aéreos, llegada a las válvulas de seccionamiento, área de trampa de diablos, llegada y salida de estaciones de compresión, de Medición y/o regulación, etc.



Ruptura catastrófica por corrosión externa severa en ducto enterrado

El escenario es debido al ducto enterrado con corrosión externa iniciando con fugas en poros pequeños que posteriormente se convierten en fisuras.

El segmento propuesto para el evento es el siguiente:

(4.1) Los Chinos – Hermosillo Ruptura Interfase Tierra – Aire. El aire que se propone es a la llegada de la válvula San Pedro (km. 319+600) en el segmento Loa Chinos – Hermosillo, el cual es uno de los sitios que tienen valor alto de corrosión externa.

Evento II. Fuga en área de válvulas de seccionamiento

Dentro del sistema se tienen diferentes tipos de válvulas de seccionamiento entre las que podemos mencionar las que son del tipo soldable y las bridas, dependiendo del tipo de válvula se plantea el escenario.

El segmento propuesto para el evento II es el siguiente:

(2.2) Cuitaca –Santa Ana Fuga en la interface Tierra – Aire a la llegada de la V.S Magdalena (km. 148+000) que se encuentra en el tramo del kilómetro 147+579 al 148+579 y el cual presenta corrosión.

4.3.3 SELECCIÓN DEL SITIO

La selección de los sitios se hizo tomando en cuenta las fallas y las consecuencias. Entre las fallas consideramos la corrosión externa, corrosión interna, terceras partes, diseño de materiales, movimientos del terreno, operación y procedimientos. Para las Consecuencias se tiene el Impacto a la Población, Impacto al Ambiente e Impacto al Negocio.

En la tabla siguiente se resumen los eventos planteados junto con los escenarios, la cual servirá como una referencia rápida, en la identificación del evento requerido.

Se realizó una simulación de consecuencias con ayuda del software Phast, para fugas de 3/4" y ruptura catastrófica.

Tabla 4.3.3 A) Eventos y escenarios planteados para corrosión externa		
Evento		Escenario
I	A	Ruptura Interfase Tierra-Aire
II	A	Fuga Interfase Tierra-Aire

Fuente: Elaboración propia con datos de Eventos y escenarios planteados para corrosión externa.



Ident/Evento		Km	Segmento	Escenario
2.2.	I a	147,579-148,579	Cuitaca-Santa Ana	Posible fuga en interface tierra-aire a la llegada de la V.S. MAGDALENA
4.1	II a	318,633-319,633	Los Chinos-Hermosillo	Posible ruptura debida a corrosión externa interface tierra-aire

Fuente: Elaboración propia con datos de los Puntos de más alto riesgo a simular.

4.3.4 INFORMACIÓN REQUERIDA PARA LA SIMULACIÓN EN PHAST

Se necesita conocer los datos en los sitios donde se localizan los escenarios, tales como: Temperatura promedio anual, Velocidad y dirección de los vientos reinantes, humedad relativa, etc.

Otra información que requiere el simulador PHAST son: las variables del proceso, inventario del gas natural, temperatura, presión, etc.

También se requirió del gasoducto como el diámetro, la longitud, así como el escenario que se plantea, como son: fuga, ruptura catastrófica, además el tipo de suelo sobre el que se encuentre el ducto.

El Instituto Nacional de Ecología en la guía para la elaboración de Estudios de riesgo Modalidad Ductos Terrestre establece zonas de seguridad al entorno de la instalación o proyecto y se indican a continuación:

Tipo de zona	Toxicidad (concentración)	Inflamabilidad (radiación térmica)	explosividad (sobrepresión)
Zona de Alto Riesgo	IDLH	5 kw/m ² 1,500 BTU/ft ² h	1.0 lb/plg ²
Zona de Amortiguamiento	TLV8 o TLV15	1.4 kw/m ² 440 BTU/ft ² h	0.5 lb/plg ²

Fuente: Criterios técnicos para simular escenarios de riesgos por fugas y derrames de sustancias peligrosas, en instalaciones de Petróleos Mexicanos, 2007.

En las modelaciones por toxicidad, se deben considerar las condiciones meteorológicas más críticas del sitio con base en la información de los últimos 10 años, en caso de no contar con dicha información, deberá utilizarse estabilidad clase F y velocidad del viento de 1.5 m/s.

Para el caso de simulaciones por explosividad, deberá considerarse en la determinación de las Zonas de Alto Riesgo y Amortiguamiento el 10% de la energía total liberada.



También se consideró la velocidad de 3 m/s clase D y la velocidad promedio en los lugares son estabilidad de D.

A continuación se muestran las tablas con los datos para la alimentación de las simulaciones de Consecuencias de los dos escenarios que presentaron un nivel de riesgo no administrado:

Tabla 4.3.4 B) Datos para la Simulación de Consecuencias Cuitaca – Santa Ana	
Sitio Fuga	2.2 Cuitaca-Santa Ana
Inventario (Kg)	5,070
Dist/Interés (m)	25/100/500
T. Operación (°C)	15
P. Operación (Kg/cm ²)	29.2
Diámetro (pulg)	16"
Tiempo/Fuga (seg)	3600
Diámetro/Fuga (pulg)	¾"
Tipo Superficie	Arcilla Dura
Altura Fuga	0
Dirección/Fuga	Vertical
T. Ambiente (°C)	46.8
Humedad Relativa	49
P. Atmosférica (atm)	1
Velocidad Viento (m/seg)	24.8
Longitud (m)	24,000
Concentración (ppm)	1000

Fuente: Elaboración propia con datos para la Simulación de Consecuencias Cuitaca – Santa Ana.

Tabla 4.3.4 C) Datos para la simulación de Consecuencias Segmento Los Chinos – Hermosillo	
Sitio Fuga	4.1 Los Chinos-Hermosillo
Inventario (Kg)	2,180,000
Dist/Interés (m)	500/1000/2000
T. Operación (°C)	15
P. Operación (Kg/cm ²)	29.2
Diámetro (pulg)	16"
Tiempo/Fuga (seg)	3600
Tipo Superficie	Arenoso
Altura Fuga	0
Dirección/Fuga	Vertical
T. Ambiente (°C)	46.8
Humedad Relativa	49
P. Atmosférica (atm)	1
Velocidad Viento (m/seg)	24.8
Longitud (m)	22,900
Concentración (ppm)	1000

Fuente: Elaboración propia con datos de la Datos para la simulación de Consecuencias Segmento Los Chinos – Hermosillo.



Tabla 4.3.4 D) Condiciones Climatológicas utilizadas en la Simulación	
Cuitaca - Santa Ana	
Se tomó el sitio más cercano que es:	Hermsillo Son.
Temperatura promedio anual:	24.6
Temperatura máxima extrema promedio anual:	46.8
Velocidad máxima de los vientos reinantes:	24.8
Humedad relativa media anual:	49
Dirección de los vientos reinantes:	SE
Dirección de los vientos dominantes:	E

Fuente: Elaboración propia con datos de las Condiciones Climatológicas utilizadas en la Simulación.



CAPÍTULO 5

SIMULACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS



5. SIMULACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 RESUMEN DE LOS RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN

En esta sección se muestra un resumen de los resultados de las simulaciones y se hace una discusión de los mismos. Se presentan resultados de Concentración, Radiación e Inflamabilidad, así como una matriz de riesgo, la cual clasifica las acciones que deberán de tomarse para mitigarse el riesgo relativo.

En la tabla 5.1 A) se presentan los resultados de los cálculos para el estado final de la descarga, es decir las condiciones del fluido al ser liberado en cada uno de los escenarios planteados. En las tablas Tabla 5.1.B) y Tabla 5.1.C) se presentan las concentraciones calculadas de las emisiones de gas generadas a determinadas distancias de interés. Además en la Tabla 5.1.D) se representan las distancias a las que se tendría una radiación de 550 BTU/hr-pie² (1.73 kw/m²), en el caso de incendios de nubes de gas (valores de radiación). En la tabla Tabla 5.1.E) se presentan las distancias en las cuales se tendrían sobrepresiones de 0.3 psig (0.0207), 2.0 psig (0.1379 bar) y 3 psig (0.2068 bar) en las zonas de peligro a causa de una explosión.

Identificación del evento	Masa Relevada (Kg)	Flujo de Relevo (Kg/s)	Velocidad de descarga (m/s)	Duración de la fuga (s)
2.2	5,070	1.4	500	3600
4.1	2,180,000	42.2	351.33	3600

Fuente: Criterios técnicos para simular escenarios de riesgos por fugas y derrames de sustancias peligrosas, en instalaciones de Petróleos Mexicanos, 2007.

Identificación del evento.	Distancia Máxima para una Concentración de 1000 ppm (m)	Tiempo Promedio (s)	Concentración en (mol ppm) a una distancia de		
			25(m)	100 (m)	500 (m)
2.2	80.48	18.75	6318.36	793.66	54.8337

Fuente: Criterios técnicos para simular escenarios de riesgos por fugas y derrames de sustancias peligrosas, en instalaciones de Petróleos Mexicanos, 2007.



Tabla 5.1 C) Resultados de dispersión de Gas (Distancia –Concentración)					
Identificación del evento.	Distancia Máxima para una Concentración de 1000 ppm (m)	Tiempo Promedio (s)	Concentración en (mol ppm) a una distancia de		
			500(m)	1000 (m)	2000 (m)
4.1	484.78	18.75	1054.45	352.74	116.25

Fuente: Criterios técnicos para simular escenarios de riesgos por fugas y derrames de sustancias peligrosas, en instalaciones de Petróleos Mexicanos, 2007.

Tabla 5.1 D) Resultados de Distancias Máximas para Distintos Niveles de Radiación				
Identificación del evento	Distancia. Máxima. (mts) a una Intensidad de Radiación de 550 Btu/hr-pie ² (1.73 kw/m ²)	Distancias en metros Para los siguientes niveles de Radiación Btu/hr pie ² . (kw/m ²)		
		1268.8 (4.0)	3964.8 (12.5)	11894.6 (37.5)
2.2	34.62	27.57	21.40	17.56
4.1	161.49	125.33	92.55	71.262

Fuente: Criterios técnicos para simular escenarios de riesgos por fugas y derrames de sustancias peligrosas, en instalaciones de Petróleos Mexicanos, 2007.

Modelos “Baker Strehlow Explosión”

Tabla 5.1 E) Resultados de los cálculos de explosión (N.A. no alcanzado)				
Identificación del evento	Masa Inflamable en la Nube. (Kg)	Distancia Máxima a una sobrepresión de 0.3 Psig (0.0207 bar) (metros).	Distancia Máxima a una sobrepresión de 2.0 Psig (0.1379 bar) (metros).	Distancia Máxima a una Sobrepresión de 3.0 Psig (0.2068 bar) (metros).
2.2	5,069.72	10.44	N.A.	N.A.
4.1	152,202	97.38	18.60	12.23

Fuente: Criterios técnicos para simular escenarios de riesgos por fugas y derrames de sustancias peligrosas, en instalaciones de Petróleos Mexicanos, 2007.

Dado que el escenario por fuga en interface Tierra – Aire a la llegada de la válvula de seccionamiento Magdalena, es poco probable y las consecuencias no afectan más de 10 hectáreas no hay afectación a flora y fauna. Podemos decir que es un evento de nivel de emergencia Local Menor.

Para el evento de ruptura por corrosión externa en interface Tierra – Aire en el segmento los Chinos – Hermosillo, es el nivel de emergencia zonal, sin embargo su probabilidad de ocurrencia es muy poco probable.



Tabla 5.1 F) Matriz de Riesgo

P R O B A B I L I D A D	Probable > 10 ⁻²					
	Improbable 10 ⁻³ a 10 ⁻²			2.2		
	Muy improbable 10 ⁻⁵ a 10 ⁻³			4.1		
	Extremadamente improbable < 10 ⁻⁵					
	NIVELES	I	II	III	IV	V
		CONSECUENCIAS				

Fuente: Formato tomado de Criterios técnicos para simular escenarios de riesgos por fugas y derrames de sustancias peligrosas, en instalaciones de Petróleos Mexicanos, 2007.

(2.2) Posible Fuga de ¾" en interface tierra – aire a la llegada de la V. S. Magdalena

(4.1) Posible ruptura por corrosión externa severa en interfaces tierra – aire

De acuerdo a la Tabla de Matriz de Riesgo, el escenario siguiente debe ser mitigado con ingeniería y/o controles administrativos a riesgo relativo de daño o pérdidas en un periodo de tiempo específico.

- Fuga de ¾" en interface tierra – aire a la llegada de la V. S. Magdalena.

El siguiente escenario es indeseable y deberá de ser mitigado con ingeniería y/o controles administrativos al riesgo relativo de daño o pérdida en un periodo de tiempo.

- Posible ruptura por corrosión externa en interfaces (tierra – aire).

En la tabla 5.1 G) se presentan las áreas de afectación llamadas zona de riesgo y zona de amortiguamiento.



La zona de riesgo para los resultados de radiación es aquella área en la cual se alcanzan valores de 4 Kw/m^2 (1268 BTU/hr ft^2), 12.5 Kw/m^2 ($3964.8 \text{ BTU/hr ft}^2$) y 37.5 Kw/m^2 ($11894.6 \text{ BTU/hr ft}^2$). En el caso de los efectos por sobrepresión se consideran los valores de 2.0 psig (0.1379 bar) y 3.0 psig (0.2068 bar).

La zona de amortiguamiento es aquella zona en la cual se tiene un valor de 1.73 kw/m^2 ($550/\text{hrft}^2$) en el caso de radiación. Para el caso de sobrepresión se considera e valor de 0.3 psig (0.0207 bar).

Tabla 5.1 G) Zona de Riesgo y Zona de Amortiguamiento

Instalación	Escenario	Tasa de Emisión Kg/s	Zona de Inflamabilidad (m)	FUEGO		EXPLOSION		TOXICIDAD
				Zona de afectación por Radiación Térmica		Zona de afectación por Sobrepresión		Distancia en (m)
				(m)		(m)		
				Nivel 1 1.73 (Kw/m2)	Nivel 2 4.0 (Kw/m2)	Nivel 1 0.3 (Psig)	Nivel 2 2.0 (Psig)	
Ducto Enterrado	2.2. Fuga interfase tierra-aire	1.4	3.65	34.62	2757	10.43	N.A.	80.48
Ducto Enterrado	4.1. Ruptura por corrosion exterr	42.2	23.9	161.49	125.33	97.37	18.6	484.78

Fuente: Creación propia de la Zona de Riesgo y Zona de Amortiguamiento.

Nota: La determinación de zona de amortiguamiento (Escenario 2.2) en la categoría 1.5/F es de 9.12 m, lo que comúnmente se reporta para SEMARNAT y para el caso del escenario 4.1 es una distancia de 45.93 m.

5.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS

La tabla 5.1 G) resume los resultados de las modelaciones realizadas.

Para las zonas de afectación se asegura que cualquier persona que se encuentre dentro del alcance de los radios reportados, sufrirá lesiones e incluso la muerte, lo cual no sucederá para aquellos que estén afuera de estas zonas.

Modelos de descarga

Es los resultados del modelo de descarga (tabla 5.1 A) se reporta la Masa Relevada, esta cantidad es propuesta por el usuario. El flujo de relevo es calculado por el programa. Este flujo es dependiente tanto del diámetro del orificio de la fuga, como de presión del sistema analizado y de tiempo de fuga, entre otros.

Modelo de dispersión

En los resultados de las tablas 5.1.B) y 5.1.C) se indican valores de distancia contra concentración.

Para el sistema de transporte se observa que el caso más crítico corresponde a la hipótesis que involucra ruptura catastrófica, registrando que alcanzaría una concentración 1000 ppm a una distancia de hasta 484.7 metros.



Modelos de inflamabilidad (Niveles de Radiación)

Los resultados mostrados en la tabla 5.1.D) muestran las distancias máximas a las cuales se tiene una intensidad de radiación de 550 BTU/hr-pie^2 (1.73 kw/m^2), que de acuerdo al API-521, el tiempo de exposición necesario para alcanzar el umbral del dolor a esta radiación es de 60 segundos aproximadamente.

(Nivel 1) En el caso de suceder cualquiera de los escenarios, las personas que se encuentren a esta distancia y si permanecen más de 60 segundos dichos efectos.

(Nivel 2) El nivel de radiación de 4.0 Kw/m^2 (1268 BTU/hr ft^2) es suficiente para causar dolor al personal si este no puede protegerse en 20 segundos; sin embargo, es factible la formación de ampollas en la piel (quemaduras de segundo grado); o fatalidad.

El nivel de 12.5 Kw/m^2 ($3964.8 \text{ BTU/hrft}^2$) es la energía mínima requerida para la ignición de la madera, fundición de la tubería de plástico, el tiempo de exposición necesario para alcanzar el umbral de dolor es de 4 segundos. (Estos datos de radiación térmica y sus efectos observados son tomados de: World Bank).

Finalmente el efecto observado para un nivel de radiación de 37.5 Kw/m^2 ($11894.6 \text{ BTU/hr ft}^2$), es suficiente para causar daño a equipo de proceso, además de prender la madera por exposiciones prolongadas. (Reportado en la tabla 5.1 D) Observamos que el escenario que corresponde a la ruptura catastrófica es el crítico ya que sus distancias alcanzan los mayores niveles de radiación.

Modelos de explosividad (Niveles de Sobrepresión)

En la tabla 5.1.G) se muestra la extensión máxima a los niveles de sobrepresión explosiva (0.3 y 2.0), para los diferentes escenarios.

