

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO

UNIVERSIDAD DE HUELVA

Colegio de Postgrados

**ANÁLISIS DE RIESGOS PARA LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE
CRUDO DE ECUADORTLC S.A.**

JOSÉ LUIS SAÁ LOOR

Tesis de grado presentada como requisito para la obtención del título de Máster en
Seguridad, Salud y Ambiente

Noviembre de 2009

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO, ECUADOR
UNIVERSIDAD DE HUELVA, ESPAÑA
Colegio de Postgrados**

HOJA DE APROBACIÓN DE TESIS

**ANÁLISIS DE RIESGOS PARA LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE
CRUDO DE ECUADORTLC S.A.**

JOSÉ LUIS SAÁ LOOR

Ing. Carlos Giovanni Vintimilla, M. Sc.
Director de Tesis

Dr. Carlos Ruiz Frutos, Ph. D.
Director de la Maestría en Seguridad,
Salud y Ambiente de la Univ. de Huelva
Jurado de Tesis

Dr. Luis Vásquez Zamora, M. Sc.
Director de la Maestría en Seguridad,
Salud y Ambiente de la USFQ
Jurado de Tesis

Ing. José Antonio Garrido Roldán, M. Sc.
Coordinador Académico de la Maestría en
Seguridad, Salud y Ambiente de la
Univ. de Huelva
Jurado de Tesis

Dr. Enrique Noboa I.
Decano del Colegio de Ciencias de la Salud
USFQ

Arq. Víctor Viteri Breedy, Ph. D.
Decano del Colegio de Postgrados
USFQ

Quito, Noviembre de 2009

© **Derechos de autor:**

JOSÉ LUIS SAÁ LOOR

2009

DEDICATORIA

A Dios, que me da la Sabiduría y la Fortaleza necesaria para enfrentar los retos
que trae la vida.

A mi esposa Noemí, cuyo amor y comprensión me ha dada la fortaleza para seguir
adelante y quien sin ella mi vida carecería de sentido para impulsar nuevos cambios.

A mis hijas Doménica y Paulina, por el tiempo robado que fue dedicado al presente
trabajo, pero que a la vez sirva de estímulo que cuando se quiere se puede. Las
amo.

AGRADECIMIENTO

Finalizado el presente trabajo de Tesis, quiero dejar constancia de mi más sincero agradecimiento a todas aquellas personas que, de una u otra forma, han colaborado en su elaboración.

En primer lugar, quiero expresar mi gratitud a Dr. Carlos Ruiz Frutos, Ph. D., Dr. Luis Vásquez Zamora, M. Sc. e Ing. José Antonio Garrido Roldán, M. Sc. por su sencillez, calidad humana y gran calidad de maestros.

Al Ing. Giovanni Vintimilla, M. Sc., director de esta Tesis, por los consejos tan valiosos que tanto han contribuido a mejorar este trabajo.

A Noemí, por soportar mis malos momentos, por animarme, por los buenos consejos, por sacar lo mejor de mí, por tantas cosas a las que las palabras nunca harían justicia.

Por último, quisiera agradecer a todos los Profesores y compañeros Maestros que con sus aportes lograron que la Maestría fuera una experiencia enriquecedora en todos los sentidos.

RESUMEN

El presente trabajo de tesis tiene la finalidad de establecer las consecuencias de posibles Accidentes Mayores en la Planta de Tratamiento de Crudo (PTC) de ECUADORTLC S.A, por medio de la realización de un Análisis Cuantitativo de Riesgos (ACR).

ECUADORTLC S.A. es una de las unidades del Área de Negocio Internacional de Petrobras Energía S.A. - PESA, tienen su sede administrativa en Quito, Ecuador; actúa en el mercado ecuatoriano en los negocios de Exploración y Producción de Petróleo en el Bloque 18 y Campo Palo Azul del oriente ecuatoriano, desde el año 2001.

Como parte de los resultados del Análisis Cuantitativo de Riesgos (ACR) se identificaron los posibles escenarios accidentales a través del Análisis Preliminar de Peligros (PHA), la frecuencia de ocurrencia de estos posibles escenarios por medio de la aplicación del un Árbol de Eventos (ETA) y la extensión de las consecuencias por medio la aplicación informática ALOHA ®. Así mismo se establecieron las zonas de riesgo aceptable asociadas a cada uno de los sistemas que conforman las instalaciones, así como las áreas de afectación por radiación térmica, dispersión de nube inflamable y explosión de gas inflamable para la elaboración de planes de emergencia, todo esto con la finalidad de facilitar la toma de decisiones gerenciales para asegurar niveles de riesgo tolerables en las áreas circundantes.

Para ello se siguieron los lineamientos establecidos en las ecuaciones fundamentales y modelos recomendadas por el Center for Chemical Process Safety (CCPS) y The Netherlands Organization of Applied Scientific Research (TNO), entre otros.

ABSTRACT

This thesis carries out the application of Quantitative Risk Analysis methodology on the Central Process Facilities of ECUADORTLC S.A, permitting the determination of consequences of mayor industrial Accidents.

ECUADORTLC S.A is a company that focuses on exploration and production of crude oil in Blok 18 and Campo Unificado Palo Azul, Ecuador, South America. The company has been in the Ecuadorian market since 2001; its administrative headquarter locates in Quito.

The results include Possible accidental scenarios: taking as support the Preliminary Risk Analysis; Frecuency of these possible accidental scenarios: taking as support the technique of Event Tree Analysis; Level of damage: making use of ALOHA® software; Acceptable Risk zones associated to each facilities systems; Thermal Radiation Threat Zones, Toxic Threat Zones and Overpressure Threat Zones; all of this in order to easy the decision making process and accurate the risk level at the surrounding areas.

To achieve these goals, the author incorporated the basic equations and models recomended by the Center for Chemical Process Safety (CCPS) and The Netherlands Organization of Applied Scientific Research (TNO).

INDICE

CAPITULO 1. ANTECEDENTES Y OBJETIVOS.....	1
1.1 ANTECEDENTES.....	1
1.2 OBJETIVOS.....	2
1.2.1 OBJETIVO GENERAL.....	2
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
1.2.3 OBJETIVO SECUNDARIOS	3
CAPITULO 2. MARCO LEGAL	4
2.1 NORMATIVA ECUATORIANA.....	4
2.2 MODELO ECUADOR.....	5
2.3 NORMATIVA ESPAÑOLA.....	5
2.4 NORMATIVA EUROPEA	8
CAPITULO 3. ACCIDENTES MAYORES	11
3.1 INTRODUCCIÓN	11
3.2 DEFINICIONES PREVIAS	11
3.3 FENOMENOS PELIGROSOS VARIABLES FÍSICAS ASOCIADAS.....	13
3.3.1 FENÓMENOS PELIGROSOS DE TIPO MECÁNICO	14
3.3.2 FENÓMENOS PELIGROSOS DE TIPO TÉRMICO.....	14
3.3.3 FENÓMENOS PELIGROSOS DE TIPO QUÍMICO	15
3.4 ESCENARIOS ACCIDENTALES	16
3.4.1 ESCENARIOS QUE DETERMINAN FENÓMENOS PELIGROSOS DE TIPO MECÁNICO	16
3.4.2 ESCENARIOS QUE DETERMINAN FENÓMENOS PELIGROSOS DE TIPO TÉRMICO	19
3.4.3 ESCENARIOS QUE DETERMINAN FENÓMENOS PELIGROSOS DE TIPO QUÍMICO.....	22
3.5 ZONAS DE PLANIFICACIÓN.....	25