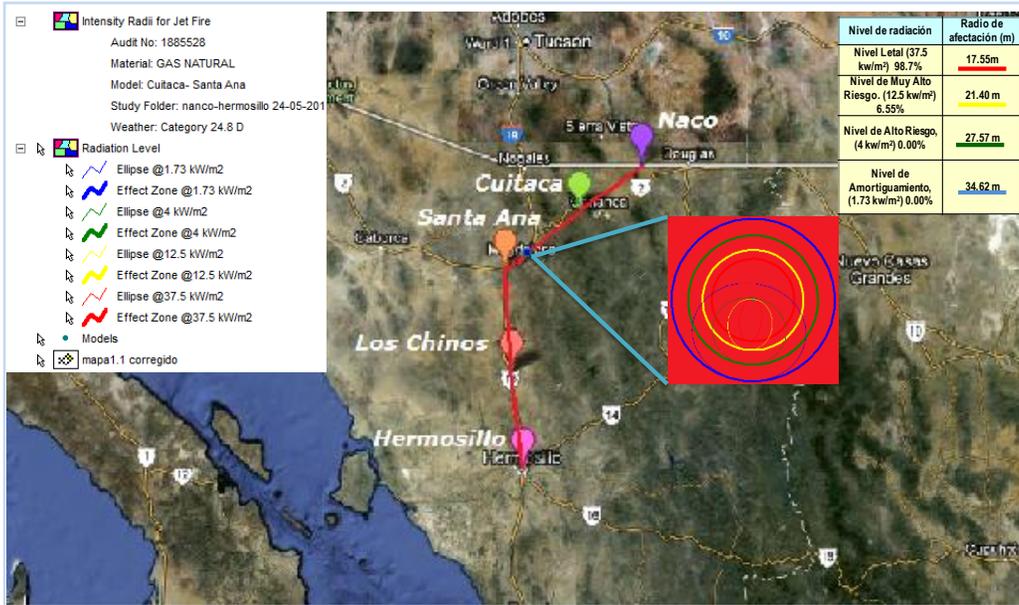
El área dentro de la curva de 2.4 psig (Nivel 2), ocasiona colapsos parciales de techos y paredes de construcciones, deformación de armazón de acero de edificios revestidos, destrucción de asbesto corrugado, etc.

El significado y daños que producen una sobrepresión de 0.3 psig (Nivel 1) son: ruptura de ventas grandes y pequeñas normalmente estrelladas; a partir de valores de sobrepresión de 0.95 psig, pueden ocurrir daños ocasionales a marcos de puertas, lanzamiento de proyectiles y la probabilidad de que ocurran daños serios.

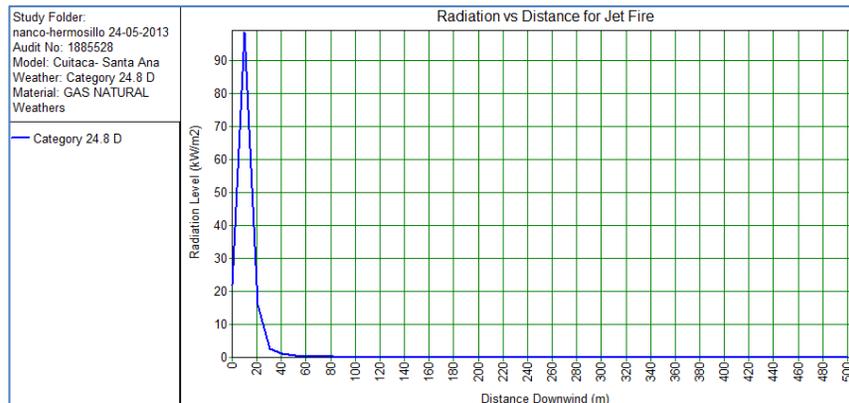
En el escenario que corresponde a la posible ruptura catastrófica, también se observa que es la que provocaría mayores consecuencias, pues las distancias son mayores en todos los casos de niveles de sobrepresión.

5.3 DIAGRAMAS DE RADIOS DE AFECTACIÓN

Radios de afectación por Jet Fire del segmento Cuitaca-Santa Ana



Fuente: Imagen resultado del simulador PHAST

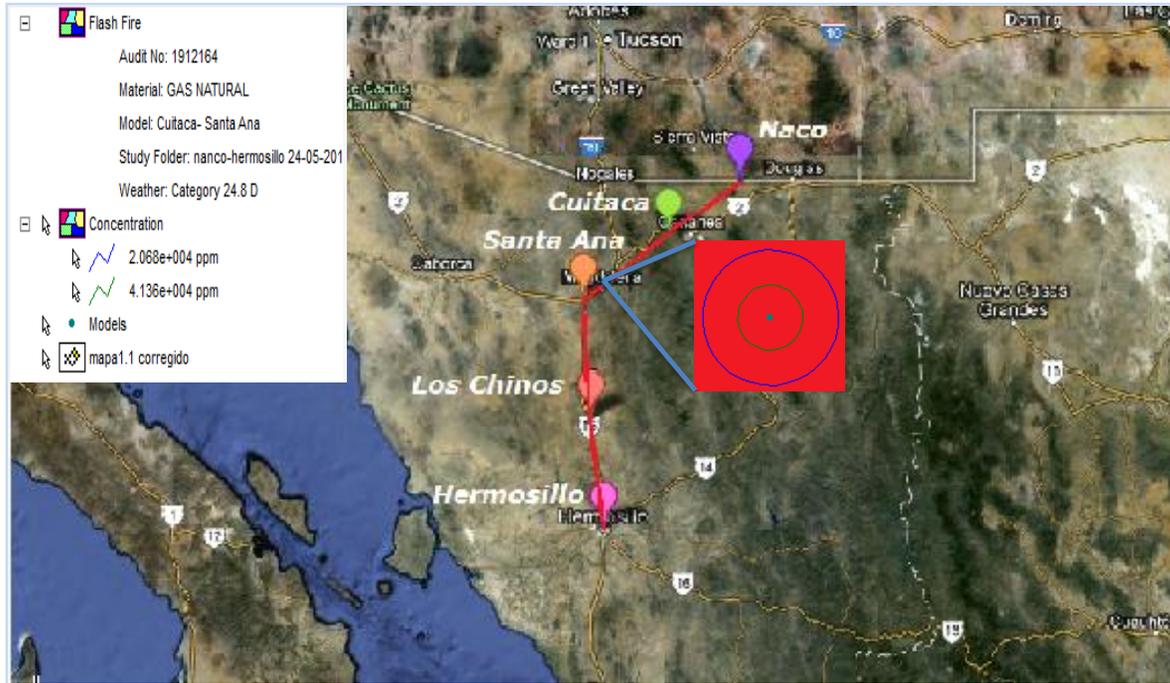


Fuente: Imagen resultado del simulador PHAST

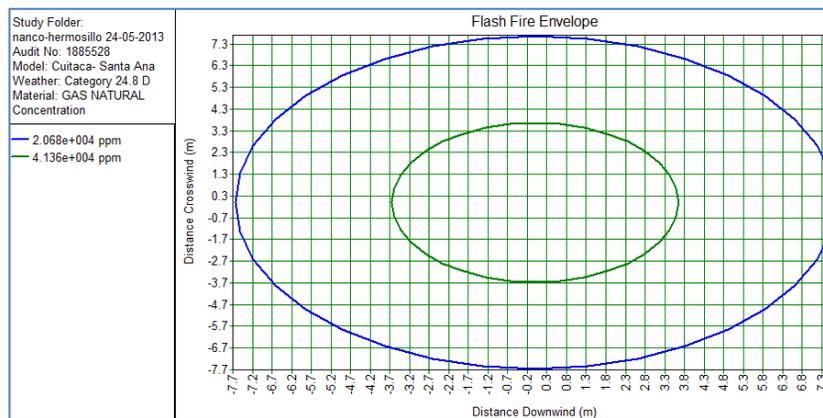
NIVEL DE RADIACIÓN A EQUIPOS (37.5 kW/m ² (API 581))	NIVEL DE RADIACION DE ALTO RIESGO (1500 Btu/hr-ft ² ≅ 12.5 kW/m ²)	NIVEL DE RADIACIÓN AMORTIGUAMIENTO (440 Btu/hr-ft ² ≅ 1.73 kW/m ²)
Nivel de radiación suficiente para estimar la zona de afectación a equipos de proceso/colapso de estructuras y es letal para la integridad personal.	Energía mínima requerida para que la madera se prenda por contacto con fuego. Tubería de plástico se funde. Nivel de radiación para alcanzar el umbral de dolor en 16 seg en personas, las cuales pueden sufrir posibles quemaduras de 2° grado para tiempos de exposición mayores a 16 seg con un tiempo máximo de exposición de 3 minutos pero con equipo de protección personal; se estima 0% de letalidad para esta radiación.	Radiación que se estima no causará molestia por exposición prolongada tomando de referencia que la radiación recibida del sol en un día de verano es aproximadamente de 1 kW/m ² .

Fuente: Elaboración propia con información de "Criterios técnicos para simular escenarios de riesgos por fugas y derrames de sustancias peligrosas, en instalaciones de PEMEX, 2007

Radio de afectación por Flash Fire del segmento Cuitaca - Santa Ana



Fuente: Imagen resultado del simulador PHAST

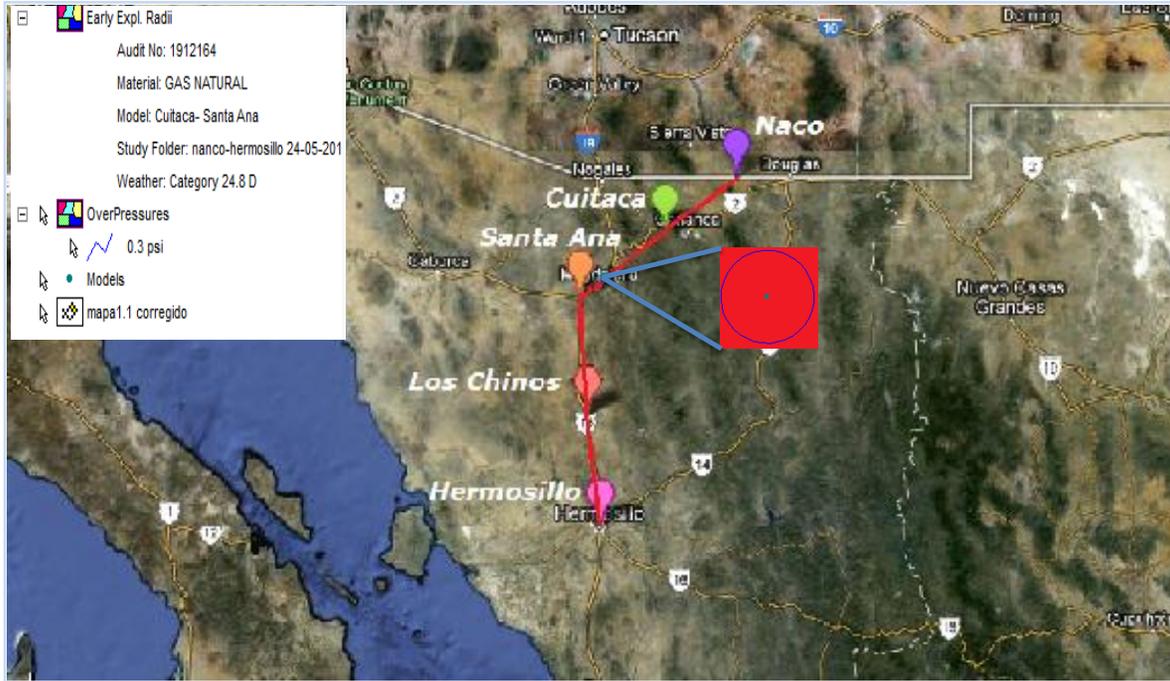


Fuente: Imagen resultado del simulador PHAST

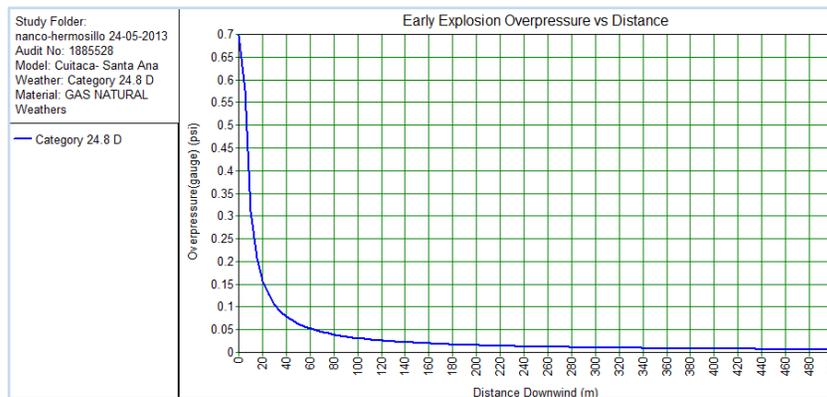
Radio, Flash Fire LFL (m)	Radio, Flash Fire ½ LFL (m)
3.65 m	7.64 m

Fuente: Elaboración propia con los resultados del simulador PHAST

Radio de afectación por sobrepresión del segmento Cuitaca - Santa Ana



Fuente: Imagen resultado del simulador PHAST

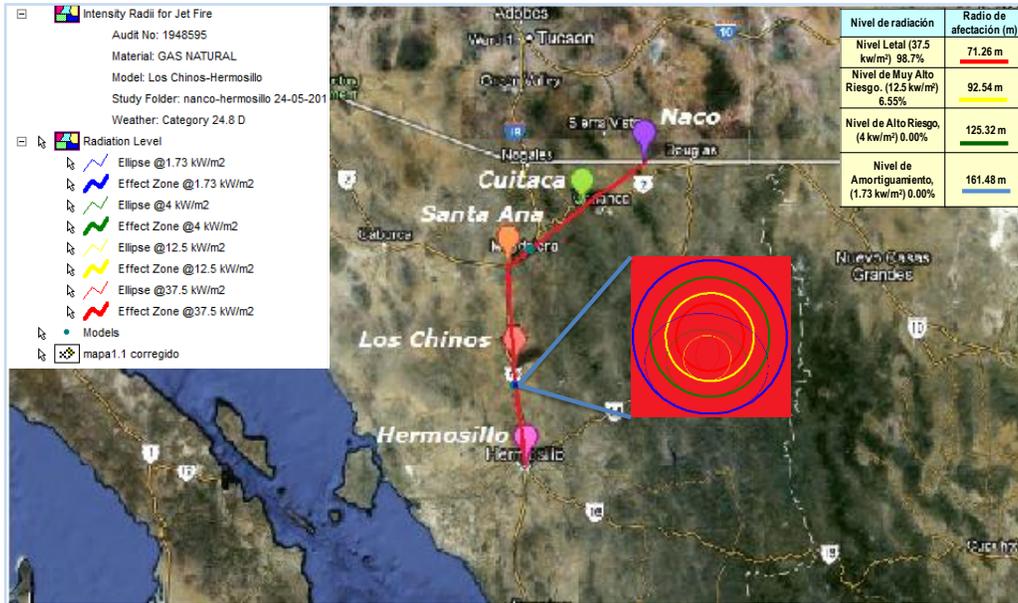


Fuente: Imagen resultado del simulador PHAST

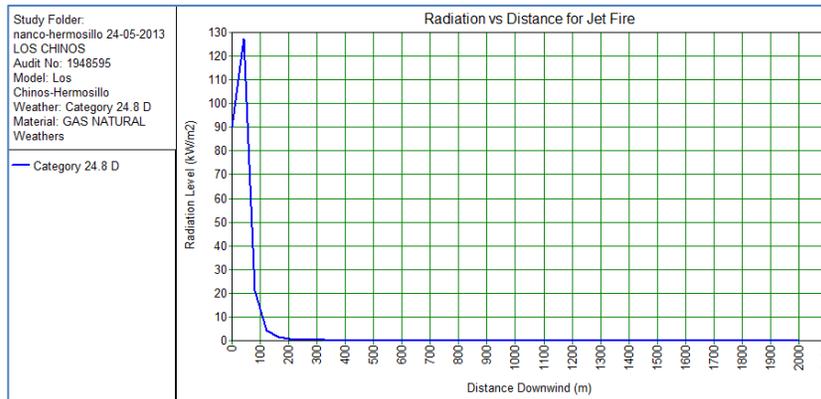
TIPO DE EVENTO	RADIO DEL AREA AFECTACIÓN POR SOBREPRESIÓN (m)			
	Nivel Letal (5 psi)	Nivel de muy Alto Riesgo (3 psi)	Nivel de Alto Riesgo (2 psi)	Nivel de Amortiguamiento (0.3 psi)
Ignición Tardía	Not Reachable	Not Reachable	Not Reachable	10.43 m
	—	—	—	—