CAPITULO 4. ANALISIS CUANTITATIVO DE RIESGOS	27
4.1 INTRODUCCIÓN	27
4.2 DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA.....	27
4.3 IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS	29
4.3 ESTIMACIÓN DE FRECUENCIAS.....	31
4.4 EVALUACIÓN DE CONSECUENCIAS	32
4.4.1 MÉTODOS DE CÁLCULO Y MODELOS MATEMÁTICOS.....	33
4.4.2 MEDIOS INFORMÁTICOS.....	42
CAPITULO 5. CUANTIFICACIÓN Y TOLERANCIA DEL RIESGO	44
5.1 CUANTIFICACIÓN DEL RIESGO	44
5.1.1 RIESGO INDIVIDUAL.....	44
5.1.2 RIESGO SOCIAL.....	45
5.2 CRITERIOS DE TOLERANCIA	46
5.2.1 RIESGO INACEPTABLE	47
5.2.2 RIESGO REDUCCIÓN DESEABLE.....	47
5.2.3 RIESGO ACEPTABLE.....	47
CAPITULO 6. CALCULO DE LA VULNERABILIDAD	49
6.1 INTRODUCCIÓN.....	49
6.2 VULNERABILIDAD DE PERSONAS.....	49
6.3 VULNERABILIDAD DE INSTALACIONES - REAL DECRETO 1196/2003	53
CAPITULO 7. DESCRIPCIÓN DE LAS INSTALACIONES.....	55
7.1 INTRODUCCIÓN.....	55
7.2 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE PROCESOS	56
7.2.1 SISTEMA DE DESHIDRATACIÓN DE CRUDO	56

7.2.2	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS DE PRODUCCIÓN (PIAs)	57
7.2.3	SISTEMA DE ALMACENAMIENTO (AGUA DE PRODUCCIÓN Y CRUDO DESHIDRATADO)	58
7.2.4	SISTEMA DE BOMBEO Y FISCALIZACIÓN DE CRUDO	59
7.2.5	SISTEMA DE INYECCIÓN DE AGUAS DE PRODUCCIÓN	60
7.2.6	UNIDAD RECUPERADORA DE VAPORES	60
7.2.7	SISTEMA DE LIMPIEZA DE DUCTOS (TRAMPAS)	61
7.2.8	SISTEMA DE CRUDO RECUPERADO	62
7.2.9	SISTEMA DE DRENAJE	62
7.2.1	ESQUEMA DE BLOQUES	63

CAPITULO 8. CONDICIONES GENERALES PARA EL ANALISIS..... 65

8.1	CARACTERIZACIÓN CLIMATICA	65
8.1.1	PRECIPITACIÓN	66
8.1.2	TEMPERATURA	66
8.1.3	HUMEDAD RELATIVA	66
8.1.4	NUBOSIDAD	67
8.1.5	VELOCIDAD Y DIRECCIÓN DEL VIENTO	67
8.2	CONDICIONES NORMALES DE OPERACIÓN	68
8.3	CONDICIONES DE USO DE EQUIPOS	70
8.4	CARACTERÍSTICAS DEL CRUDO Y DEL GAS	71
8.5	CONDICIONES DE TAMAÑO DE ORIFICIO DE FUGA	72

CAPITULO 9. APLICACIÓN PRÁCTICA ANALISIS CUANTITATIVO DE RIESGO74

9.1	INTRODUCCIÓN	74
9.2	IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS	74
9.3	ESTIMACIÓN DE FRECUENCIAS	77
9.4	CALCULO DE CONSECUENCIAS DE ZONAS DE AFECTACIÓN	80
9.4.1	CARACTERÍSTICAS DE LOS ESCENARIOS ACCIDENTALES	81
9.5	CUANTIFICACIÓN DEL RIESGO INDIVIDUAL Y RIESGO SOCIAL	85

CAPITULO 10. ANALISIS DE RESULTADOS 87

10.1 ANALISIS DE RESULTADOS 87

CAPITULO 11. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 89

11.1 CONCLUSIONES 89

11.2 RECOMENDACIONES 92

NOMENCLATURA 94

BIBLIOGRAFÍA 96

ANEXOS

- Anexo I: Identificación de Peligros
- Anexo II: Estimación de Frecuencias para la Planta de Tratamiento de Crudo de Ecuador TLC
- Anexo III: Resultados de Consecuencias de Zonas de Afectación
- Anexo IV: Características de los Escenarios Accidentales
- Anexo V: Aloha 5.4.1.2
- Anexo VI: Riesgo Químico – Accidentes Graves – Sulfuro de Hidrógeno

Lista de Tablas

TABLA 3.1 VALORES UMBRALES DE LAS ZONAS DE PLANIFICACIÓN [15].....	26
TABLA 4.1 NIVELES DE ESTABILIDAD EN FUNCIÓN DEL GRADIENTE TÉRMICO [20].....	41
TABLA 4.2 COEFICIENTES Y EXPONENTES PARA LAS ECUACIONES 4.12 Y 4.13 [20].....	42
TABLA 4.3 LISTA DE PROGRAMAS MÁS UTILIZADOS.....	43
TABLA 5.1 CRITERIOS DE TOLERANCIA DE RIESGO INDIVIDUAL A TERCEROS [20].....	48
TABLA 5.2 CRITERIOS DE TOLERANCIA DE RIESGO INDIVIDUAL A OPERADORES [20].....	48
TABLA 5.3 DEFINICIONES DE TIPO DE INDIVIDUO	48
TABLA 6.1 RELACIÓN ENTRE EL PORCENTAJE Y EL VALOR DE LA FUNCIÓN PROBIT [19].....	50
TABLA 6.2 VALORES DE VULNERABILIDAD DE INSTALACIONES [20].....	54
TABLA 8.1 DOCUMENTOS DE INGENIERÍA [13].....	68
TABLA 8.2 DOCUMENTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO [13].....	70
TABLA 8.3 ANÁLISIS DE CRUDO PALO AZUL [13].....	72
TABLA 8.4 ANÁLISIS DE GAS PALO AZUL [13].....	72
TABLA 9.1 DOCUMENTOS DE INGENIERÍA UTILIZADOS EN EL APP [13].....	75
TABLA 9.2 FRECUENCIA DE FALLOS DE LOS EQUIPOS [19].....	78
TABLA 9.3 NIVELES DE DAÑO POR RADIACIÓN TÉRMICA Y SOBREPESIÓN.....	80
TABLA 9.4 NIVELES DE DAÑO POR EXPOSICIÓN TOXICA A SULFURO DE HIDROGENO.....	81