Fuente: Elaboración propia con los resultados del simulador PHAST

Radio de afectación por Jet Fire del segmento Los chinos - Hermosillo



Fuente: Imagen resultado del simulador PHAST

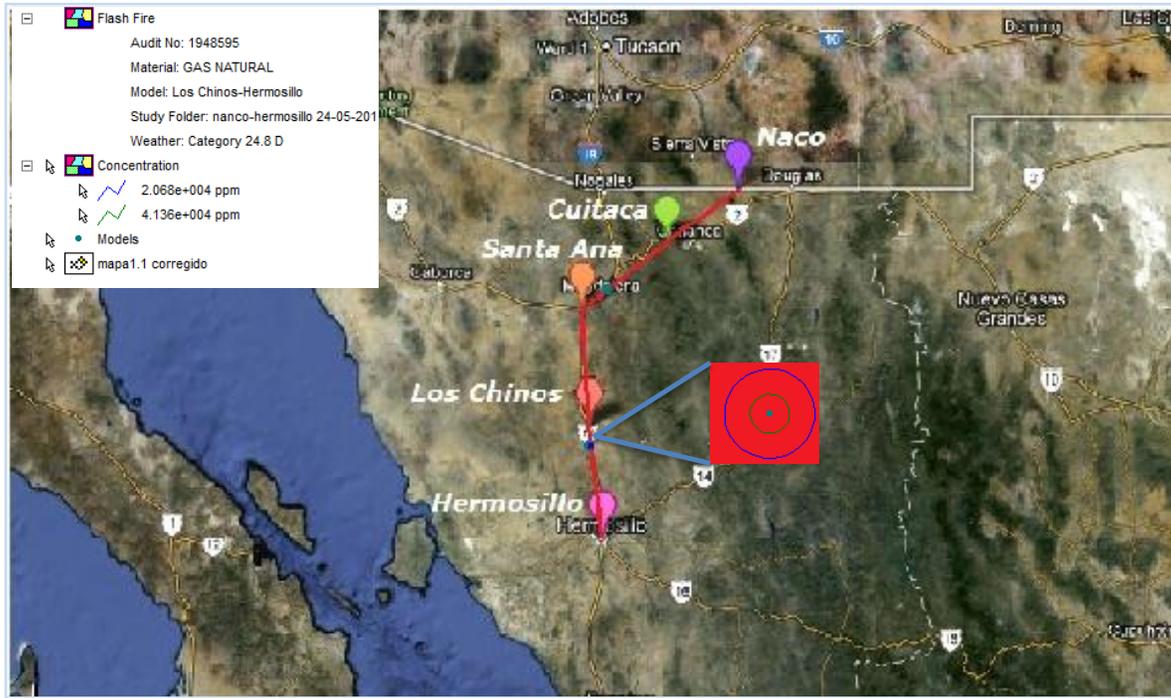


Fuente: Imagen resultado del simulador PHAST

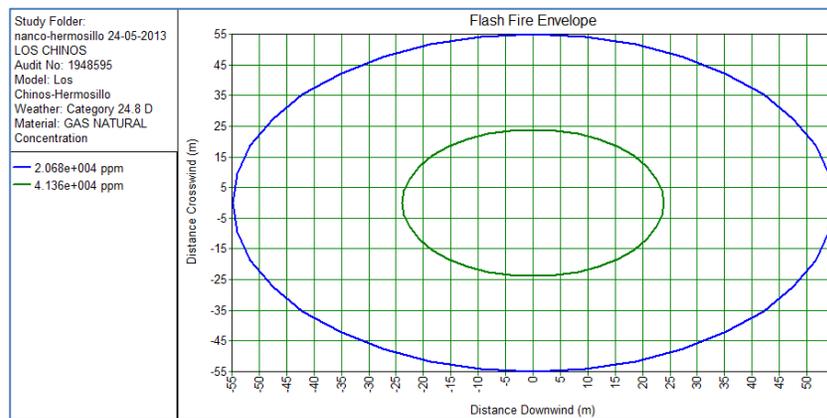
NIVEL DE RADIACIÓN A EQUIPOS (37.5 kW/m ² (API 581))	NIVEL DE RADIACION DE ALTO RIESGO (1500 Btu/hr-ft ² ≅ 12.5 kW/m ²)	NIVEL DE RADIACIÓN AMORTIGUAMIENTO (440 Btu/hr-ft ² ≅ 1.73 kW/m ²)
Nivel de radiación suficiente para estimar la zona de afectación a equipos de proceso/colapso de estructuras y es letal para la integridad personal.	Energía mínima requerida para que la madera se prenda por contacto con fuego. Tubería de plástico se funde. Nivel de radiación para alcanzar el umbral de dolor en 16 seg en personas, las cuales pueden sufrir posibles quemaduras de 2° grado para tiempos de exposición mayores a 16 seg con un tiempo máximo de exposición de 3 minutos pero con equipo de protección personal; se estima 0% de letalidad para esta radiación.	Radiación que se estima no causará molestia por exposición prolongada tomando de referencia que la radiación recibida del sol en un día de verano es aproximadamente de 1 kW/m ² .

Fuente: Elaboración propia con información de "Criterios técnicos para simular escenarios de riesgos por fugas y derrames de sustancias peligrosas, en instalaciones de PEMEX, 2007

Radio de afectación por Flash Fire del segmento Los chinos - Hermosillo



Fuente: Imagen resultado del simulador PHAST



Fuente: Imagen resultado del simulador PHAST

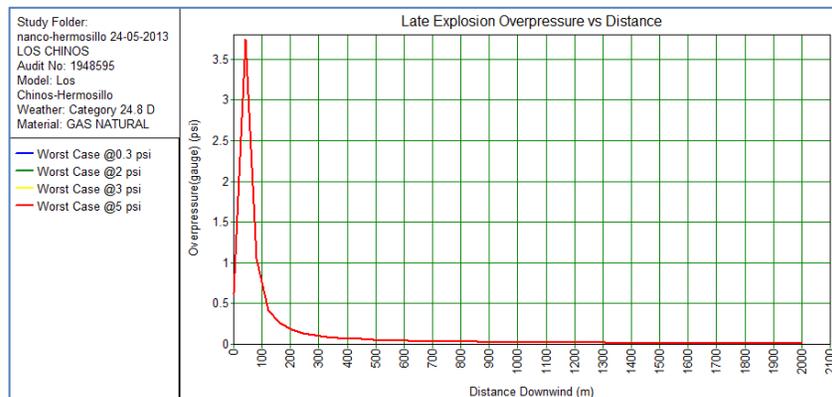
Radio, Flash Fire LFL (m)	Radio, Flash Fire ½ LFL (m)
23.89 m	54.90 m

Fuente: Elaboración propia con los resultados del simulador PHAST

Radio de afectación por sobrepresión del segmento Los chinos - Hermosillo



Fuente: Imagen resultado del simulador PHAST



Fuente: Imagen resultado del simulador PHAST

TIPO DE EVENTO	RADIO DEL AREA AFECTACIÓN POR SOBREPRESIÓN (m)			
	Nivel Letal (5 psi)	Nivel de muy Alto Riesgo (3 psi)	Nivel de Alto Riesgo (2 psi)	Nivel de Amortiguamiento (0.3 psi)
Ignición Tardía	6.14 m	12.2 m	18.6 m	97.38

Fuente: Elaboración propia con los resultados del simulador PHAST



CONCLUSIONES

Y RECOMENDACIONES



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Tomando como referencia la base de datos considerada para las corridas en el IAP, que dio como resultado una fuga de 3/4" y una ruptura catastrófica como de alto Riesgo por las dos principales causas (Corrosión Externa y Daños por Terceras Partes), y tomando en cuenta los resultados de las simulaciones mediante PHAST se concluye:

- 1.- Partiendo del hecho que el ducto tiene una longitud total de 1252+500 Km, se observa que el 3.43% (43 Km) tendrían un resultado de nivel de riesgo intolerable, lo cual nos permite establecer que un porcentaje bajo de todo el ducto podría presentar problemas.
- 2.- Debido a que los puntos más vulnerables se localizaron en cruces con cuerpos de agua, poblaciones clase 3, vías de comunicación, etc. se concluye que es necesario incrementar el mantenimiento preventivo y predictivo en estas áreas.

Recomendaciones

- Se recomienda revisar y actualizar en caso necesario los Planes de respuesta de emergencia (en los sectores), a modo de mejorar los tiempos de respuesta ante una situación no deseada.
- Se recomienda realizar los análisis de riesgo periódicos, sobre todo cuando se presente algún cambio en el sistema.
- Ya que el Programa de Evaluación de Integridad (IAP) es un software auxiliar en la administración del Riesgo, se recomienda tener al 100% y actualizadas las bases de datos, a modo de monitorear constantemente las condiciones de Riesgo en las que se encuentra el sistema.
- Implementar una cultura entre el personal de operación y mantenimiento para registrar, reportar y dar seguimiento a la reparación emisiones fugitivas de gas, fallas de los equipos, instrumentos y dispositivos de control.
- Llevar a cabo los formatos y procedimientos para el registro de fallas y establecer responsabilidades entre el personal designado para esto, con el fin de garantizar un seguimiento de su reparación.



BIBLIOGRAFÍA



BIBLIOGRAFÍA

- *De la Mora Medina, R. "Análisis de árbol de fallas" I.M.P., 2000.
- *PROCESS HAZARD ANALYSIS. Hazrd and Operability (HAZOP) and What-if/Check list Techniques. Process Safety Institute: Knoxville, TN. 1997.
- *Ezequiel Ander-Egg, "Repensando la Investigación-Acción Participativa, Cuarta Edición, Grupo Editorial Lumen Hvmanitas, 2003
- *Manual "Criterios Técnicos para simular escenarios de riesgo por fugas y derrames de sustancias peligrosas, en instalaciones de petróleos mexicanos", 2007.
- *(A.P.I) American Petroleum Institute. Manual de Normas Para Medición del Petróleo.
- *Jiménez Rico Tania, "Aplicación de las técnicas Hazop, análisis de consecuencias y análisis por árbol de fallas para la identificación y evaluación de los riesgos en una planta de aguas amargas de una refinería", Ingeniero Químico, UNAM, Fes Zaragoza, México DF, 2005
- *CEASPA (2005) "Manual para la elaboración de análisis de riesgos de tipo "What-if...?".Centro de estudios para la administración de procesos petroquímicos, polímeros y de protección ambiental, UNAM
- *Raúl Sánchez Meza. Curso de análisis de riesgos. Facultad de Química. 2005
- *Joaquim Casal, Helena Montiel. Análisis de riesgos en la Industria Química. Fundación MAPFRE, España, 1994.
- *Bufete de profesionales en seguridad Industrial, S.A de C.V. Criterios para evaluar la probabilidad de ocurrencia en árbol de fallas, Curso de Análisis de Riesgos, CONIC.
- *COMERI 144, Lineamientos para realizar Análisis de Riesgos de Proceso, Análisis de Riesgos de Proceso, Análisis de Riesgos de Ductos y Análisis de Riesgo de Seguridad Física, en Instalaciones de Petróleos Mexicanos y Organismos Subsidiarios.
- *Manual "Procedimiento para realizar el análisis de riesgos de seguridad física, en instalaciones de petróleos mexicanos y organismos subsidiarios".
- *Guías técnicas para realizar análisis de riesgos de proceso.
- * Procedimientos de operación de los sistemas de transporte de gas LP y Gas Natural, operados con SCADA. Rev. 3; Junio 27 de 2001
- *Especificaciones técnicas establecidas por el Código ASME B31.4 Liquid Transportation Systems for Hydrocarbons, Liquid Petroleum Gas, Anhydrous Ammonia and Alcohols, API STD



1104 Standard for Welding Pipelines and Related Facilities, API-RP 576, Inspection of Pressure Relieving Devices, API-RP 1111, Design Construction, Operation, and Maintenance of Offshore Hydrocarbon Pipelines, API-RP 1107 Recommended Pipeline Maintenance Welding Practice, entre otras, las cuales se utilizan internacionalmente en las instalaciones de tuberías para la conducción de gas L.P.

*Centro para la Seguridad de Procesos Químicos (Center for Chemical Process Safety). Guías para Procedimientos de Evaluación de Riesgo (Guidelines for Hazard Evaluation Procedures), Segunda Edición con Ejemplos Desarrollados, Instituto Americano de Ingenieros Químicos, (AIChE), Nueva York, NY, 1992.

*(AIChE 1987) AIChE, Fire and Explosion Index. Hazard classification Guide, AIChE, USA, 1987.

*(AIChE 1994) AIChE, Dow's chemical exposure index guide, AIChE, USA, 1994.

*Guidelines for Chemical Transportation Risk Analysis. AIChE 1995.

*CCPS/AICHE. Guidelines for Chemical process quantitative risk analysis; New York, 1989.

*NO. 09.1.06 Instrumentación y Dispositivos de Protección para los Sistemas de Transporte por Tubería - Octubre 1999.

*Instrucción Genérica de Elaboración de instrucciones del Sistema de Calidad. (GO-IG-ES-002).

*Instrucción Genérica de Coordinación del transporte por Ducto de Gas Natural y Gas L.P. (GO-IG-CF-007).

*CID-NOR-N-SI-001 Requisitos Mínimos de Seguridad para el Diseño, Construcción, Operación, Mantenimiento e Inspección de Ductos de Transporte – 14 de Agosto de 1998.

*NRF-010-PEMEX-2001 Espaciamientos Mínimos y Criterios para la Distribución de Instalaciones Industriales en Centros de Trabajo de Petróleos Mexicanos y Organismos Subsidiarios

*J.M. Storch de Gracia; Manual de Seguridad Industrial en Plantas Químicas y Petroleras; Fundamentos, Evaluación de Riesgos y Diseño. Editorial McGrawHill. España 1998.

*NRF-018-PEMEX-2007 Estudios de riesgo.

*PHASt- Manual de capacitación DNV Technica Software Products Divisió. 1994-96, All Rights Reserved.

*Anuario estadístico de Pemex, pp. 11, 23, 29, 37, 2005.

*Procuraduría Federal de Protección al Ambiente PROFEPA, Subprocuraduría de Auditoría Ambiental, Dirección General de Auditoría del Riesgo Ambiental y Prevención de Accidentes, 2001.



*Datos de Accidentes de Pemex-Refinación, Subdirección de Distribución. Gerencia de Transportación por ducto, Subgerencia Ductos Sureste, 2004.

*NFR-030-PEMEX-2003, Diseño, construcción, inspección y mantenimiento de ductos terrestres para transporte y recolección de hidrocarburos, 2003.

* <http://www.elmundo.es/elmundo/2008/05/15/internacional/1210882172.html> (tiene todos los accidentes de la tabla)

*<http://www.redbetances.com/documentos/documentos-programaticos-del-minh/370-juan-camacho-.html> 17-06-2013 5:55 pm (Agosto 1969: Explota gasoducto en Henan, China)

*<http://www.elsiglodetorreon.com.mx/noticia/862250.1992-ocurren-fuertes-explisiones-en-el-sistema-de-alcantarillado-de-guadalajara.html> 17-06-2013 5:46 pm

*<http://mexico.cnn.com/nacional/2010/12/19/una-explision-en-ductos-de-pemex-deja-10-muertos-en-el-estado-de-puebla> 17-06-2013 5:37 pm

*http://www.cientifica.esimez.ipn.mx/volumen09/V09N4_159_165.pdf Estudio del riesgo en ductos de transporte de gasolinas y diésel en México, científica Vol.9 Núm. 4 pp. 159-165

*http://www.unizar.es/guiar/1/Accident/An_riesgo/Ind_Riesgo.htm

*<http://es.scribd.com/doc/52418089/JANEL-estudio-de-riesgo-31-03-2011final>. Estudio de riesgo ambiental para la empresa Janel, s.a. de C.V. planta cintas adhesivas

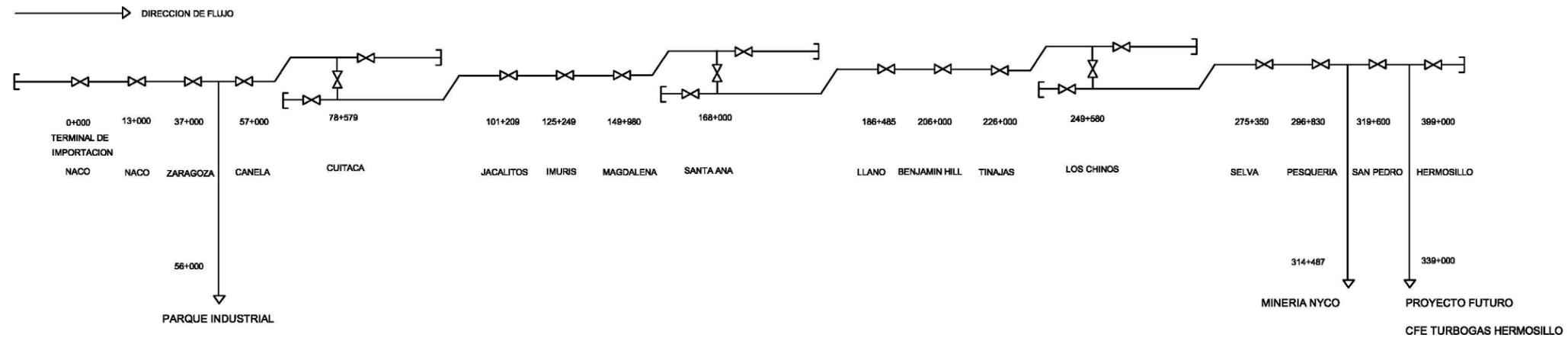
ANEXO A

PLANOS

UNIFILAR DEL GASODUCTO DE 16" NACO-HERMOSILLO

NACO-HERMOSILLO

PRESION EN NACO
56.3 Kg/Cm² Man.
GRAV. ESP. PROM.= 0.617



NOTAS

- 1.- ESTE DIAGRAMA ES ESQUEMATICO, NO DETALLA TRAYECTORIAS DE TUBERIAS.
- 2.- EL VALOR DE RIESGO DE LOS TRAMOS SE CITAN EN EL DOCUMENTO CORRESPONDIENTE A LA SUBTAREA 2.2
- 3.- EL ESCENARIO EN ESTE SITIO SE DESCRIBE EN EL DOCUMENTO CORRESPONDIENTE A LA SUBTAREA 2.2

CP	FECHA	MCA	REVISIONES	NUMERO	DIBUJOS DE REFERENCIA	APROBADO POR:	DIB.		PROY.		REV.		CORD.		APROB.		NO. PROY.		REV.
		0	DESCRIPCION	FECHA	POR	Va.Bo.	I.Q. Réne de la More Medina	AMHM	RCA	RMM									0
			Unifilar del Gasoducto de 16" Nanco - Hermosillo																



DIBUJO ELABORADO EN: FES ZARAGOZA, UNAM MÉXICO D.F.