Lista de Figuras

FIGURA N° 3.1 UVCE EN UNA PLANTA DE PROCESO, 1974 FLISHBOROUGH, INGLATERRA ...	18
FIGURA N° 3.2 BLEVE EN ESFERAS DE GLP, 1984 IXHAUTEPEC, MÉXICO	19
FIGURA N° 3.3 INCENDIO DE CHARCO – POOL FIRE.....	20
FIGURA N° 3.4 DARDO DE FUEGO – JET FIRE	20
FIGURA N° 3.5 BOLA DE FUEGO – FIREBALL	21
FIGURA N° 3.6 CHORRO GASEOSO – ESCAPE CLORO.....	23
FIGURA N° 3.7 ESCENARIOS QUE DETERMINAN LOS FENÓMENOS PELIGROS [20].....	24
FIGURA N° 4.1 PROCESO DEL ANÁLISIS CUANTITATIVO DE RIESGOS [4].....	28
FIGURA N° 4.2 PARÁMETROS DE LA DEFLAGRACIÓN EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIAS ESCALADA [10]	35
FIGURA N° 7.1 ESQUEMA DE BLOQUES DE LOS SISTEMAS CONTEMPLADOS EN LA PTC [13]	64
FIGURA N° 8.1 CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA [8].....	65
FIGURA N° 8.2 ANÁLISIS CLIMÁTICO [8].....	67
FIGURA N° 9.1 DIAGRAMA DE BLOQUES PLANTA DE TRATAMIENTO DE CRUDO [13]	76
FIGURA N° 9.2 ÁRBOL DE SUCESOS PARA ESCENARIO L1	79
FIGURA 9.3 CONSECUENCIAS POR RADIACIÓN TÉRMICA	82
FIGURA 9.4 CONSECUENCIAS POR SOBREPRESIÓN	83
FIGURA 9.5 CONSECUENCIAS POR DISPERSIÓN DE NUBE TOXICA.....	84
FIGURA 9.6 CONTORNOS DE RIESGO INDIVIDUAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE CRUDO	86

CAPITULO 1. ANTECEDENTES Y OBJETIVOS

1.1 ANTECEDENTES

Después de los accidentes como Flixborrought (1974), Seveso (1976), Bophal (1984) y otros más recientes como Sterligton – Louisiana U.S. (1991): Texas City – Texas U.S (2005), la preocupación por la seguridad en las instalaciones industriales experimento un gran crecimiento en especial en las sociedades más avanzadas con la promulgación de leyes y reglamentos que permitan establecer los niveles de seguridad de las instalaciones y determinar las posibles afectaciones a las comunidades circundantes.

Así mismo el desarrollo en paralelo de Sistemas de Gestión sean estos de Calidad, Medio Ambiente o de Seguridad y Salud ha contribuido a establecer planes y programas para minimizar los riesgos en las instalaciones y estar preparados para posibles emergencias.

La industria del petróleo esta sujeta a estas reglamentaciones y a la implementación de estos Sistemas de Gestión, tomado en cuenta además que en la ejecución de sus actividades aparecen un sinnúmero de situaciones de riesgo de accidentes graves relacionados con las características peligrosas de las sustancias o productos utilizados (inflamables, tóxicos o explosivos), con las condiciones de operación (temperatura, presión, niveles) y con la creciente demanda del mercado lo que se traduce en mayores volúmenes de producción, procesamiento y almacenaje, aumentando así también sus niveles de riesgo.

Por eso la importancia de realizar un adecuado Análisis Cuantitativo de Riesgos de las instalaciones, que mediante modelos de cálculo de consecuencias de magnitudes peligrosas (Radiación, sobrepresión y

dispersión de sustancias tóxicas) nos permita predecir los daños al personal, instalaciones y a terceros

El uso de Análisis cuantitativo de riesgos (ACR) por empresas privadas y agencias del gobierno ha aumentado en los últimos años. Normalmente, las técnicas de ACR se utilizan para obtener una mejor comprensión del riesgo que supone para las personas que viven y/o trabajan cerca de las instalaciones de materiales peligrosos, y para ayudarles en la preparación de planes de respuesta de emergencia eficaz.

Al realizar un ACR los modelos de consecuencia se utilizan para predecir el tamaño, forma y orientación de las zonas de peligro que podrían ser creados por la liberación de materiales peligrosos. En las evaluaciones de riesgo público, la medida común de la consecuencia suele ser el impacto en los seres humanos expuestos a cada tipo de riesgo.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo General

Identificar los principales eventos potencialmente peligrosos en la Planta de Tratamiento de Crudo de ECUADORTLC S.A y estimar los daños al personal, instalaciones y a terceros, como resultado de fugas de sustancias tóxicas e inflamables, y así poder cuantificar el nivel de riesgo implícito mediante el cálculo de la frecuencia de ocurrencia y de la magnitud de las consecuencias.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Identificar y describir los principales peligros y riesgos operacionales que pueden darse en la planta de tratamiento de crudo, como consecuencia de desviaciones de las condiciones normales de operación, utilizando la metodología de Análisis Preliminar de Peligros (PHA).

- Definir los posibles escenarios de magnitudes peligrosas y determinar las frecuencias de ocurrencia por medio de la aplicación de un Árbol de Eventos (ETA).
- Aplicar la metodología de cálculo de consecuencias, planteadas por The Netherlands Organisation of Applied Scientific Research (TNO) para cada uno de los diferentes tipos de magnitudes peligrosas.
- Determinar las zonas de riesgo aceptables, de afectación de riesgo individual y de terceros.
- Definir las zonas de máxima seguridad dentro de la Planta de Tratamiento de Crudo.
- Definir las zonas de afectación por: radiación térmica, explosión y nube toxica

1.2.3 Objetivo Secundarios

Elaborar una metodología clara y sistematizada, que ayude a las industrias del sector hidrocarburífero y al personal del área de Seguridad y Salud Ocupacional a identificar, medir y evaluar los riesgos potenciales en las plantas de tratamiento de crudo y su aceptabilidad en el entorno en que se desarrolla.

CAPITULO 2. MARCO LEGAL

2.1 NORMATIVA ECUATORIANA

La normativa Ecuatoriana aplicable para la realización del presente trabajo titulado “Análisis de Riesgos para la Planta de Tratamiento de Crudo de ECUADORTLC S.A.”, es la relacionada con la obligatoriedad de tener planes para la prevención y control de accidentes mayores. La cual se basa en los siguientes cuerpos legales:

- I) DECISION 584:** Sustitución de la Decisión 547, Instrumento Andino de Seguridad y Salud en el Trabajo (SST).

Capítulo II.- Política de prevención de riesgos laborales.

Art.9.- Los países miembros desarrollarán las tecnologías de información y los sistemas de gestión en materia de seguridad y salud en el trabajo con miras a reducir los riesgos laborales.

- II) RESOLUCIÓN 957:** Reglamento del Instrumento Andino de Seguridad y Salud en el trabajo.

Art.1 Según lo dispuesto por el Art. 9 de la decisión 548 los países miembros desarrollaran los sistemas de gestión de seguridad y salud en el trabajo, para lo cual se podrán tener en cuenta los siguientes aspectos:

- a) Gestión administrativa
- b) Gestión técnica
- c) Gestión del talento humano
- d) Procesos operativos básicos : Numeral 5, planes de prevención y control de accidentes mayores

2.2 MODELO ECUADOR

La legislación Ecuatoriana a través de los acuerdos internacionales firmados establece la obligatoriedad de desarrollar un Sistema de Gestión en Seguridad y Salud en el trabajo que cuente con los aspectos de la gestión administrativa, gestión técnica, gestión del talento humano y con los procesos operativos básicos.

El Modelo de Gestión que cumple con estos requerimientos y en especial con la obligatoriedad de contar con Planes de prevención y control de accidentes mayores es el MODELO ECUADOR [18], que dice:

“Planes de prevención contra accidentes mayores: La organización deberá tener identificado y calculado, mediante modelos de simulación, los sucesos que por su gravedad o naturaleza superen los límites de las instalaciones, poniendo en riesgo a la colectividad. Dichos modelos deberán establecer las víctimas o lesiones más probables en caso de darse el accidente, además de los daños que puedan causar a las instalaciones, así como el radio de compromiso en vidas y daños materiales.”

2.3 NORMATIVA ESPAÑOLA

La normativa Española consultada para la realización del presente trabajo es la siguiente:

- **Real Decreto 1254/1999**, de 16 de julio, por el que se aprueban medidas de Control de los Riesgos Inherentes a los Accidentes Graves en los que intervengan sustancias peligrosas.

Este Real Decreto es la trasposición a la legislación estatal de la Directiva 96/82/CE del Parlamento Europeo y del Consejo. Respecto a la normativa

anterior, incluye nuevas definiciones, establece un nuevo sistema de ámbito de aplicación con criterios más genéricos para establecer las categorías de sustancias y se incluyen por primera vez las sustancias peligrosas para el medio ambiente.

Se incorporan además nuevos requisitos para el industrial, para que se realice una política de prevención de accidentes graves y se establezca un sistema de gestión de la seguridad. Asimismo, se refuerzan los sistemas de inspección y se potencia el intercambio de información entre el industrial y las autoridades competentes, y entre éstas y la Comisión Europea.

- **Real Decreto 1196/2003**, de 19 de septiembre, por el que se aprueba la Directriz básica de protección civil para el control y planificación ante el riesgo de accidentes graves en los que intervienen sustancias peligrosas.

Deroga la directriz básica anterior aprobada en noviembre de 1990 y publicada mediante resolución el 30 de enero de 1991. Incorpora modificaciones en la política de prevención de accidentes graves, el sistema de gestión de la seguridad, del desarrollo de los planes de autoprotección, etc. Establece además los plazos para la adaptación de los informes de seguridad y los contenidos mínimos de la documentación e indica los nuevos criterios para las zonas de planificación.

- **Real Decreto 948/2005**, de 29 de julio, por el que se modifica el Real Decreto 1254/1999, de 16 de julio, por el que se aprueban medidas de control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervienen sustancias peligrosas.

La segunda modificación del RD 1254/1999 tenía lugar con la obligada trasposición de la Directiva Seveso III, a través del RD 948/2005. Las principales modificaciones e incorporaciones establecidas por el mismo son las siguientes:

- Inclusión en el ámbito de aplicación del RD de las actividades de tratamiento térmico y químico y almacenamiento en actividades dedicadas a la explotación y perforación de minerales en minas y canteras y de las instalaciones operativas de evacuación de residuos, incluidos los diques y balsas de residuos, que contengan sustancias peligrosas (accidentes de Baia Mare y Aznalcóllar).
- Establecimiento de un plazo de tres meses para la Notificación a presentar por los industriales de establecimientos existentes que entren con posterioridad en el ámbito de aplicación del Real Decreto.
- Establecimiento de la obligación del industrial de informar inmediatamente de la modificación sufrida en su establecimiento o instalación, de la que pudieran derivarse repercusiones significativas en los riesgos inherentes a los accidentes graves.
- A través del establecimiento de protocolos de comunicación, las autoridades competentes se asegurarán de que los industriales toman las medidas necesarias para garantizar la cooperación en la información a la población, así como también que suministran la información necesaria a la autoridad competente para la elaboración de Planes de Emergencia Exterior.
- Se introduce la información mínima que la Dirección General de Protección Civil deberá proporcionar a la Comisión Europea respecto de los establecimientos afectados por el Real Decreto (nombre y apellidos o razón social del industrial y dirección completa del establecimiento correspondiente, así como la actividad o actividades del establecimiento).

2.4 NORMATIVA EUROPEA

La normativa Europea consultada para la realización del presente trabajo es la siguiente:

- **Directiva 96/82/CE del Consejo**, de 9 de diciembre de 1996, relativa al control de riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas.

El objeto de esta directiva, que recibe el nombre de “Seveso II”, es “la prevención de accidentes graves en que intervengan sustancias peligrosas, así como la limitación de sus repercusiones en las personas y el medioambiente, con miras a garantizar de forma coherente y eficaz niveles elevados de protección en toda la Comunidad”, tal como se indica en el Artículo 1 de la misma.

Se establecen como prioridades la preservación y la protección tanto de la calidad del medioambiente como de la salud de las personas mediante acciones de prevención, la mejora en la gestión de los riesgos y los accidentes y la puesta en común de las experiencias adquiridas por los Estados miembros. Se considera además, que:

- Los accidentes graves pueden tener consecuencias transfronterizas y que los costes de los accidentes recaen tanto en los establecimientos como en los Estados miembros,
- Que el transporte de sustancias peligrosas a través de canalizaciones conlleva también riesgos de accidente grave,
- Que el análisis de los accidentes declarados indica que son en su mayoría defectos de gestión u organización, y que es necesario

establecer planes de emergencia internos y externos y crear sistemas que garanticen su comprobación y revisión.

Los distintos artículos de la Directiva definen los principales conceptos implicados, indican las obligaciones del industrial y establecen el contenido de la documentación a presentar, así como el funcionamiento del sistema de información e inspección a aplicar.

- **Directiva 2003/105/CE del Parlamento Europeo y del Consejo**, de 16 de diciembre de 2003, por la que se modifica la Directiva 96/82/CE del Consejo relativa al control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas.

Esta Directiva modifica la anterior teniendo en cuenta algunos accidentes producidos tras su publicación; como:

- El vertido de cianuro que contaminó el Danubio en Rumanía en Enero de 2000,
- El accidente pirotécnico de Enschede en los Países Bajos, en Mayo de 2000,
- La explosión en la fábrica de fertilizantes de Toulouse en Septiembre de 2001.

Considera además los estudios sobre carcinógenos y sustancias peligrosas para el medioambiente efectuados por la Comisión; la propuesta de Directiva sobre la gestión de residuos de industrias extractivas y la adopción de la Directiva 2001/792/CE del Consejo, de 23 de octubre de 2001, por la que se establece un mecanismo comunitario para facilitar la cooperación reforzada en las acciones de ayuda en el ámbito de la protección civil, entre otros.

Los cambios realizados modifican algunas de las exclusiones de la directiva original, así como las cantidades umbrales de algunas de las sustancias consideradas como peligrosas, como el nitrato de amonio, los considerados “carcinógenos” y los derivados del petróleo.

CAPITULO 3. ACCIDENTES MAYORES

3.1 INTRODUCCIÓN

En la industria química y petroquímica lo que más preocupa a los responsables de la instalación, a las autoridades y a la población en general es que se materialice un accidente de grandes consecuencias producto la emisión, escape, vertido, incendio y/o explosión de sustancias peligrosas, y que sus daños sobrepasen los límites de las instalaciones industriales.

En este capítulo revisaremos de manera general cuáles son los accidentes mayores que pueden suceder en instalaciones industriales.

Se presenta también un esquema simplificado de las distintas posibilidades existentes después de un escape o de una pérdida de contención, en función de las condiciones en las que se encuentre la sustancia emitida (gas o líquido) y según sean las distintas circunstancias (velocidad de salida, existencia de fuentes de ignición).