NOV 07

ESC. SIN ACOT: SIN

UNIFILAR DEL GASODUCTO DE 16" NACO-HERMOSILLO
NACO - HERMOSILLO

A-001

ANEXO B

CRITERIOS



B. Consecuencias Analizadas en el Sistema.

El análisis de consecuencias incluye el uso de modelos matemáticos para predecir la extensión del área que podría estar expuesta a consecuencias fatales debidas a un incidente.

B.1. Evaluación de Consecuencias (Explosión).

Una explosión resulta en varios efectos de carga estructurales, los cuales pueden producir consecuencias destructivas en edificios y equipos. Estas consecuencias pueden causar desde un daño menor hasta el colapso completo, dependiendo de la capacidad de la estructura para aminorar los efectos de carga. La tabla siguiente resume, las cargas estructurales que resultan de varios tipos de explosiones.

Tabla B.1. Efectos y Consecuencias sobre las Estructuras.	
EFFECTOS DE EXPLOSION	EFFECTOS EN UNA ESTRUCTURA
Onda de choque por presión.	Sobrepresión y fase negativa de presión relativa a condiciones atmosféricas. Carga de difracción - Fuerzas en la estructura resultante de la sobrepresión directa y reflejada.
Movimiento de Masa de aire	Carga de arrastre- Fuerza en una estructura resultante de la velocidad alta de partículas de aire en la onda de aire alrededor de la estructura.
Proyectiles (Misiles, fragmentos)	Impactos- fuerzas, en la estructura resultante de objetos en movimiento a una velocidad significativa.
Choque de terreno	Inercial- Fuerza sobre una estructura inducida por masa estructural bajo aceleración transmitida a través de la estructura del soporte de terreno.

B.2. Efectos de Explosión en la Gente.

- Ondas de Explosión.

Los efectos directos de una onda de presión incluyen, daño a los pulmones y tímpanos. Los efectos secundarios de explosiones involucran las consecuencias de fragmentos y escombros. Estos pueden incluir potencialmente exposiciones al personal causando daño de colapsos. Fragmentos cortantes que pueden penetrar en la piel y otros objetos pueden impactarse o ser arrastrados. Los efectos terciarios son aquellos daños o la facilidad de causarlos como: son shocks o provocar impactos con objetos estacionarios.

B.3. Evaluación de Consecuencias (Incendio).

Las consecuencias de incendio dependen de la intensidad y duración del incendio, la distancia y la exposición térmica a la que el receptor puede permanecer. Este nivel es la energía en la que la madera hará ignición u otro combustible o degradará algunos materiales tales como el acero.



El criterio de magnitud de daño por radiación térmica para materiales y daño a la gente, estará en función de la capacidad que tenga el personal para evacuar y el tiempo de exposición del personal durante la evacuación, radiación, fuego y gases, así como sistemas de protección y el uso de equipo de protección del personal, de acuerdo a NFPA 101, Life Safety Code, la cual establece información de la protección contra el fuego.

B.4. Evaluación de Frecuencia.

Todas las técnicas de evaluación de riesgo, cualitativa o cuantitativa, requiere un estimado de frecuencia de ocurrencia del evento. Esta frecuencia es específica del sitio y puede ser influenciada por muchos factores, algunos de estos eventos pueden ser como:

Sobrepresión de un proceso o recipiente de almacenamiento causado por pérdida de control de materiales reactivas o calor externo.

- Sobrellenado de recipiente.
- Apertura de una conexión de mantenimiento durante la operación.
- Fugas en sellos de Bombas, empaques de válvulas.
- Fisuras en tanques de almacenamiento o tuberías, etc.
- Exceso de flujo de vapor en el venteo o vapor depositado en el sistema.
- Ruptura de línea en un intercambiador de calor.
- Fracturas en un recipiente de proceso causando liberación del contenido.
- Ruptura de línea en un sistema de bombeo.
- Ruptura de línea en una red de tubería del sistema.
- Falla de la boquilla de un recipiente.
- Rompimiento en la unión de la conexión de los instrumentos.
- La válvula de venteo o drene se olvida cerrarla.

B.5. Factores que Influyen en la Frecuencia de Eventos.

Estos son algunos de tantos eventos a lo largo de la historia en la industria Química. Los factores que debemos tener presente cuando determinamos la frecuencia del evento se citan a continuación:

- **Historia de Incidentes Previos.** Incidentes frecuentes, especialmente los severos, indican la interrupción en los sistemas de seguridad del proceso, también indican la facilidad para tener incidentes adicionales, a menos que las causas sean determinadas y se implanten acciones específicas para prevenir su recurrencia. Al evaluar la frecuencia de los eventos los incidentes pasados puede proveer gran valor. Por ejemplo, si se identifica una falla de sellos en la válvula, esta tiene potencial para causar una fuga y si esta falla ha ocurrido frecuentemente, es razonable incluirlo como escenario probable. Esta conclusión puede ser válida aunque las fallas en el sello de las válvulas no den como resultado liberación de nube de vapor.



- **Condiciones de Operación.** Algunas condiciones de proceso que pueden incrementar la frecuencia de un evento incluyen temperatura o presiones altas, reacciones exotérmicas, procesos altamente corrosivos erosivos o materiales inestables o procesos sujetos a ciclos constantes de presiones o temperaturas. Para procesos que no son corrosivos u operan a presiones y temperaturas moderadas que pueden ser menos probables de tener un evento como resultado de corrosión o una falla inducida al proceso.
- **Diseño de Equipos.** Aunque los equipos del proceso son diseñados y construidos de acuerdo a códigos y estándares, muchos diseños mecánicos de proceso tienen construcciones adicionales, conservando la construcción anterior y podría incrementar la probabilidad de un evento.
- **Operación Compleja.** La operación compleja puede inducir el potencial para aumentar o reducir la seguridad relacionada en la fase de diseño y puede también presentar cambios en los procedimientos de los operadores para trabajar con exactitud y rapidez y responder con una acción, y si está no es apropiada incrementa la frecuencia de eventos.
- **Factores Humanos.** Las Operaciones manuales frecuentes pueden incrementar el potencial para que un evento ocurra. Aún bajo las circunstancias óptimas, la probabilidad de errores humanos puede ser alto.
- **Edad de los Equipos.** Un equipo antiguo, particularmente equipos sujetos a frecuentes ciclos térmicos o mecánicos, pueden tener alta frecuencia de fallar. Adicionalmente equipo nuevo puede incorporarse y reducir el potencial de falla. No obstante deberá de seguir bajo estudio el comportamiento del equipo o unidad de proceso y controlar el índice de frecuencia de falla. Esta consideración puede ser aplicada no solamente para piezas individuales de equipo, sino también a un equipo completo de proceso.

Es importante notar que la edad no necesariamente incrementa la falla del equipo. Diseños apropiados, inspección y mantenimiento de equipo, pueden reducir la probabilidad de falla. Años de experiencia en la operación de un sistema puede proveer información con gran valor como: localización de áreas con alta corrosión en la tubería y puede también originar la creación de nuevos diseños durante la operación.

B.6. Efectividad de los Sistemas de Protección y Controles de Emergencia.

Sistemas de protección como alarmas, sistemas de paro y controles de emergencia, son frecuentemente factores claves para prevención de accidentes y de respuesta oportuna al operador. Si los sistemas de protección son apropiadamente diseñados, probados y también sujetos a mantenimiento pueden reducir la frecuencia de ocurrencia del evento. Así mismo, sistemas que no son probados o no se encuentran bajo mantenimiento pueden resultar ser de alta frecuencia de ocurrencia de evento.



B.7. Efectividad de los Sistemas de Administración de Procesos Seguros.

Los factores antes mencionados se encuentran citados en la Guía de sistemas de Administración de Procesos seguros. Guía Técnica para la administración de procesos químicos seguros donde se describen las áreas esenciales de la administración, actividades necesarias para reducir la probabilidad de explosión y fuego. La efectividad de estos sistemas de Administración se vuelve un factor clave para estimar la frecuencia de eventos.

Dada la Naturaleza del sitio específico, es claro que para determinar la frecuencia de un evento se ve fuertemente influenciada por factores de sitios específicos, tanto de prácticas de tecnología y mantenimiento, pueden variar de sitio a sitio. En caso de la tecnología, la variedad y la complejidad de las operaciones del proceso varían notablemente.

Un buen diseño depende de la aplicación. Aún con la tecnología apropiada de los sistemas de administración de procesos seguros es un factor que afecta la frecuencia de un evento. Por ejemplo dos equipos similares con tecnologías similares pueden tener diferentes procedimientos que garanticen el proceso y la integridad del equipo. Uno podrá evaluar la integridad mecánica del sistema, incluyendo un sistema de identificación de problemas de corrosión. El otro podrá tener un programa limitado y un historial de fugas por corrosión. La probabilidad de un evento de falla por corrosión será razonablemente mejor estimado en el segundo, puesto que lleva un historial de fugas por corrosión mientras que el primero aunque tiene sistemas de detección de fugas no lleva el historial por falla de corrosión, es decir no lleva un control. La Administración de sistemas de procesos seguros son dinámicos y pueden llegar a incrementar la efectividad o ineffectividad de los procesos a través del tiempo. En el ejemplo anterior, con los programas de monitoreo de corrosión pueden reducir significativamente el potencial de frecuencia de liberación al momento en que el programa es activamente implementado. En un evento por corrosión la frecuencia de liberación pudiera incrementar. En una forma similar, el establecer programas efectivos de monitoreo de corrosión después de un tiempo pudiera disminuir la frecuencia de falla por corrosión. La naturaleza dinámica de los sistemas de proceso seguros requiere monitorear continuamente la efectividad de estos sistemas para asegurar que los riesgos en las instalaciones sean controlados a niveles tolerablemente bajos. Por último, un historial de incidentes y administración de procesos seguros no garantiza que los eventos de impacto al proceso no ocurran. Es decir, esta situación implica que la probabilidad de ocurrencia es muy baja. La administración debe de reflexionar acerca de la probabilidad del evento para evitar que ocurran consecuencias, reconocer que aunque la mayoría de los sistemas efectivos de procesos pueden verse afectados de vez en cuando. Si un equipo es diseñado en instalaciones que son inapropiadas para su actividad o con una construcción insuficiente que no resista ante un caso de explosión o fuego, el riesgo de estas instalaciones será tolerablemente alta.



B.8. Evaluación de Consecuencias Cualitativa.

La evaluación de consecuencias cualitativa usa experiencia, juicio y la ingeniería estima las bases para determinar esas consecuencias y frecuencias de eventos. Los análisis cualitativos son resultado de un juicio colectivo de equipo multidisciplinario calificado, la experiencia de este equipo de riesgo, puede incluir operaciones, procesos de ingeniería, modelos de consecuencias (sobrepresión, calor de radiación), ingeniería Civil y estructuras. El alcance de un grupo permite descubrir, intercambiar y debatir ideas, las cuales no se reducen a la posibilidad de una opinión individual que pudiera afectar los resultados finales.

La evaluación cualitativa de consecuencias incluye definiciones o categorías, las cuales son basadas en el nivel general de lesiones y daño que pueden razonablemente esperarse a partir de eventos accidentales.

La consecuencia de explosión en términos de sobrepresión y otros efectos pueden ser evaluados por métodos apropiados. En la evaluación de consecuencias por explosión, existen métodos que contemplan la energía de explosión y efectos y localización de interés.

Los daños potenciales a edificios y grado de lesión resulta a partir de la estimación de un grupo de investigadores basado en datos empíricos.

B.9. Evaluación de Frecuencia Cualitativa.

La evaluación de frecuencia cualitativa puede ser usada para eventos que son extremadamente probables de ocurrir o como una probabilidad remota de ocurrir. Este método es particularmente apropiado para usarse en conjunto con una evaluación de consecuencia cualitativa tal como un riesgo "Ranking".

La evaluación de frecuencia cualitativa incluye la definición de categorías de eventos frecuentes, lo cual puede utilizarse para evaluar la probabilidad de ocurrencia de un incidente específico. Estas categorías cubren completamente el espectro de ocurrencia, desde eventos que son probables hasta aquellos que no lo son. La definición de categoría de probabilidad varía. La tabla B.9 muestra varias categorías de frecuencia cualitativa.



Tabla B.9. Categorías de Frecuencia Cualitativa		
Categoría	Descripción Típica	Aproximación correspondiente a una Frecuencia cuantitativa (por año)
Extremadamente improbables (remota)	Realmente no se espera que ocurra.	$< 10^{-5}$
Muy improbable	No se espera que ocurra (pero no es imposible).	10^{-5} a 10^{-3}
Improbable	Improbable que ocurra en la vida de la planta, pero pudiera ocurrir en una de un número similar de plantas.	10^{-3} a 10^{-2}
Probable	Pudiera ocurrir al menos una vez en la vida de la instalación.	$>10^{-2}$

El análisis de consecuencias cuantitativo involucra la determinación de la consecuencia de eventos y frecuencia. Usan cálculos de ingeniería detallados y estimados. El costo de un QRA (Quantitative Risk Assessment) se justifica cuando se refleja en la reducción del riesgo y el riesgo actual aparece como marginalmente tolerable, basado en un análisis previo o histórico. El QRA podrá confirmar si las medidas de reducción de riesgo de un análisis cualitativo previo son suficientes.

La figura B.9.1. presenta un diagrama de flujo, en el cual se explica cuando se debe utilizar el QRA:

- 1.- Las instalaciones bajo estudio permanecerán en evaluación en casos de accidentes con resultados de poco o sin daño.
- 2.- Las modificaciones bajo términos de un costo (bajo) en las instalaciones existentes pueden reducir o eliminar el riesgo a los trabajadores.
- 3.- Las modificaciones sin costo pueden reducir el riesgo a la instalación a un nivel tolerable identificado.

En la salida 1 del diagrama de flujo en la siguiente figura, no se necesita la reducción de riesgo o un QRA. En la salida 2, la mayoría de los contribuyentes al riesgo han sido identificados y se puede remediar a un costo razonable, y de nuevo el QRA no es necesario. En la salida 3, también el contribuyente al riesgo no está bien definido o el costo para reducir el riesgo es inaceptablemente alto. En este caso, el QRA provee una guía de toma de decisiones derivadas del riesgo.

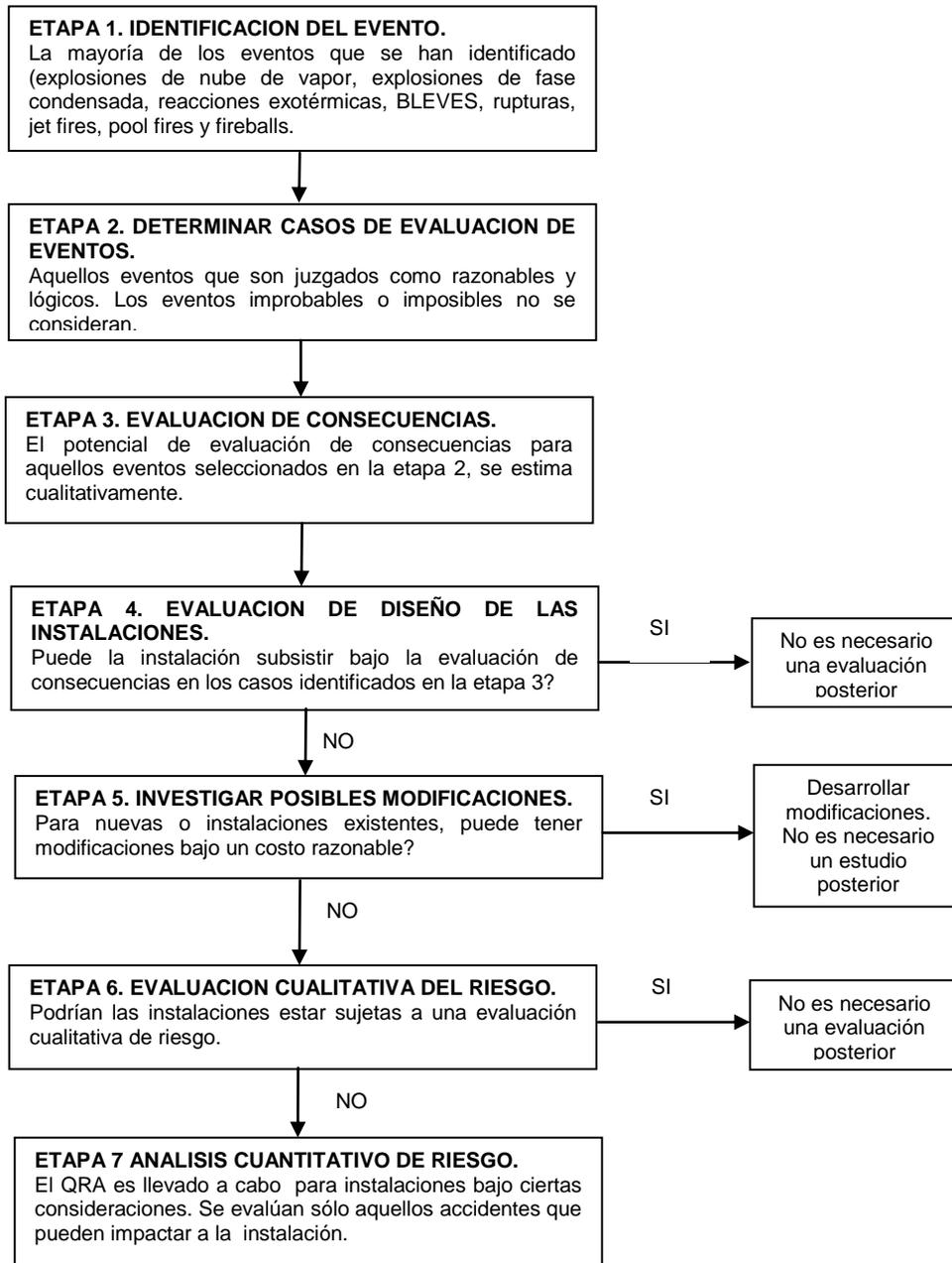


Figura B.9.1. Es necesario un QRA?