3.2 DEFINICIONES PREVIAS

Para el desarrollo del presente capítulo se utilizarán las definiciones dadas por el Real Decreto 1196/2003 [14] de 19 de septiembre, por el que se aprueba la Directriz básica de protección civil para el control y planificación ante el riesgo de accidentes graves en los que intervienen sustancias peligrosas:

- **Daño:** la pérdida de vidas humanas, las lesiones corporales, los perjuicios materiales y el deterioro grave del medio ambiente, como resultado directo o indirecto, inmediato o diferido, de las propiedades tóxicas, inflamables, explosivas, oxidantes o de otra naturaleza, de las sustancias

peligrosas y a otros efectos físicos o fisicoquímicos consecuencia del desarrollo de las actividades industriales.

- **Establecimiento:** la totalidad de la zona bajo el control de un industrial en la que se encuentren sustancias peligrosas en una o varias instalaciones, incluidas las infraestructuras o actividades comunes o conexas.
- **Instalación:** una unidad técnica dentro de un establecimiento en donde se produzcan, utilicen, manipulen, transformen o almacenen sustancias peligrosas. Incluye todos los equipos, estructuras, canalizaciones, maquinaria, instrumentos, ramales ferroviarios particulares, dársenas, muelles de carga o descarga para uso de la instalación, espigones, depósitos o estructuras similares, estén a flote o no, necesarios para el funcionamiento de la instalación.
- **Accidente mayor:** cualquier suceso, tal que una emisión en forma de fuga o vertido, incendio o explosión importantes, que sea consecuencia de un proceso no controlado durante el funcionamiento de cualquier establecimiento, que suponga una situación de grave riesgo, inmediato o diferido, para las personas, los bienes y el medio ambiente, bien sea en el interior, bien en el exterior del establecimiento, y en el que estén implicadas una o varias sustancias peligrosas. A efectos de esta directriz, los accidentes se clasifican en las categorías siguientes:

Categoría 1: aquellos para los que se prevea, como única consecuencia, daños materiales en el establecimiento accidentado y no se prevean daños de ningún tipo en el exterior de éste.

Categoría 2: aquellos para los que se prevea, como consecuencias, posibles víctimas y daños materiales en el establecimiento; mientras que las repercusiones exteriores se limitan a daños leves o efectos adversos sobre el medio ambiente en zonas limitadas.

Categoría 3: aquellos para los que se prevea, como consecuencias, posibles víctimas, daños materiales graves o alteraciones graves del medio ambiente en zonas extensas y en el exterior del establecimiento.

- **ERPG 1:** es la máxima concentración en aire por debajo de la cual se cree que casi todos los individuos pueden estar expuestos hasta una hora experimentando sólo efectos adversos ligeros y transitorios o percibiendo un olor claramente definido.
- **ERPG 2:** es la máxima concentración en aire por debajo de la cual se cree que casi todos los individuos pueden estar expuestos hasta una hora sin experimentar o desarrollar efectos serios o irreversibles o síntomas que pudieran impedir la posibilidad de llevar a cabo acciones de protección.
- **ERPG 3:** es la máxima concentración en aire por debajo de la cual se cree que casi todos los individuos pueden estar expuestos hasta una hora sin experimentar o desarrollar efectos que amenacen su vida. No obstante, pueden sufrir efectos serios o irreversibles y síntomas que impidan la posibilidad de llevar a cabo acciones de protección.

3.3 FENOMENOS PELIGROSOS VARIABLES FÍSICAS ASOCIADAS

Las sustancias peligrosas que intervienen en los accidentes mayores, pueden producir fenómenos peligrosos para las personas, el medio ambiente y las instalaciones y pueden ser de:

- **Tipo Mecánico:** ondas de presión y proyectiles,
- **Tipo Térmico:** radiación térmica
- **Tipo Químico:** nube tóxica o contaminación del medio ambiente provocada por la fuga o verido incontrolado de sustancias peligrosas.

Estos tres tipos de fenómenos pueden presentarse de forma aislada, simultánea o secuencialmente.

3.3.1 Fenómenos Peligrosos de Tipo Mecánico

Se incluyen aquí las ondas de presión y los proyectiles. Las ondas de presión son provocadas por las explosiones o equilibrio rápido entre una masa de gases a presión elevada y la atmósfera que la envuelve. En el caso de que la energía necesaria para la expansión del gas proceda de un fenómeno físico, se dice que la explosión es física y se requiere que el producto esté confinado en un recipiente estanco (denominándose estallido). Si la energía procede de una reacción química, se trata de una explosión química (o explosión, simplemente).

En este caso la explosión puede ocurrir aunque el producto no esté confinado. Una explosión confinada, o estallido, puede originar fragmentos del continente, y una no confinada, de sólidos de las inmediaciones del punto en que se ha producido la explosión. Estos fragmentos o proyectiles están dotados de gran cantidad de movimiento y sus dimensiones y alcance son variados pero limitados.

3.3.2 Fenómenos Peligrosos de Tipo Térmico

Son provocados por la oxidación rápida, no explosiva, de sustancias combustibles, produciendo llama, que puede ser estacionaria o progresiva, pero que en todos los casos disipa la energía de combustión mayoritariamente por radiación que puede afectar a seres vivos e instalaciones materiales.

Si la materia sobre la que incide el flujo de radiación térmica no puede disiparlo a la misma velocidad que lo recibe, éste provoca un incremento de su temperatura. Si este incremento no se limita, se producen alteraciones irreversibles y catastróficas, que pueden culminar en la combustión o fusión y volatilización de la materia expuesta.

En las proximidades del punto donde se desarrolla la llama, se tiene transmisión de calor tanto por convección como por radiación y conducción. Así pues, la única forma de evitar o mitigar sus efectos es la utilización de equipos de protección individual frente al calor o el fuego o protecciones adecuadas. En contraposición, a partir de una cierta distancia del foco del incendio, la transmisión del calor se efectúa exclusivamente por radiación, disminuyendo su intensidad al aumentar dicha distancia. Esto hace que cualquier pantalla opaca a la radiación térmica pueda constituir una medida de protección sumamente eficaz.

3.3.3 Fenómenos Peligrosos de Tipo Químico

Se incluyen aquí las nubes tóxicas o la contaminación del medio ambiente debida a fugas o vertidos incontrolados de sustancias peligrosas para las personas y el medio ambiente.

Estas sustancias químicas, directa o indirectamente, a través de reacciones secundarias inmediatas o diferidas, pueden producir efectos muy diversos en función de la categoría de la sustancia peligrosa de que se trate.

Los daños dependerán, para cada entorno, de las características orográficas del terreno, la concentración del tóxico y el tiempo de exposición.

La característica esencial de todos los productos y sustancias tóxicas es que para producir consecuencias deben dispersarse, diluirse y reaccionar a través de un medio, lo que requiere que transcurra un tiempo y, en ocasiones, permite la aplicación de medidas de protección más fácilmente que para los fenómenos térmicos y mecánicos, aunque, por otra parte, en muchos casos, resulta muy difícil conocer el desplazamiento de los contaminantes, su evolución, así como eliminarlos totalmente del medio al que se han incorporado.

La liberación incontrolada de productos contaminantes conlleva riesgos asociados cuyas consecuencias son diferidas en la mayoría de las ocasiones. Es por ello que, a la hora de delimitar las zonas afectadas por estos sucesos, es preciso el conocimiento de las circunstancias, en su más amplio sentido, bajo las que se desarrolla el accidente, así como la naturaleza del producto fugado en lo que a su capacidad contaminante se refiere.