B.10. Evaluación de Consecuencias Cuantitativa.

La evaluación cuantitativa requiere de la determinación de las ondas de sobrepresión y otros efectos que pueden afectar o impactar a las instalaciones y el análisis detallado de respuesta de la instalación.

La descripción breve de algunos de los métodos de determinación de repuesta de explosiones y como interpretar la respuesta en términos de esas consecuencias y la respuesta de algunos factores que afectan la estructura. Estos factores relacionan la naturaleza de la onda y la característica de los componentes estructurales de la instalación.

B.11. Evaluación de Frecuencia Cuantitativa.

En esta evaluación, la instalación es usualmente seccionada en varios volúmenes o inventarios. Se establecen los escenarios derivados de eventos identificados y definidos. Las tasas de fallas se determinan en los sitios específicos como: tuberías, recipientes, maquinaria y otros equipos para cuantificar frecuencias. Si los datos de falla aún no se saben, la frecuencia de falla puede ser calculada usando algún otra herramienta, como un árbol de eventos. Una vez que la magnitud y la frecuencia de los escenarios identificados se sabe, esto se combina con información de condiciones específicas, como aislamiento o ataque de ignición y acciones de respuesta de emergencia para reducir la probabilidad de consecuencia que un escenario puede involucrar.

B.12. Efectos Sobre el Entorno.

B.12.1. Modelos de Dispersión de Vapores.

La dispersión de vapores de gases relevados se presenta cuando un gas o vapor es desalojado a la atmósfera y por sus características físicas como densidad, composición, peso molecular; las condiciones climatológicas: velocidad del viento, presión atmosférica, temperatura ambiente, etc., establece la dispersión del gas en la atmósfera y varía desde una concentración del 100% hasta una dispersión total del gas en la atmósfera 0%, entre este rango se presentan los niveles riesgosos de concentración definidos como: Limite Superior de Inflamabilidad (LIS) y Limite Inferior de Inflamabilidad (LII).

B.12.2. Modelos de Radiación por Fuego.

Las ecuaciones del modelo de radiación por fuego, utilizan correlaciones empíricas desarrolladas a partir de pruebas de campo o de accidentes reales para calcular la geometría de la flama. Las referencias aplicables son las siguientes: Brzustowski (1972) y Thomas (1963) para incendios de fluidos a chorro. Los modelos utilizan estas correlaciones para calcular el tamaño de cada flama, su forma, orientación en grados y con respecto a la dirección del viento.



La intensidad de calor de radiación que deja la superficie de la flama (es decir, la superficie de flujo), varía de acuerdo a la composición del combustible y al tipo y tamaño de la flama. La mayoría de los valores de superficie de flujo utilizados en los modelos de radiación por fuego se obtuvieron de numerosos experimentos y de sistemas de quemadores industriales actuales.

Las rutinas estándar de integración numérica se utilizan para determinar el "factor de visión" para varios puntos clave a sotavento (dirección a la que se dirige el viento), de la flama. Entonces la intensidad de la radiación en cada uno de estos puntos se calcula multiplicando el factor de visión apropiado por la superficie de flujo de la flama. Entonces el flujo de calor incidente resultante en cada punto es corregido por el efecto de la absorción atmosférica.

Los resultados de estos modelos se han comparado con la información disponible que se tiene de experimentos a gran escala y accidentes reales. Las diferencias entre los valores calculados y los valores observados quedan dentro de la dispersión normal de los datos experimentales.

B.12.3. Energía Térmica - Exposición a la Radiación Producida por Incendios en Recipientes o por Incendios de Líquidos a Chorro.

El nivel de flujo de calor que podría ocasionar dolor en un minuto de exposición es de 550 Btu/hr-pie² (1.73kw/m²). La exposición a este nivel de radiación podría causar quemaduras si el período de exposición es suficientemente prolongado (Tsao, 1979). Debido a que no hay instalaciones donde la gente esté inmóvil en el área, se espera que cualquier persona expuesta al calor radiante se retire de la fuente de calor en menos de un minuto.

B.12.4. Energía Térmica - Exposición a la Radiación Producida por Incendios con Flasheo.

El elemento sujeto a análisis es la nube de vapor limitada por la superficie tridimensional en la que la concentración de vapor inflamable en el aire equivale al límite inflamable inferior (LII).

Las áreas de riesgo que se ven afectadas por incendio debidas a flasheo son aproximadamente igual al área de la nube de vapor inflamable sin encender, los modelos de dispersión de vapor se utilizan comúnmente para calcular la extensión de este tipo de riesgo de energía térmica. El contorno de concentración del LII se utiliza para aproximar el límite del incendio de flasheo.

El contorno de concentración del LII se utiliza para representar el límite de los efectos peligrosos de los incendios debidos a flasheo, ya que las personas que se encuentran fuera del contorno del LII en el momento de la ignición no estarán en contacto con las llamas y sólo estarán expuestas durante un período corto de tiempo a diversos niveles de radiación.



Entonces, las personas que se encuentren fuera de la nube del LII no correrán casi ningún peligro de lesión causada por los efectos térmicos del incendio debido a flasheo. El equipo de proceso y el acero estructural por lo general no sufrirán daño significativo por este tipo de incendio debido al corto tiempo de exposición.

Los materiales inflamables (como madera, plásticos o fluidos que estén fugando) dentro de la zona del incendio debido a flasheo, podrían prenderse y ocasionar un daño mayor.

B.12.5. Modelo de Explosión de la Nube de Vapor.

El modelo de explosión de la nube de vapor está basado en la ley de escala de raíz cúbica que se ha utilizado durante muchos años. La ley de escala de raíz cúbica, simplemente dice que la distancia que recorre la onda de choque de la explosión antes de desintegrarse a cualquier sobrepresión dada es igual al producto de un factor que varía con la sobrepresión y la raíz cúbica del peso del TNT equivalente que liberaría la misma cantidad de energía explosiva como la masa de gas dentro de la nube de vapor inflamable.

Existen programas que utilizan los resultados del modelo de dispersión de vapor para calcular la masa de un gas inflamable dentro de la sección de la nube de vapor en la cual la concentración de gas está entre el límite superior de inflamabilidad (LIS) y el límite inferior de inflamabilidad (LII). Esta masa se multiplica por el calor de combustión del gas, se divide entre el calor de combustión del TNT y entonces se multiplica por un factor de eficiencia del 10 % para llegar al peso equivalente de TNT para usarlo en la ecuación de la raíz cúbica.

Los estudios (Tsao 1979, HSC 1991) muestran que la gente que se encuentre fuera de estas zonas de peligro definidas, tendría una probabilidad de menos del 1% de morir si el accidente ocurriera. Los niveles seleccionados para su uso en este estudio se listan a continuación.

B.12.6. Sobrepresiones Explosivas.

El valor límite del daño estructural para "debilitar" las estructuras es de 2.4 psig. Esta sobrepresión es capaz de romper ventanas de vidrio, dañar el techo de construcciones prefabricadas, etc. Los seres humanos no sufrirán lesiones por los efectos directos de la exposición a una onda de sobrepresión de esta intensidad. Sin embargo, sí podrían resultar heridos por los efectos secundarios, por detonaciones o reacciones en cadena debidos a la cercanía de otros equipos y material inflamable (como la proyección de fragmentos de vidrio, piezas de tornillería, etc.).

Este nivel de sobrepresión podría o no causar daños al equipo de proceso o a las estructuras. No se ha intentado relacionar los niveles explosivos de sobrepresión con el daño potencial del equipo. Ciertamente cualquier equipo que se encuentre dentro de la zona inflamable, delimitada de un escenario de escape de Gas, gas combustible o vapores de hidrocarburo se encuentra en peligro de sufrir daños si la nube explotara.



En las siguientes tablas se muestran los efectos por radiación térmica y por sobrepresión.

Intensidad de Radiación (KW/m²)	Efecto Observado
1.6	No causará molestias por exposición prolongada
4	Suficiente para ocasionar dolor al personal si no alcanzan a ponerse a salvo en 20 segundos, sin embargo, es probable la aparición de ampulas (quemaduras de segundo grado); letalidad de 0%
9.5	Umbral de dolor alcanzado luego de 8 segundos, quemaduras de segundo grado luego de 20 segundos.
12.5	Energía mínima requerida para el encendido guiado de madera, fusión de tubería de plástico
25	Energía mínima requerida para encender madera a exposiciones indefinidamente prolongadas (no guiadas)
37.5	Suficiente para ocasionar daño a equipo de proceso

Presión (PSIG)	Daño
0.02	Ruido molesto (137 dB de frecuencia 10-15 Hz)
0.03	Ruptura ocasional de grandes ventanales bajo tensión
0.04	Ruido fuerte (143 dB), falla de cristales por ondas sónicas
0.1	Ruptura de ventanas pequeñas bajo tensión
0.15	Presión típica para ruptura de cristales
0.3	"Distancia segura" (probabilidad 0.95 sin daño serio más allá de este valor), límite de proyectiles; algún daño a techos de casas; 10% de ventanas rotas
0.4	Daño estructural secundario limitado
0.5 - 1.0	Generalmente se estrellan grandes y pequeñas ventanas, daño ocasional a marcos de ventanas
0.7	Daño menor a estructuras de casas
1.0	Demolición parcial de casas, se vuelven inhabitables, máxima velocidad de viento de 79.7 km/h
1-2	Destrozo de asbesto corrugado; ceden fijaciones de paneles de aluminio o acero corrugado, falla segura seguida por deformamiento; ceden fijaciones de paneles de madera (estándar en viviendas), golpe en paneles
1.3	Marcos de acero de edificios con revestimiento levemente distorsionados
2	Colapso parcial de paredes y techos de casas
2-3	Muros de blocks y concreto, no reforzados, destruidos
2.3	Límite inferior de daño estructural serio
2.5	50 % de destrucción de casas de ladrillo
3	Máquinas pesadas (3000 lb en edificios industriales sufren daños pequeños, estructuras de acero torcidos y desprendidos de sus cimientos, máxima velocidad de viento de 178.6 km/h
3-4	Edificios de paneles de acero sin estructura o de autoformación demolidos; ruptura de tanques de almacenamiento de petróleo
4	Ruptura de revestimiento de edificios industriales ligeros
5	Postes de teléfono de madera se rompen; prensa hidráulica alta (40 000 lb) en edificios levemente dañada, máxima velocidad de viento de 260.8 km/h
5-7	Destrucción casi completa de casas
7	Vagones de ferrocarril de carga pesada volcados
7-8	Paneles de ladrillo de 8-12 pulgadas de grosor, no reforzados, ceden por deslizamiento o curvatura
9	Furgones con carga totalmente destruidos
10	Probable destrucción de edificios, maquinaria pesada (7000 lb) desplazada y muy dañada, maquinaria muy pesada (12 000 lb) sobrevive, máxima velocidad de viento de 294 km/h.
300	Límite de orilla de cráter.



B.13. Consecuencias por Modelado.

Un hidrocarburo flamable que es más ligero que el aire se procesa en un equipo pequeño. Debido a que el tamaño del equipo, la tubería u otros equipos de tamaño relativamente pequeño están en el área y pueden crear congestión del personal si llega a ocurrir una liberación. Es por eso que frecuentemente el gas flamable es procesado a bajas presiones y temperatura ambiente.

En algunos casos, las herramientas de un modelo detallado de dispersión no se encuentra disponible. Para calcular la cantidad de material o la porción de material flamable se desarrollan métodos, algunos de estos métodos determinan la cantidad de material flamable.

Para liberación en fase gas o vapor, la cantidad de material en la nube se determina por una de las siguientes técnicas:

(velocidad de liberación) x (tiempo para detener la fuga), donde el tiempo requerido para detener la fuga está en función de si el sitio se encuentra aislado, válvulas de seguridad, sistemas de desfogue y otros sistemas de mitigación apropiados.

(velocidad de liberación) x (tiempo para que la nube alcance el punto de ignición)

El inventario total del material (como la cantidad contenida en un sistema contenedor).

ANEXO C

ABREVIATURAS Y DEFINICIONES



ABREVIATURAS

ALARP	As Low as Reasonably Practicable-Tan Bajo como sea Razonablemente Practico.
ARIDP	Área responsable de ingeniería y Desarrollo de Proyectos.
BLEVE	Boiling Liquid Expansión Vapor Explosion (Explosión de Vapores en Expansión generados por un Líquido en Ebullición).
DCA	Dirección Corporativa de Administración.
DCO	Dirección Corporativa de Operaciones.
DDV'S	Derechos de vía
DNV	Det Norske Veritas
ϕ	Diámetro nominal de un ducto
FAR	(Fatal Accident Rate) Tasa de Accidente Fatal.
FMEA	Análisis de Modos de Fallas y Efectos (Failure Modes and Effects Analysis)
FTA	Análisis de Árbol de Fallas (Fault Three Analysis)
G.N.	Gas Natural.
GESF	Grupo de Expertos de Seguridad Física
GIS	(Geographyc Information System) Sistema de Información Geográfica
GMAER	Grupo Multidisciplinario de Análisis y Evaluación de Riesgo de Proceso.
GSSF	Gerencia de Servicios de Seguridad Física.
GV	Grupo de Vulnerabilidad.
HAZOP	Estudio de Peligro y Operabilidad
IAP	Integrity Assessment Program. (Programa de Evaluación de la Integridad del Ducto)
IDLH	Immediately Dangerous to Life and Health (Nivel inmediato de peligro a la vida y a la salud)
IPC	Índice del Peor Caso.
Kg/cm ²	Presión en kilogramos/centímetro cuadrado manométricos
LFL	Low Flamable Limit (Límite Bajo de Inflamabilidad).
LII	Límite Inferior de Inflamabilidad.
LIS	Límite Superior de Inflamabilidad.
MAOP	Presión Máxima Permisible de Operación.
MAWP	(Maximum Allowable Working Pressure) Presiones Máximas



Permisibles de Trabajo de Equipos.

MMPCD	Miles de miles (Millones), de pies cúbicos por día.
MMSCFD	Miles de Miles de Pies Cúbicos Estándar por Día.
MOP	Presión Máxima de Operación.
Mpa	Milésimas de pulgada por año.
MSDS	(Material Safety Date Sheet) Hojas de Seguridad de Materiales.
MTU	(Master Terminal Unit) Unidad Terminal Maestra.
OS	Organismos Subsidiarios
PGPB	Pemex Gas y Petroquímica Básica
PHAST	Process Hazard Analysis Software Tools (Herramientas de Programación para el Análisis de Peligros del Proceso).
PROBIT	(Probability Unit) Valores probabilísticos de fatalidades por toxicidad.
PROFEPA	Procuraduría Federal de Protección al Ambiente
RAE	Real Academia Española
RTU	(Remote Terminal Unit) Unidad Terminal Remota.
SCADA	(Supervisory Control and Data Acquisition) Sistema de Control Supervisorio y Adquisición de Datos.
SCSTD	Subdirección de Coordinación del Sistema de Transporte por Ducto.
SDOSSPA	Subdirección de Disciplina Operativa, Seguridad, Salud y Protección Ambiental
SEMARNAT	Secretaria de Medo Ambiente y Recursos Naturales
VS	Válvula de Seccionamiento.
VT	Válvula Troncal.
WAN	(Wide Area Network) Red de Área Amplia de Datos.



DEFINICIONES

Accidente: Es aquel incidente que ocasiona afectaciones a los trabajadores, a la comunidad, al ambiente, al equipo y/o instalaciones, al proceso, transporte y distribución de producto y que debe ser reportado e investigado para establecer las medidas preventivas, que deben ser adoptadas para evitar su recurrencia.

Accidente mayor: Accidente que involucra a los procesos y operaciones con sustancias químicas que origina gran liberación incontrolada de las mismas o de energía, y cuyas consecuencias pueden ser múltiples lesionados, fatalidades, daño extenso de la propiedad o que rebasa los límites del Centro de Trabajo.

Administración de integridad. Proceso que se basa en la evaluación de riesgo para la inspección de los sistemas de ductos de recolección, distribución y transporte de hidrocarburos, incluyendo la evaluación y caracterización de las indicaciones obtenidas del análisis de los resultados, para clasificar la atención de efectos, según su nivel de severidad e influencia en la integridad de un ducto.

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

Ambiente: conjunto de elementos naturales o inducidos por el hombre, que hacen posible la existencia y el desarrollo de la vida, en un espacio y tiempo determinados.

Amenaza: Es el acto que por si mismo o encadenado a otros, puede generar un daño o afectación al bienestar o salvaguarda del personal, instalaciones, bienes y valores del Corporativo o de los Organismos Subsidiarios.

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

Análisis de riesgos de ductos: Conjunto de metodologías para identificar, evaluar y controlar los riesgos asociados a la operación de un ducto.

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



Análisis de riesgo de seguridad física. Es la metodología que permite determinar la probabilidad del éxito del ataque de un adversario a una instalación, quien explotando sus vulnerabilidades busca causar el mayor daño posible.

Análisis de vulnerabilidad. Trabajo que se realiza a fin de detectar las debilidades de una instalación.

Caso más probable: Con base a la experiencia operativa, es el evento de liberación accidental de un material o sustancia peligrosa, que tiene la mayor probabilidad de ocurrir.

Caso alterno: Es el evento creíble de una liberación accidental de un material o sustancia peligrosa que es simulado, pero que no corresponde al peor caso ni al caso más probable.

Cantidad umbral. Es la cantidad igual o mayor de sustancias químicas identificadas en el Apéndice A de la NOM 028STPS 2004, "Organización del trabajo-Seguridad en los procesos de sustancias químicas", que están presentes o disponibles en el Centro de Trabajo.

Centro de trabajo. Es una instalación o conjunto de instalaciones de Petróleos Mexicanos y sus Organismos Subsidiarios que cuenta con la estructura organizativa que le permite funcionar como una ligar independiente de trabajo, encontrándose registrado en el Catálogo de Codificación Única de Centros de Trabajo y Departamentos.

Deflagración: Es una combustión súbita con llama a baja velocidad de propagación, sin explosión. Se suele asociar, erróneamente, con las explosiones, usándose a menudo como sinónimo.

Derrame. Cualquier descarga, evacuación, rebose, achique, o vaciamiento de hidrocarburos u otras sustancias peligrosas en estado líquido cuya presencia altere las condiciones naturales de un sitio y pongan en peligro uno o varios ecosistemas, puede presentarse en tierra, aguas superficiales o en el mar y se originan dentro o fuera de las instalaciones petroleras, durante las actividades de explotación, transformación o transporte de hidrocarburos y sus derivados.

Ducto. Se refiere a un conjunto de segmentos de tubería interconectados en sus extremos o lateralmente, que están definidos por la ubicación de las válvulas o trampas de diablos, compartiendo las mismas condiciones o características de operación.

Ducto de recolección. Es el ducto que colecta aceite y/o gas y agua de los pozos productores para su envío a una batería o estación de separación.



Ducto de transporte. Es un ducto que conduce hidrocarburos en una fase o multifase, entre estacones y/o plantas para su proceso, bombeo, compresión y almacenamiento. Incluye los ductos entre refinarias y terminales de almacenamiento y distribución.

Ducto en operación. Es un ducto que conduce hidrocarburos y se encuentra operando a una determinada presión interna e incluye aquellos ductos que contienen producto y se encuentran temporalmente fuera de operación.

Efecto dómينو (encadenamiento de eventos): Evento asociado a un incendio o explosión en una instalación, que multiplica sus consecuencias por efecto de la sobrepresión, proyectiles o la radiación térmica que se generan, sobre elementos próximos y vulnerables, tales como otros recipientes, tuberías o equipos de la misma instalación o instalaciones próximas, de tal forma que puedan ocurrir nuevas fugas, derrames, incendios o explosiones que a su vez, pueden nuevamente provocar efectos similares.

Escenario de riesgo. Determinación de un evento hipotético, en el cual se considera la ocurrencia de un accidente bajo condiciones específicas, definiendo mediante la aplicación de modelos matemáticos y criterios acordes a las características de los procesos y/o materiales, las zonas potencialmente afectables.

Fuga. Liberación repentina o escape accidental por pérdida de contención, de una sustancia en estado líquido o gaseoso.

Grupo de Expertos de Seguridad Física. Integrado por personal de la Gerencia de Servicios de Seguridad Física, con experiencia, capacitación y/o formación de materia de seguridad física.

Grupo Multidisciplinario de Análisis y Evaluación de Riesgos de Proceso. Es el grupo compuesto por personal del mismo Centro de Trabajo, o de otros que apoyen en el desarrollo de un análisis de riesgo de proceso, especialistas en disciplinas tales como análisis de riesgos, seguridad, operación, mantenimiento, ingeniería de diseño de proceso, salud, higiene industrial, protección ambiental, ergonomía y contra incendio, así como de cualquier otra disciplina que se considere como necesaria dependiendo del caso que se trate.

Grupo de Vulnerabilidad. Es el grupo compuesto por los miembros del área de ductos responsables del análisis de riesgo o del Grupo Multidisciplinario de Análisis y Evaluación de Riesgos de Proceso y los expertos de la Gerencia de Servicios de Seguridad Física. En este grupo, también podrá participar otro personal que sea designado por la Máxima Autoridad del Centro de Trabajo.



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

Impacto ambiental: Modificación del medio ambiente ocasionada por la acción del hombre o de la naturaleza.

Incidente. Evento no deseado que ocasiona o puede ocasionar afectaciones a los trabajadores, a la comunidad, al ambiente, al equipo y/o instalaciones, al proceso, transporte y distribución del producto y que debe ser reportado e investigado para establecer las medidas preventivas y/o correctivas, que deben ser adoptadas para evitar su recurrencia.

Información inteligente. Conjunto de datos valorados y analizados, así como conocimientos que se deben tener sobre sucesos y observaciones de cualquier índole, que puedan servir para la implementación de sistemas, procedimientos operativos y acciones en materia de seguridad física.

Instalación. Es el conjunto de estructuras, edificios, equipos, circuitos de tuberías de proceso y servicios auxiliares, sistemas instrumentados; dispuestos para un proceso productivo específico, por ejemplo, almacenamiento de productos, carga/descarga, sistema de desfogue, tratamiento de efluentes, transporte y distribución por ductos, polvorines, campamentos de estudios sismológicos, pozos, plataformas, muelles, embarcaciones, entre otro.

Instalaciones Estratégicas. Aquellas a través de las cuales se desarrollan las actividades estratégicas del petróleo y los demás hidrocarburos, petroquímica básica y petroquímica, establecida en el Párrafo Cuarto del Artículo 28 de nuestra Constitución Política, las cuales son esenciales para el desarrollo y la economía del país y que su destrucción o inhabilitación ponen en riesgo la Seguridad Nacional.

Instalaciones Estratégicas “A”. Son aquellas cuya afectación o interrupción del proceso normal de operación, repercute solo en perímetros geográficos y poblacionales reducidos, sin que ello atente contra la estabilidad de la Nación de manera directa y/o inmediata (nivel local).

Instalaciones Estratégicas “AA”. Son aquellas cuya interrupción del proceso normal de operación afecta a extensas e importantes zonas geográficas de la Nación y no representa un riesgo directo y/o inmediato de desestabilización para el país (nivel regional).

Instalaciones Estratégicas “AAA”. Son aquellas cuya afectación o interrupción del proceso normal de operación, afecta en su totalidad, o bien, a extensas e



importantes zonas geográficas de la Nación e implica en un riesgo desestabilizador directo y/o inmediato para la seguridad nacional (nivel nacional y/o internacional).

Integridad. Conjunto de actividades interrelacionadas para asegurar la contención y confiabilidad de los sistemas de ductos de transporte de hidrocarburos. Cubre las fases de diseño, fabricación, instalación, construcción, operación, mantenimiento y desmantelamiento.

Integridad operativa. Conjunto de actividades que permite asegurar la continuidad de las operaciones, garantizado el suministro a los clientes, salvaguardando la integridad de las personas, comunidad, medio ambiente, bienes, valores e infraestructura, previniendo o mitigando el impacto de eventos internos o externos no deseados.

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

Límite inferior de inflamabilidad; explosividad inferior (LIE): Es la concentración mínima de cualquier vapor o gas (% por volumen de aire), que se inflama o explota si hay una fuente de ignición presenta a la temperatura ambiente.

Límite superior de inflamabilidad; explosiva superior (LSE): Es la concentración máxima de cualquier vapor o gas (% por volumen de aire), que se inflama o explota si hay una fuente de ignición presenta a la temperatura ambiente.

Máxima autoridad. Persona o funcionario responsable del Centro de Trabajo.

Matriz de Riesgos. Representación grafica de criterios para jerarquizar los riesgos identificados en los procesos, en función de su probabilidad de ocurrencia y sus posibilidades consecuencias hacia el personal, la población, el medio ambiente y la instalación-producción.

Medidas de mitigación. Conjunto de actividades o medidas, destinadas a disminuir los efectos adversos, originados por la ocurrencia de una accidente.

Medidas de Seguridad Física. Son todos aquellos dispositivos, acciones y actividades tendientes disminuir la vulnerabilidad, para proteger y salvaguardar la integridad del personal, bienes, valores y sus instalaciones, que preserven la operación normal de la industria.

Mitigación: Conjunto de actividades o medidas, destinadas a disminuir los efectos adversos, originados por la ocurrencia de un accidente.



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

Peor caso. Corresponde a la liberación accidental del mayor inventario del material o sustancia peligrosa contenida en un recipiente, línea de proceso o ducto, la cual resulta en la mayor distancia hasta alcanzar los límites por toxicidad, sobrepresión o radiación térmica, de acuerdo a los criterios para definir las zonas intermedias de salvaguarda al entorno de la instalación. Para identificar los peores casos, no se requiere de un análisis de riesgo formal, ni conocer las causas que pudieran provocarlos ni su probabilidad de ocurrencia, simplemente consideramos que este sucede.

Perdida de concentración. Fuga o salida no controlada de material peligroso, provocada por una falla en alguna parte o componente de las instalaciones (recipientes, tuberías, equipos u otros).

Proceso. Serie continua y repetible de actividades relacionadas que a través del uso de recursos convierte una o más entradas (insumos) en una o más salidas (productos), creando valor para el cliente.

Proyectiles: Cuando una explosión se presenta, partes del equipo o recipiente pueden ser lanzadas a grandes distancias. Estos fragmentos o esquirlas, pueden ser pequeños pedazos o grandes partes de estos equipos o recipientes.

Punto de inflamación: Es la temperatura a la cual un líquido inflamable alcanza una presión de vapor suficiente para formar sobre su superficie, a condiciones normales de presión, una mezcla de aire-vapor que puede incendiarse en presencia de una fuente de ignición.

Receptor ambiental: Se refiere a áreas naturales protegidas, zonas de reserva ecológica, cuerpos de agua, etc. Que pudieran estar expuestas a efectos por concentraciones tóxicas, radiación térmica o sobrepresión, originadas por fugas de sustancias peligrosas.

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

Riesgo ALARP (As Low as Reasonably Practicable-Tan Bajo como sea Razonablemente Practico): Los riesgos que se ubiquen en esta región deben estudiarse a detalle mediante análisis de costo beneficio para que pueda tomarse una decisión en cuanto a que se tolere el riesgo o se implanten recomendaciones que permitan reducirlos a la región de riesgos tolerable.



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

Riesgo de seguridad física. Es la probabilidad de que una amenaza se materialice. Es el producto de la vulnerabilidad y de la intención de un agente agresor cuya acción está encaminada a causar daño.

Riesgo de un ducto. Es la combinación de la probabilidad de falla de un ducto y las consecuencias asociadas a la misma, durante la ocurrencia de un evento.

Riesgo no tolerable. Los riesgos de este tipo deben provocar acciones inmediatas para implantar las recomendaciones generales en el análisis de riesgos. El costo no debe ser una limitación y el hacer nada no es un opción aceptable. Estos riesgos representan situaciones de emergencia y deben establecerse controles temporales inmediatos. Las acciones deben reducirlos a una región de Riesgo ALARP y en el mejor de los casos, hasta riesgo tolerable.

Riesgo tolerable. El riesgo es de bajo impacto y es tolerado, aunque pudieran tomarse acciones para reducirlo.

Simulación. Representación de un evento o fenómeno por medio de sistemas de cómputo, modelos físicos o matemáticos u otros medios, para facilitar su análisis.

Sistema. Es un grupo o conjunto de elementos interrelacionados e interdependientes que forman un todo y funcionan para un propósito común. Generalmente está definido con respecto al propósito de un sistema con un alcance mayor.

Sistema de seguridad activos. Requieren de la acción manual o automática, para actuar. Interlocks, válvulas de exceso de flujo, válvulas de no-retorno, válvulas operadas a control remoto, dispositivos de revelo de presión, sistemas de lavado, quemadores elevados, sistemas de aislamiento o bloqueo, sistemas de paro de emergencia, sistemas de aspersión e inundado. Detectores de fuego, de mezclas explosivas o de concentración tóxica, solo si activan automáticamente alguno(s) sistema(s) de mitigación activo(s).

Sistema de seguridad pasivos. Áreas de amortiguamiento, aplicación de material ignífugo, diques, paredes o muros de contención, alcantarillas, drenajes y sumideros, solo si estos últimos 3 fueron diseñados con el propósito de mitigar las consecuencias del evento.

Sustancia peligrosa. Es cualquier sustancia que cuando es emitida, puesta en ignición o cuando su energía es liberada (fuego, explosión, fuga tóxica) pueden causar lesión, daños a las instalaciones debido a sus características de toxicidad,



inflamabilidad, explosividad, corrosión, inestabilidad térmica, calor latente o compresión.

Sustancia química de interés. Se refiere a las sustancias químicas de apéndice A de la NOM 028 STPS 200, vigente, "Organización del trabajo-Seguridad en los procesos de sustancias químicas".

Técnicas: Aplicación de una serie de metodologías para evaluar y controlar una actividad determinada.

Vulnerabilidad. Es la mayor o menor facilidad de la ocurrencia de una amenaza en virtud de las condiciones que imperan; puede decirse que son los puntos o momentos de debilidad que se tiene y pueden favorecer la ocurrencia de un negativo o el aumento de las consecuencias de este.

Zona intermedia de salvaguarda: Área resultante de la simulación de escenarios de riesgo por fugas o derrames de sustancias peligrosas. Comprende el área delimitada en la cual se presentarían valores superiores a los límites de toxicidad permisibles para la salud del hombre y/o afectaciones a sus bienes y al medio ambiente, por la presencia de ondas de sobrepresión y/o radiación térmica en caso de formación de nubes explosivas e incendios. Esta zona está conformada por una zona de riesgo y una zona de amortiguamiento.

ANEXO D

HOJA DE SEGURIDAD DEL GAS NATURAL



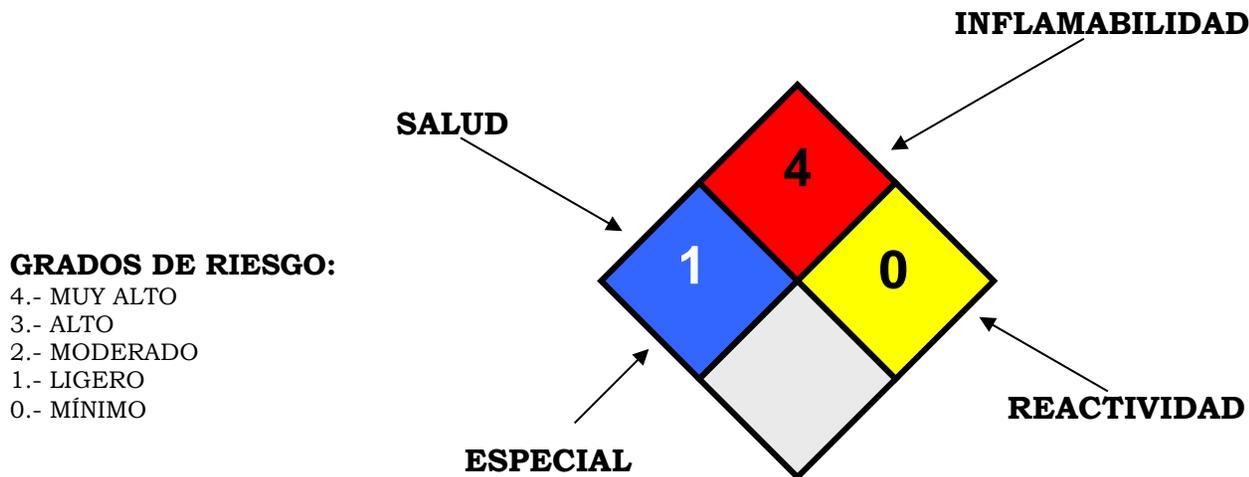
HOJAS DE DATOS DE SEGURIDAD PARA SUSTANCIAS QUÍMICAS

GAS NATURAL

TELÉFONOS DE EMERGENCIA (LAS 24 HORAS):

PEMEX: Centro de Control del Sistema Nacional de Ductos: 01-800-012 2900	*SETIQ: D.F. y Área Metropolitana: 55-59-1588 En la República Mexicana: 01-800-00-214	**CENACOM: D.F. y Área Metropolitana: 55-50-1496, 55-50-1485 55-50-1552 y 55-50-4885 En la República Mexicana: 01-800-00-413
---	---	---

Rombo de Clasificación de Riesgos NFPA-704



1. IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO

Hoja de Datos de Seguridad para Sustancias
Químicas No.
Nombre del Producto
Nombre Químico
Familia Química
Fórmula Molecular

HDSSQ-001

Gas Natural
Metano
Hidrocarburos del Petróleo
Mezcla ($CH_4 + C_2H_6 + C_3H_8$)



*Sistema de Emergencia de Transporte para la Industria Química

**Centro Nacional de Comunicaciones; dependiente de la Coordinación de Protección Civil de la Secretaría de Gobernación

2. COMPOSICIÓN / INFORMACIÓN DE LOS INGREDIENTES

MATERIAL	%	Número CAS (Chemical Abstracts Service)	Riesgo a la Salud
Gas Natural (Metano)	88	74-82-8	Asfixiante Simple
Etano	9		
Propano	3		
Etil Mercaptano (Odorizante)	17- 28 ppm		

3. IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS

HR:3 = (HR = Clasificación de Riesgo, 1= Bajo, 2= Mediano, 3 = Alto).