3.4 ESCENARIOS ACCIDENTALES

En el presente numeral desarrollaremos las definiciones de los principales escenarios accidentales que pueden producirse en la industria química y petroquímica en particular y en el transporte sustancias peligrosas.

Se presentan aquí una serie de accidentes perfectamente tipificados por lo que es posible, mediante correlaciones matemáticas o modelos de cálculo por ordenador, estimar el alcance de los fenómenos peligrosos que de ellos se deriva.

Dependiendo del tipo de fenómeno peligroso principal que caracteriza el accidente, se pueden agrupar los escenarios de la manera siguiente:

- Escenarios de fenómenos peligrosos de tipo mecánico.
- Escenarios de fenómenos peligrosos de tipo térmico
- Escenarios de fenómenos peligrosos de tipo químico

3.4.1 Escenarios que determinan fenómenos peligrosos de tipo mecánico

- **Explosión (en general, sin especificar):** Equilibrio en un breve período de tiempo de una masa de gases en expansión contra la atmósfera que la envuelve.

Si la energía necesaria para la expansión de los gases procede de una reacción química, se dice que la explosión es química; es el caso de las explosiones derivadas de fenómenos de combustión donde están involucrados gases inflamables, de explosiones derivadas de reacciones incontroladas y de explosiones asociadas a la ignición o descomposición de sustancias explosivas.

Pero si procede de la liberación repentina de un gas comprimido o de la expansión rápida de vapores, se trata de una explosión física (este último tipo de explosión se denomina estallido).

- **Explosión de una nube de vapor inflamable no confinada (UVCE, acrónimo de la expresión inglesa Unconfined Vapor Cloud Explosion):** Tipo de explosión química que involucra una cantidad importante de gas o vapor en condiciones de inflamabilidad, que se dispersa por el ambiente exterior; para que esto ocurra, a grandes rasgos, la cantidad de gas tiene que superar el valor de algunas toneladas. Cuando no es así, normalmente la ignición de la masa de vapor deriva en una llamarada sin efectos mecánicos importantes.

En general, este tipo de accidentes se asocia a situaciones que determinan el escape masivo de gases licuados, gases refrigerados y líquidos inflamables muy volátiles (con una intensa evaporación), ya que en estas circunstancias se pueden generar una gran cantidad de vapores inflamables en un breve período de tiempo. (Ver Figura 3 – 1)



FIGURA N° 3.1 UVCE EN UNA PLANTA DE PROCESO, 1974 FLISHBOROUGH, INGLATERRA

- **Explosión de vapor confinado (CVE, acrónimo de la expresión Confined Vapor Explosion):** Tipo de explosión química que involucra gases inflamables en condiciones de confinamiento (total o parcial); normalmente se asocia a explosiones derivadas de la combustión en recintos cerrados de vapor inflamable (naves industriales, salas de trascolamiento, cámaras de aire de depósitos, sistemas de drenaje contaminados por productos volátiles, etc.).
- **Estallido de contenedor a presión:** Explosión física derivada de la rotura repentina de un recipiente a presión, causada por la presión interior y por un fallo de la resistencia mecánica del contenedor, que provoca una dispersión violenta del fluido interior, una onda de presión y proyectiles.
- **BLEVE. (acrónimo de la expresión inglesa Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion):** Fenómeno de estallido normalmente asociado a la situación accidental de bola de fuego.

Este fenómeno puede suceder también con sustancias licuadas a presión y no inflamables cuando, en determinadas situaciones de presión y temperatura, el recipiente que las contiene se rompe repentinamente y si está asociado al fenómeno de bola de fuego, el alcance de la magnitud física peligrosa, que caracteriza el efecto mecánico (sobrepresión), suele ser inferior al alcance de la radiación; de ahí que la planificación de emergencias sólo se realice teniendo en cuenta los daños de este último fenómeno. (Ver Figura 3 – 2)



FIGURA N° 3.2 BLEVE EN ESFERAS DE GLP, 1984 IXHAUTEPEC, MÉXICO

3.4.2 Escenarios que determinan fenómenos peligrosos de tipo térmico

- **Incendio de charco (pool fire):** Combustión estacionaria con llama de difusión del líquido de un charco de dimensiones conocidas (extensión), que se produce en un recinto descubierto. (Ver Figura 3 – 3)



FIGURA N° 3.3 INCENDIO DE CHARCO – POOL FIRE

- **Dardo de fuego (jet fire):** Llama estacionaria y alargada (de gran longitud y poca amplitud) provocada por la ignición de un chorro turbulento de gases o vapores combustibles. Un ejemplo típico es el soplete. (Ver Figura 3 -4)



FIGURA N° 3.4 DARDO DE FUEGO – JET FIRE

- **Llamarada (flash fire):** Llama progresiva de difusión, de baja velocidad. No produce ondas de presión significativas. Suele estar asociada a la dispersión de vapores inflamables a ras de suelo. Cuando éstos encuentran un punto de ignición, el frente de la llama generado se propaga hasta el punto de emisión, barriendo y quemando toda la zona ocupada por los vapores en condiciones de inflamabilidad. Si el origen de los vapores es un vertido con evaporación, el fenómeno acaba en un incendio de charco.
- **Bola de fuego (Fire Ball):** Este escenario se refiere a la bola de fuego (fireball) que se produce por el estallido súbito y total, por calentamiento externo, de un recipiente que contiene un gas inflamable licuado a presión, cuando el material de la pared pierde resistencia mecánica y no puede resistir la presión interior. El calentamiento extremo es generalmente producido por un incendio de charco o de dardo de fuego, y la probabilidad de que estalle es especialmente elevada en los casos en los que hay un contacto directo de la llama con la superficie del recipiente. (Ver Figura 3 – 5)



FIGURA N° 3.5 BOLA DE FUEGO – FIREBALL

3.4.3 Escenarios que determinan fenómenos peligrosos de tipo químico

Son Escenarios que determinan fenómenos peligrosos asociados a la concentración de una sustancia emitida al ambiente por un escape de un producto tóxico o inflamable en forma gaseosa, o bien en forma líquida en condiciones de ser vaporizado, produce una nube de gas. Esta nube, según sea la velocidad de salida del producto, se comporta como:

- **Chorro gaseoso (turbulent free jet):** en este caso, la dispersión del producto depende de la velocidad y de la presión de salida. Cuando el gas o vapor está suficientemente diluido y su velocidad es menor que la velocidad del viento, se dispersará a corta distancia en función de las condiciones meteorológicas.
- **Dispersión atmosférica:** la nube, en función de las condiciones meteorológicas, se extiende y se desplaza mientras se va diluyendo. Las áreas de terreno que quedan bajo el efecto de esta nube sufrirán las consecuencias del producto contaminante.

Según la evolución del fenómeno en el tiempo, las emisiones pueden clasificarse en: instantáneas (soplo), continuas (emisiones prolongadas en el tiempo) y en régimen transitorio (emisiones limitadas en el tiempo y a menudo de caudal variable).

Según la densidad del producto, la dispersión puede ser neutra o gaussiana (gases o vapores con densidad similar a la del aire), o de gases pesados (productos más densos que el aire, de manera que la gravedad ejerce una influencia significativa en la evolución de la nube). (Ver Figura 3 – 6)



FIGURA N° 3.6 CHORRO GASEOSO – ESCAPE CLORO

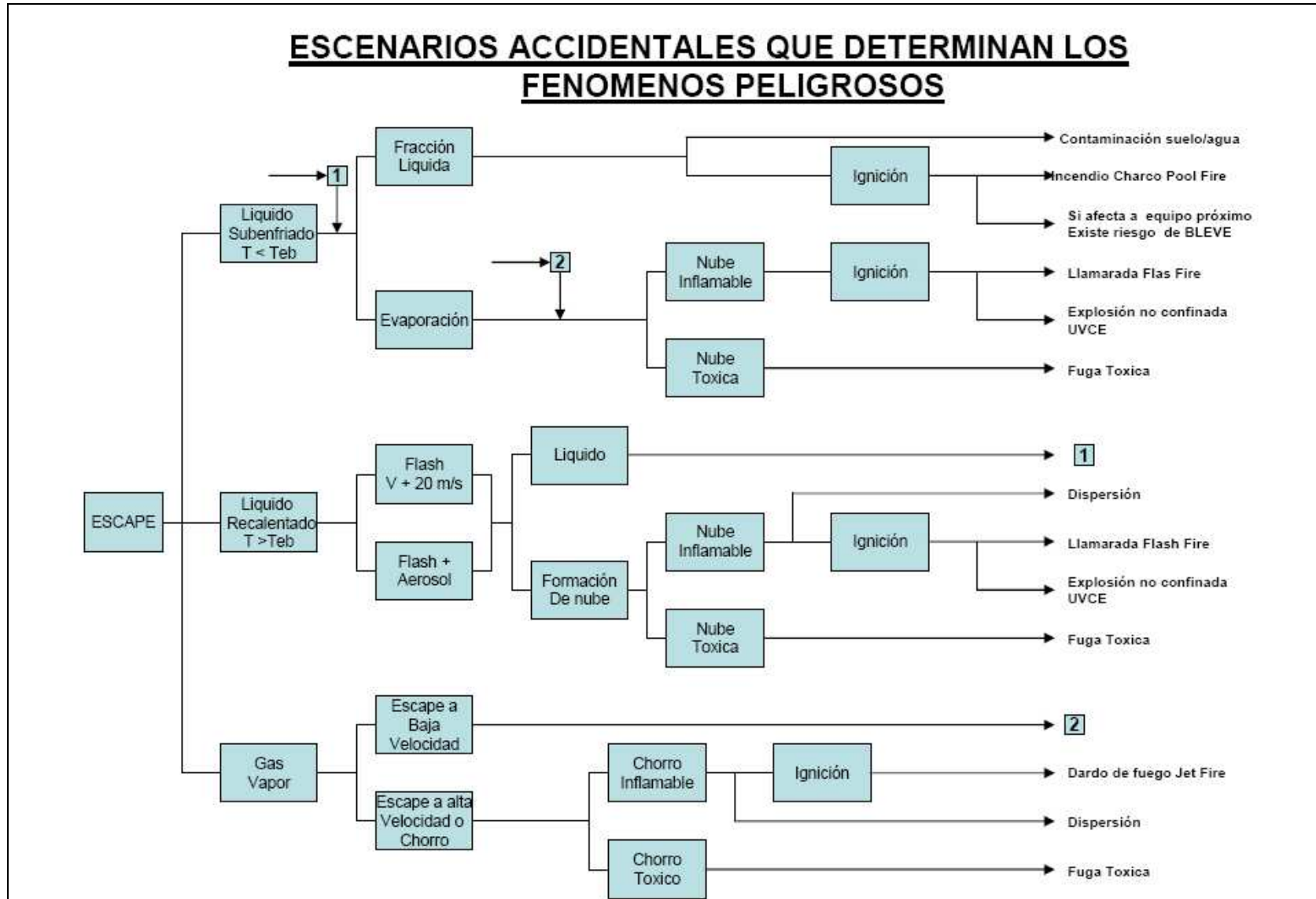


FIGURA N° 3.7 ESCENARIOS QUE DETERMINAN LOS FENÓMENOS PELIGROS [20]

3.5 ZONAS DE PLANIFICACIÓN

Los fenómenos peligrosos sean estos de tipo mecánico, químico o térmico al materializarse causan efectos sobre las personas, los bienes y el medio ambiente en función del área que alcancen. Para evaluar las consecuencias que dichos efectos causan y a manera de planificación deberán basarse en la zonificación de los riesgos y en la aplicación de modelos de cálculo [15].

Existen tres zonas de planificación las cuales definimos a continuación:

- **Zona de Intervención (ZI):** “es aquella en que las consecuencias de los accidentes producen un nivel de daños que justifica la aplicación inmediata de medidas de protección”.
- **Zona de Alerta (ZA):** “es...aquella en la que las consecuencias de los accidentes provocan efectos que, aunque perceptibles por la población, no justifican la intervención, excepto para los grupos críticos de población”.
- **Zona de Efecto Dominó (ZD):** zona en la que se ha de estudiar la posibilidad de Efecto Dominó, definido como: “la concatenación de efectos causantes de riesgo que multiplican las consecuencias, debido a que los fenómenos peligrosos pueden afectar, además de los elementos vulnerables exteriores, otros recipientes, tuberías o equipos del mismo establecimiento o de otros establecimientos próximos, de tal manera que se produzca una nueva fuga, incendio estallido en ellos, que a su vez provoquen nuevos fenómenos peligrosos”.

Las zonas se delimitan en base a valores umbrales para cada una de las variables de los fenómenos peligros se muestran en la Tabla 3 - 1:

FENÓMENO	ZONA DE ALERTA	ZONA DE INTERVENCIÓN	ZONA DE EFECTO DOMINÓ
Presión	Presión de 50 mbar	Presión de 125 mbar	Presión de 160 mbar
Proyección de proyectiles	Alcance máximo de proyectiles con un impulso superior a 10 mbar· s en una cuantía del 99,9%.	Alcance máximo de proyectiles con un impulso superior a 10 mbar· s en una cuantía del 95%.	Alcance máximo de los proyectiles.
Radiación Térmica	Dosis de radiación térmica de $115 \text{ (Kw/m}^2\text{)}^{4/3}$ s, equivalente a los siguientes valores dependiendo del tiempo de exposición: 20 s _ 7 kW/m2 25 s _ 6 kW/m2 30 s _ 5 kW/m2 40 s _ 4 Kw/m2 60 s _ 3 Kw/m2	Máximo soportable por Personas protegidas con trajes especiales y tiempo limitado, equivalente a una dosis de radiación de $250 \text{ (Kw/m}^2\text{)}^{4/3}$ s. 11 s _ 6 kW/m2 15 s _ 5 kW/m2 20 s _ 4 kW/m2 30 s _ 3 Kw/m2 45 s _ 2 Kw/m2	Radiación térmica de 8 Kw/m2
Concentración Tóxica	Definida por los índices: AEGL-1, ERPG-1 y/o TEEL-1.	Definida por los índices: AEGL-2, ERPG-2 y/o TEEL-2.	No se utiliza para concentraciones tóxicas.