El gas natural es más ligero que el aire (su densidad relativa es 0.61; aire=1.0) y a pesar de sus altos niveles de inflamabilidad y explosividad las fugas o emisiones se disipan rápidamente en las capas superiores de la atmósfera, dificultando la formación de mezclas explosivas con el aire. Esta característica permite su preferencia y explica su uso cada vez más generalizado en instalaciones domésticas, industriales y como carburante para motores de combustión externa. Presenta además ventajas ecológicas ya que al quemarse produce bajos índices de contaminación en comparación con otros combustibles.

SITUACIÓN DE EMERGENCIA

Gas altamente inflamable. Deberá mantenerse alejado de fuentes de ignición, chispas, flamas y calor. Las conexiones eléctricas domésticas o carentes de clasificación son las fuentes de ignición más comunes.

Sólo debe manejarse en sitios bien ventilados o proveerse de buena ventilación para conseguir la inmediata disipación de posibles fugas evitando su acumulación en espacios confinados ya que desplaza al oxígeno disponible para respirar. Su olor característico no siempre puede advertirnos de la presencia de concentraciones potencialmente peligrosas.

EFFECTOS POTENCIALES PARA LA SALUD

El gas natural no tiene color, sabor ni olor, por lo que es necesario odorizarlo para advertir su presencia en caso de fuga.

Efectos potenciales en:

Ojos: El contacto con una fuga de gas natural licuado o comprimido puede provocar congelamiento seguido de hinchazón y/o daño ocular.

Piel: Puede provocar quemaduras frías si en fase líquida hace contacto con la piel.

Inhalación: El gas natural es un asfixiante simple, ya que al mezclarse con el aire ambiente, desplaza al oxígeno y entonces se respira un aire deficiente en oxígeno. Los efectos de exposición prolongada pueden incluir dificultad para respirar, mareos, posibles náuseas y eventual inconsciencia.

Ingestión: En condiciones normales, no se presenta riesgo de ingestión.



4. PRIMEROS AUXILIOS

Ojos: el gas natural licuado (-162° C) puede salpicar a los ojos provocando un severo congelamiento del tejido, irritación dolor y lagrimeo. Aplique, con mucho cuidado, agua tibia en el ojo afectado. Solicite atención médica.

Piel: Al salpicar el gas natural licuado sobre la piel provoca quemaduras por frío, similares al congelamiento.

Sumergir el área afectada en agua tibia o irrigar con agua corriente. No use agua caliente. Quítese la ropa y los zapatos impregnados. Solicite atención médica.



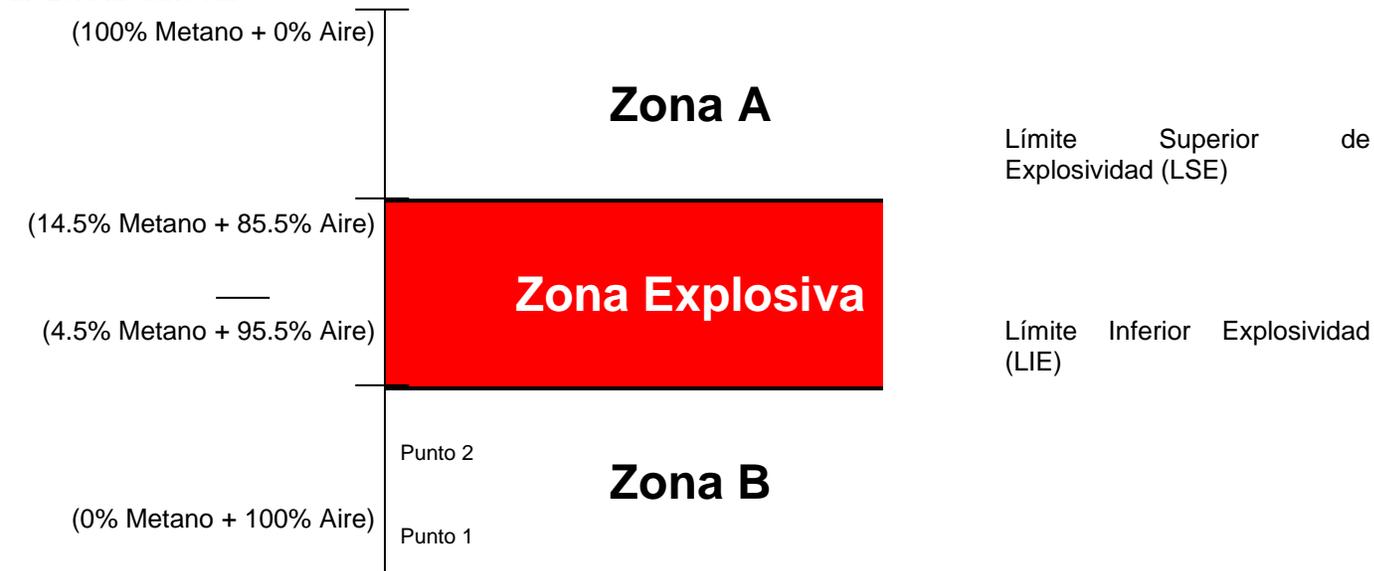
5. PELIGROS DE EXPLOSIÓN E INCENDIO

Punto de Flash	-222.0 °C
Temperatura de Ebullición	-160.0 °C
Temperatura de Autocoignición	650.0 °C
Límites de explosividad	4.5%
Inferior	14.5%
Superior	

Punto de Flash: Una sustancia con punto de flash de 38°C o menor se considera peligrosa: Entre 38°C y 93°C moderadamente inflamable, mayor a 93°C la inflamabilidad es baja (combustible). El punto de flash de l gas natural (-222.0°C) lo hace un compuesto sumamente peligroso.

Zonas A y B.- A nivel laboratorio, las mezclas de aire con menos de 4.5% y más de 14.5% de metano no son inflamables ni explotarán, aún en presencia de una fuente de ignición, sin embargo, a nivel práctico deberá desconfiarse de las mezclas cuyo contenido se acerque a la zona explosiva.

Mezcla Metano/Aire



Calibración de alarmas en los detectores de mezclas explosivas:

Punto 1 = 20% del LIE.- Alarma visual y audible de presencia de gas en el ambiente
 Punto 2 = 60 % del LIE.- Se deberán ejecutar acciones de paro de bombas, bloqueo de válvulas, etc. Antes de llegar a la Zona Explosiva

Zona Explosiva: Las mezclas del gas natural con aire en concentraciones entre 4.5% y 14.5% son explosivas sólo hará falta una fuente de ignición para uqe se desencadene una violenta explosión

Medios de Extinción: Pólvo químico seco (púrpura K = bicarbonato de potasio, bicarbonato de sodio, fosfato monoamónico) bióxido de carbono, agua espreada para las áreas circundantes. Apague el fuego bloqueando la fuente de fuga.

Instrucciones especiales para el Combate de Incendios:

a) Fuga a la atmósfera de gas natural, sin incendio:

Si esto sucede en un espacio abierto y ventilado el gas se disipa fácilmente en las capas superiores del



aire ambiente, contrariamente, cuando queda atrapado en la parte inferior de techumbres se forman mezclas explosivas con gran potencial para explotar, y explotarán violentamente al encontrar una fuente de ignición.

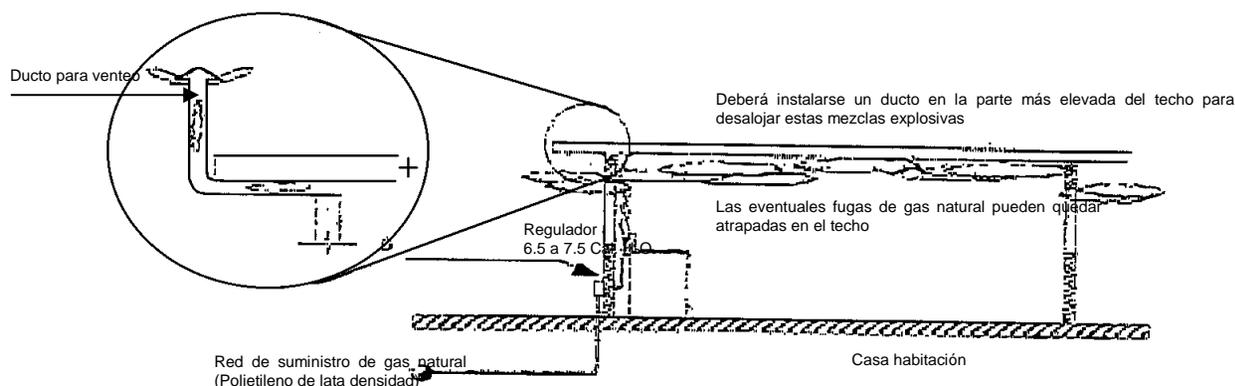
Algunas recomendaciones para evitar este supuesto escenario son:

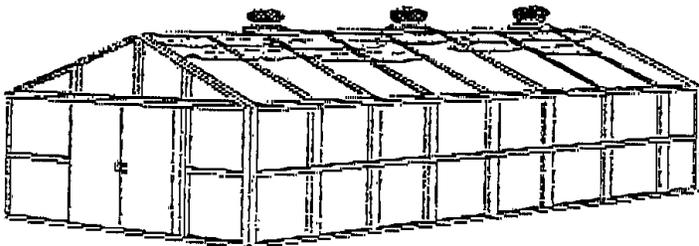
- ◆ El gas natural o metano es más ligero que el aire y por lo tanto las fugas ascenderán rápidamente a las capas superiores de la atmósfera, disipándose en el aire. Las techumbres deberán tener precautoriamente venteos para desalojar las nubes de gas, de lo contrario, lo atraparán riesgosamente en las partes altas.
- ◆ Verificar anticipadamente por medio de pruebas y auditorías que la integridad mecánica y eléctrica de las instalaciones están en óptimas condiciones (diseño, construcción y mantenimiento):
 - Especificaciones de tubería (válvulas, conexiones, accesorios, etc.) y prácticas internacionales de ingeniería.
 - Detectores de mezclas explosivas, calor y humo con alarmas audibles y visuales.
 - Válvulas de operación remota para aislar grandes inventarios, entradas, salidas, etc. En prevención a posibles fugas, con actuador local o desde un refugio confiable (cuarto de control de instrumentos)
 - Redes de agua contra incendio permanentemente presionadas, con los sistemas de aspersión, hidrantes y monitores disponibles, con revisiones y pruebas frecuentes.
 - Extintores portátiles
- ◆ El personal de operación, mantenimiento, seguridad y contra incendio deberá estar capacitado, adiestrado y equipado para manejar, reparar, cuidar y atacar incendios o emergencias, demostrables a través de simulacros operacionales (falla eléctrica, falla de aire de instrumentos, falla de agua de enfriamiento, rotura de ducto de transporte, etc.) y contra incendio.

b) Incendio de una fuga de gas natural:

- ◆ Active el Plan de Emergencia según la magnitud del evento.
- ◆ Asegúrese que el personal utilice el equipo de protección para combate de incendios.
- ◆ Proceda a bloquear las válvulas que alimentan la fuga y ejecute los movimientos operacionales de ataque a la emergencia mientras enfría con agua las superficies expuestas al calor, ya que el fuego incidiendo sobre tuberías y equipos provoca daños catastróficos.

Peligro de incendio y Explosión: El gas natural y las mezclas de éste con el aire son más livianos que el aire, por lo que rápidamente ascenderán a capas superiores de la atmósfera; estas mezclas son explosivas. En una casa, habitación o techumbre industrial, una fuga de gas natural asciende hacia el techo, y si éste no tiene salida por la parte más alta, se quedará atrapado como se muestra en los dibujos (abajo), parte del gas sale por las ventanas y puertas hacia la atmósfera exterior, y otra parte se queda "atrapada" en la parte inferior del techo y en el momento que se produzca alguna chispa (al energizar algún extractor, ventilador o el alumbrado) se producirá una violenta explosión.





Prever que las naves industriales, los almacenes y las bodegas cuenten con extractores de tiro natural.

En caso de fuga, el gas natural saldrá por las partes más altas de las techumbres.

6. RESPUESTA EN CASO DE FUGA

Fuga en Espacios Abiertos: Proceda a bloquear las válvulas que alimentan la fuga. El gas natural se disipará fácilmente. Tenga presente la dirección del viento.

Fuga en Espacios Cerrados: Elimine precavidamente fuentes de ignición y prevenga venteos para expulsar las probables fugas que pudieran quedar atrapadas.

7. PRECAUCIONES PARA EL MANEJO Y ALMACENAMIENTO

Todo sistema donde se maneje gas natural debe construirse y mantenerse de acuerdo a especificaciones para asegurar su integridad mecánica y estar protegido de daños físicos. En caso de fugas en un lugar confinado, el riesgo de incendio/explosión es muy alto.

Precauciones en el Manejo: Evite respirar altas concentraciones de gas natural. Procure la máxima ventilación para mantener las concentraciones de exposición por debajo de los límites recomendados. Nunca busque lugar con flama o cerillos. Utilice agua jabonosa o un detector electrónico de fugas.

8. CONTROLES CONTRA EXPOSICION / PROTECCION PERSONAL

Controles de Ingeniería: Utilice sistemas de ventilación natural en áreas confinadas donde existan posibilidades de que se acumulen mezclas inflamables. Observe las normas eléctricas aplicables para este tipo de instalaciones (NFPA-70, "Código Eléctrico Nacional").

Equipo de Protección Personal: Es obligatorio el uso del uniforme de trabajo durante la jornada:

- Casco; para la protección de la cabeza contra impactos, penetración, shock eléctrico y quemaduras.
- Lentes de seguridad; para protección frontal, lateral y superior de los ojos.
- Ropa de trabajo; Camisola manga larga y pantalón o coverall de algodón 100% y guantes de cuero.
- Botas industriales de cuero con casquillo de protección y suela antiderrapante a prueba de aceite y químicos.

Evite el contacto de la piel con metano en fase líquida ya que se provocarán quemaduras por congelamiento.

Protección Respiratoria: Utilizar líneas de aire comprimido con mascarilla o aparatos autocontenidos para respiración (SCBA O Aqualung) ya que una mezcla aire+metano es un aire deficiente en oxígeno



y asfixiante para respirarlo. La mezcla puede también ser explosiva, requiriéndose aquí, precauciones externas, ya que si se encuentra una fuente de ignición, explotará.

9. PROPIEDADES FÍSICAS / QUÍMICAS

Fórmula Molecular	Mezcla (CH ₄ +C ₂ H ₆ +C ₃ H ₈)
Peso Molecular	18.2
Temperatura de Ebullición @ 1 atm	-160.0 °C
Temperatura de Fusión	-182.0 °C
Densidad de los Vapores (Aire=1) @ 15.5 °C	0.61 (Más ligero que el aire)
Densidad del Líquido (Agua=1) @ 0°/4 °C	0.554
Relación de Expansión	1 litro de líquido se convierte en 600 litros de gas
Solubilidad en Agua @ 20 °C	Ligeramente soluble (de 0.1 @ 1.0%)
Apariencia y Color	Gas incoloro, insípido y con ligero olor a huevos podridos (por la adición de mercaptanos para detectar su presencia en caso de fugas de acuerdo a Norma Pemex No. 07.3.13)

10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

Estabilidad Química: Establece en condiciones normales de almacenamiento y manejo.

Condiciones a Evitar: Manténgalo alejado de fuentes de ignición y calor intenso, ya que tiene un gran potencial de inflamabilidad, así como de oxidantes fuertes con los cuales reacciona violentamente (pentafluoruro de bromo, trifluoruro de cloro, cloro, flúor, heptafluoruro de yodo, tetrafluoroborato de dioxigenil, oxígeno líquido, ClO₂, NF₃, OF₂).

Productos Peligrosos de Descomposición: Los gases o humos, productos de su combustión son: el bióxido de carbono y el monóxido de carbono (gas tóxico).

Peligros de Polimerización: No polimeriza.

11. INFORMACION TOXICOLÓGICA

El gas natural es un asfixiante simple que no tiene propiedades peligrosas inherentes ni presenta efectos tóxicos específicos, pero actúa como excluyente del oxígeno para los pulmones. El efecto de los gases asfixiantes simples es proporcional al grado en que disminuye el oxígeno en el aire que se respira. En altas concentraciones pueden producir asfixia.

12. INFORMACION ECOLÓGICA

El gas natural es un combustible limpio, de los que menos efectos adversos provoca a la atmósfera. Sus fugas están consideradas dentro del grupo de Gases de Efecto Invernadero que son los causantes del fenómeno de calentamiento global de la atmósfera. Sin embargo, ni en forma pura ni sus productos de combustión (prácticamente CO₂ y NO₂) contienen ingredientes que destruyen la capa de ozono. Su combustión es más eficiente y limpia por lo que se considera un combustible ecológico que responde satisfactoriamente a los requerimientos del INE, SEMARNAP y la Secretaría de Energía, así como a la normatividad que entró en vigor a partir de 1998.

13. DISPOSICION DE LOS RESIDUOS

El gas natural no deja residuos.



14. INFORMACION SOBRE SU TRANSPORTACION

Nombre Comercial
Identificación *DOT
Clasificación de Riesgo *DOT
Leyenda en la etiqueta
*DOT (Departamento de Transporte de los Estados Unidos)

Gas Natural
UN 1971 / UN 1972 (UN: Naciones Unidas)
Clase 2; División 2.1
GAS INFLAMABLE



UN 1971 = Número asignado por DOI y la Organización de Naciones Unidas al gas natural. (El número UN 1972 lo asignan al gas natural licuado, refrigerado).
2 = Clasificación de Riesgo de DOT

15. REGULACIONES

Leyes, Reglamentos y Normas: La cantidad de reporte del gas natural es de 500 kg., de acuerdo con la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente.

16. INFORMACION ADICIONAL

Las instalaciones, equipos, tuberías y accesorios (mangueras, válvulas, conexiones, etc.) utilizados para el almacenamiento, manejo y transporte de gas natural deben diseñarse, fabricarse y construirse de acuerdo a las normas aplicables y mantenerse herméticos para evitar fugas. Es un crimen dejar escapar el gas.

El suministro de gas natural para quemarse en las fuentes fijas, se hace a través de ductos subterráneos de transporte y distribución. Se suministra en diferentes rangos de presión (4-32 kg/cm²) y temperatura (8-38 °C) a la industria y a redes de distribución comercial y doméstica, donde se utiliza para:

- Generación de energía eléctrica (termoeléctricas).
- Generación de vapor.
- Hornos y calentadores de fuego directo.
- Turbo-maquinaria (turbo-compresores y turbo-bombas).
- Estaciones abastecedoras de gas natural para carburación de motores (tractores agrícolas, automotores, camiones, etc.). Se utilizan dos sistemas: gas natural comprimido (temperatura ambiente y presión máxima de 210 kg/cm² y temperatura de -140 °C con tanques termo).
- Usos domésticos y comerciales.
- En la industria petroquímica se utiliza principalmente como materia prima para producir amoníaco y metanol.

Se requiere que el personal que trabaja con gas natural sea entrenado apropiadamente en los procedimientos de manejo y operación, de acuerdo a las normas aplicables. La instalación y mantenimiento de los sistemas y recipientes debe realizarse por personas calificadas y entrenadas.

La información presentada en este documento se considera correcta a la fecha de emisión. Sin embargo, no existe garantía expresa o implícita respecto a la exactitud y totalidad de conceptos que deben incluirse, o de los resultados obtenidos en el uso de este material. Asimismo, el productor no asume ninguna responsabilidad por daños o lesiones al comprador o terceras personas por el uso indebido de este material, aún cuando hayan sido cumplidas las indicaciones de seguridad expresadas en este documento, el cual se preparó sobre la base de que el comprador asume los riesgos derivados del mismo.

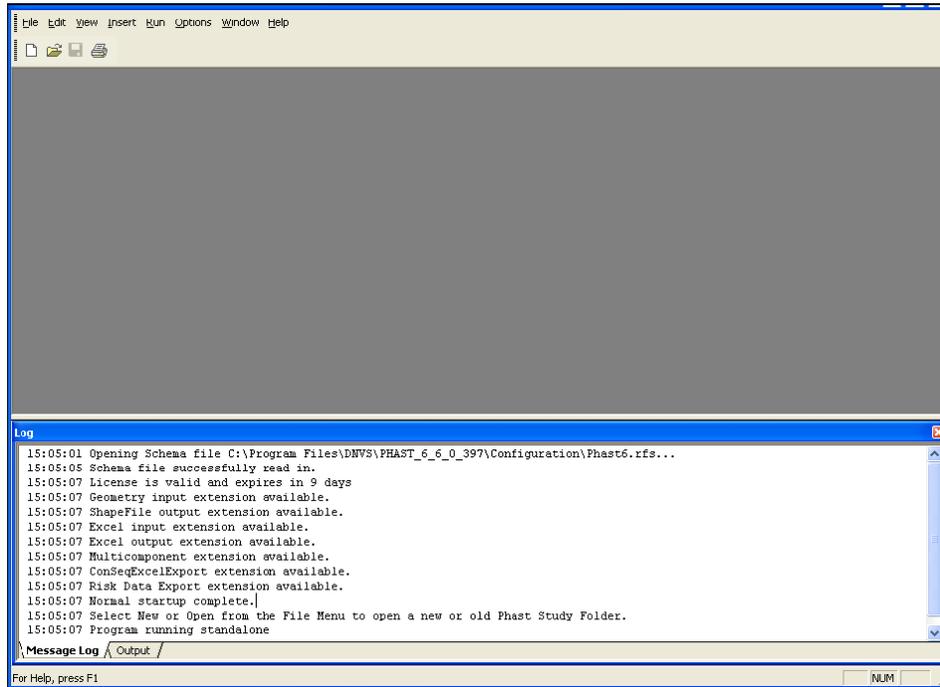
ANEXO E

VENTAS PRINCIPALES DE PHAST



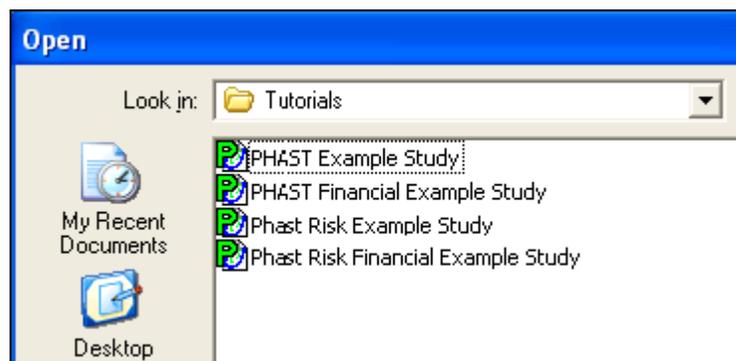
El objetivo es la familiarización con las ideas y técnicas que intervienen en la realización de un análisis de las consecuencias de Phast.

La ventana principal



Al iniciar el programa en ejecución, la ventana principal se abre como se muestra. La ventana se abre normalmente sin una “carpeta de estudio” es un archivo que contiene la definición de un análisis de las consecuencias.

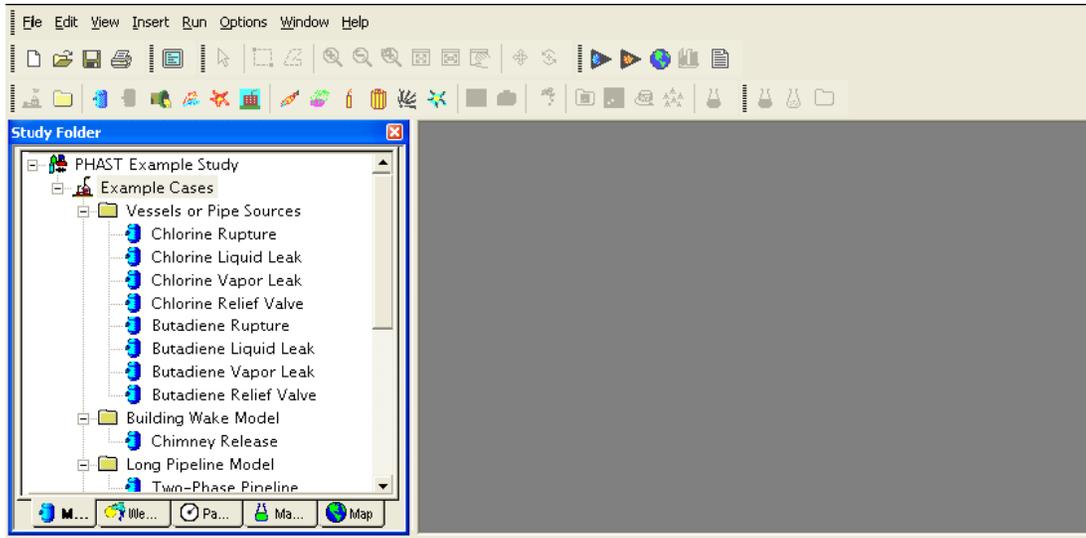
Carpeta de estudio



Se utiliza para dar una breve introducción a la terminología y metodología utilizada en el programa. La apariencia de la ventana principal cambia cuando una carpeta de estudio está abierta: hay muchas más barras de herramientas, y hay un panel con cinco secciones de la ficha en la parte izquierda de la ventana, como se muestra. El panel se conoce como “árbol de estudio” y se trabaja en sus diversas secciones de la ficha para configurar los datos de entrada para el análisis.

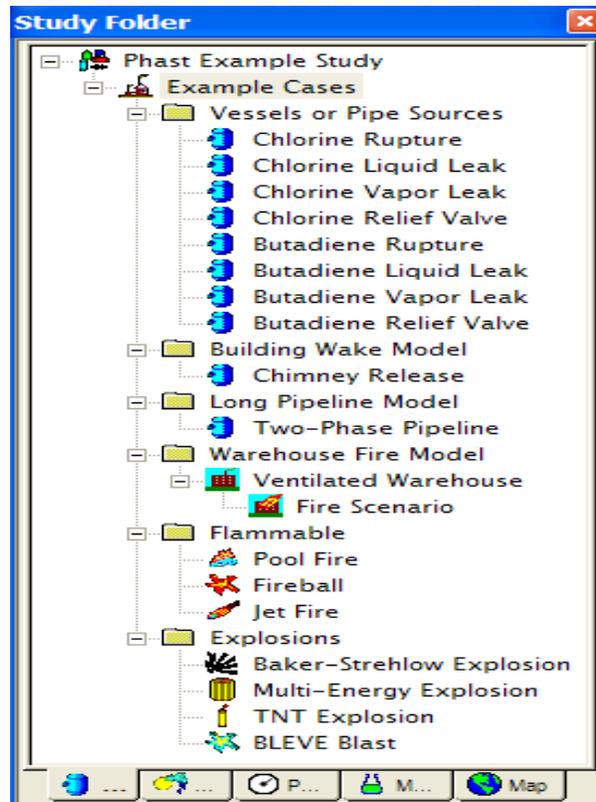


Esta es la ventana principal con una carpeta de estudio abierto:



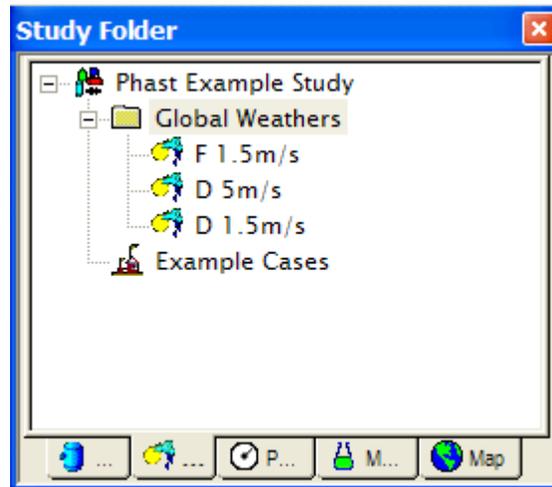
El panel de estudio de árboles.

El panel de árbol de estudio le permite organizar y editar los datos de entrada para el análisis de las consecuencias. El panel contiene una serie de secciones de pestañas, cada uno de los cuales cubre un tipo diferente de datos de entrada ya en esta sección se observan todos los modelos analizados por el simulador.



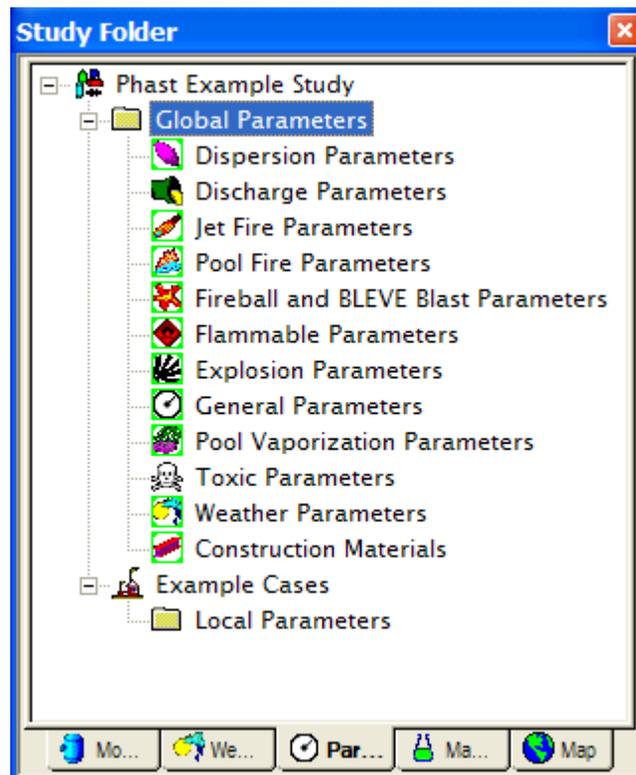


Sección del tiempo



Contiene una carpeta denominada Global Weathers con las condiciones meteorológicas y el programa realiza una gestión separada de los cálculos de cada una de las condiciones dando un conjunto de resultados.

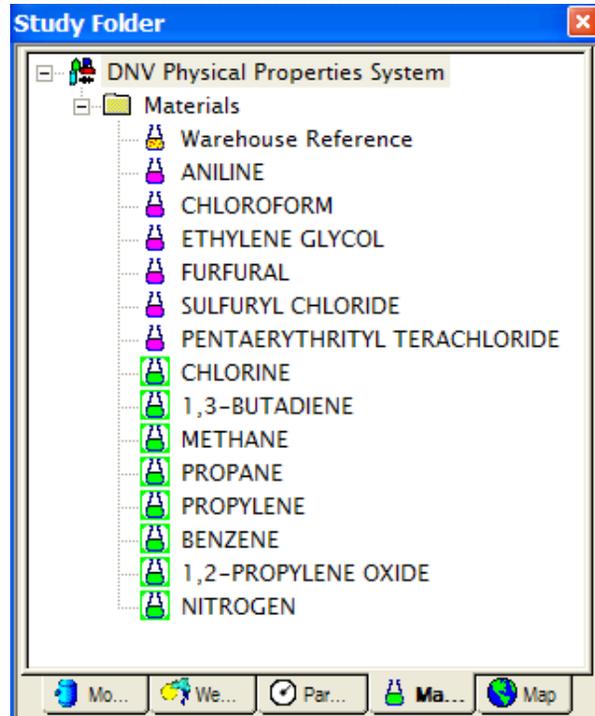
Sección de parámetros



Son los parámetros de entrada ya que se aplican a todos los cálculos y no son específicos de un modelo en particular al igual que lo weathers hay un conjunto de parámetros globales y otro de parámetros locales.

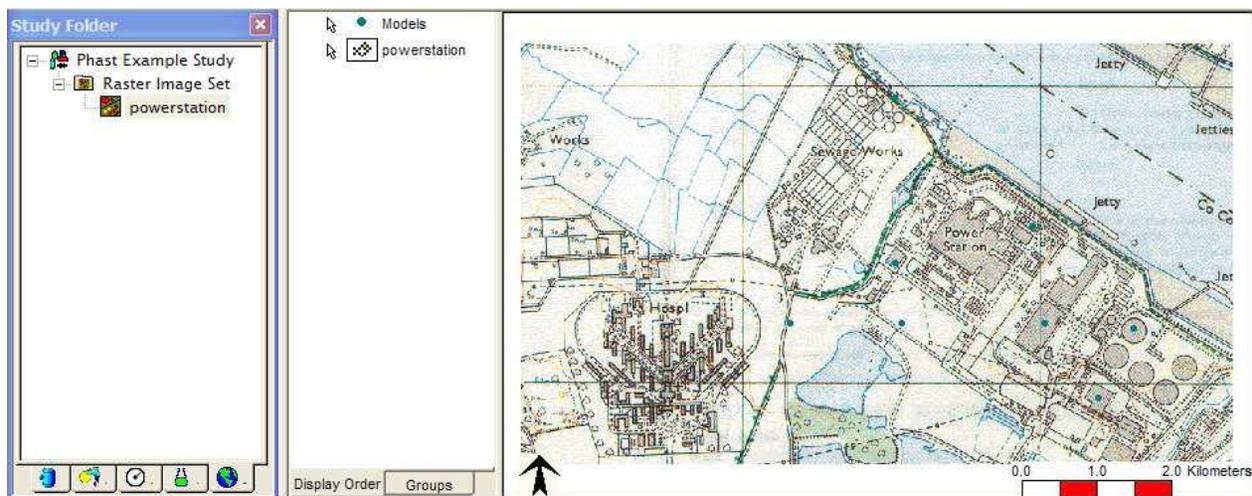


Sección de materiales



El programa contiene una base de datos con más de sesenta materiales pero también permite ingresar nuevos a la base de datos. Los materiales que se definen aplican para todos los modelos de simulación.

Sección de mapas



Esta sección permite configurar el mapa de imágenes y datos gráficos para ver las regiones y las características afectadas por los resultados del análisis consecuencias.