TABLA 3.1 VALORES UMBRALES DE LAS ZONAS DE PLANIFICACIÓN [15]

CAPITULO 4. ANALISIS CUANTITATIVO DE RIESGOS

4.1 INTRODUCCIÓN

El Análisis Cuantitativo de Riesgos (ACR) consiste en la evaluación sistemática de una instalación industrial futura o existente, con el fin de identificar todo evento potencialmente peligroso y estimar daños al personal, instalaciones, terceros y al ambiente, como consecuencias de fugas de sustancias tóxicas y/o inflamables, y así poder cuantificar el nivel de riesgo implícito mediante la estimación de la frecuencia de ocurrencia y de la magnitud de sus consecuencias.

El propósito principal del ACR es priorizar los eventos no deseados y por ende criterios que permitan tomar decisiones gerenciales que conlleven al incremento de los niveles de seguridad de la instalación.

4.2 DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA

El Análisis Cuantitativo de Riesgos comienza con la definición y/o descripción del sistema, continuando con la identificación de los peligros del proceso en el cual se evalúan entre otros los materiales de las instalaciones, los inventarios de productos químicos peligrosos y las condiciones operacionales del proceso que pudieran ocasionar eventos no deseados.

Una vez identificados los peligros, se calculan las frecuencias de ocurrencia de todos los eventos peligrosos, así como sus consecuencias asociadas. El siguiente paso es la cuantificación del riesgo individual y de terceros, para luego ser comparados con criterios de tolerancia preestablecidos.

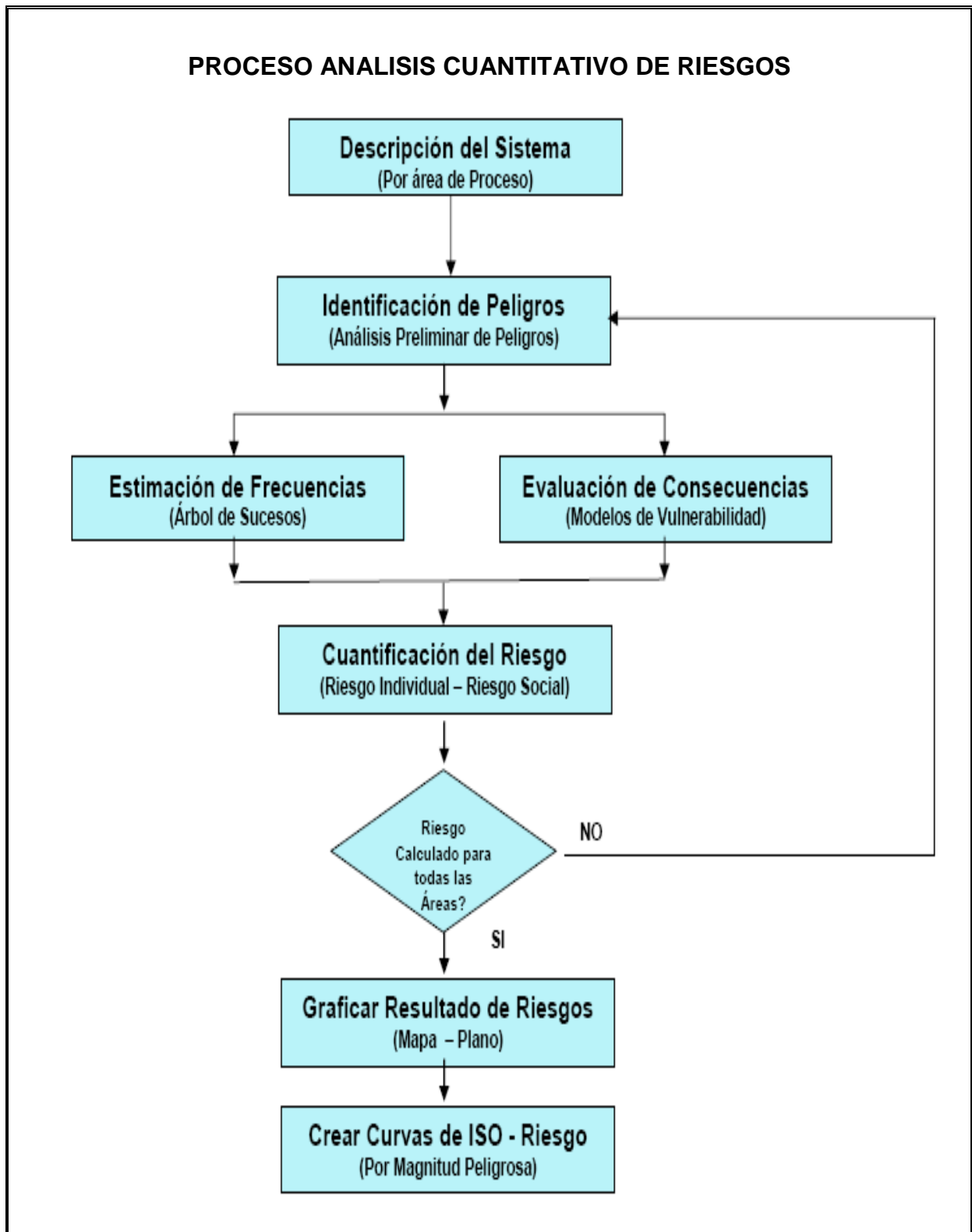


FIGURA N° 4.1 PROCESO DEL ANÁLISIS CUANTITATIVO DE RIESGOS [4]

4.3 IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS

El primer paso en cualquier análisis de riesgos consiste en la identificación de los posibles sucesos no deseados que pueden ocurrir en la instalación.

Este primer paso es fundamental, y de él depende el éxito posterior de todo el estudio. Una buena identificación, rigurosa y detallada, de todos los posibles peligros que pueden suceder en la actividad en estudio, es un requisito indispensable y básico para llegar a buen fin en el análisis de riesgos. Aunque los análisis cuantitativos de riesgos se centran principalmente en los accidentes que finalmente involucren sustancias peligrosas, también deberían de contemplar todos aquellos otros accidentes que puedan causar daño.

Básicamente el análisis de riesgos debería reflejar los siguientes riesgos químicos:

a) Riesgos químicos provocados por causas internas:

- Fallo de servicios (suministro eléctrico, agua de refrigeración, corte de vapor de calefacción.).
- Fallo de operación (sobrellenado, vaciado, sobrepresurizado, entrada en vacío.).
- Pérdida de contención (fugas, colapsos, roturas.).
- Fallos humanos (error en procedimientos.).

b) Riesgos químicos provocados por causas externas:

- Causas naturales (inundaciones, seísmos, lluvias torrenciales, vendavales.).
- Tecnológicos (actos de sabotaje, accidentes en instalaciones vecinas, etc.)

c) Efectos sinérgicos y dominó.

Existe una amplia gama de métodos para la identificación de riesgos. Los principales son los siguientes:

a) Métodos cualitativos.

Se caracterizan por no recurrir a cálculos numéricos. Suelen estar basados en técnicas de análisis crítico en las que intervienen distintos expertos de la planta. Su eficacia depende de la calidad de la información disponible y de su exhaustividad. Destacan los siguientes:

- **Análisis Histórico:** Consiste en un estudio lo más amplio posible sobre accidentes ocurridos en el pasado en instalaciones y/o con productos similares a los estudiados.
- **HAZOP (o AFO, Análisis Funcional de Operabilidad):** Técnica inductiva de análisis crítica realizada por un equipo pluridisciplinar para identificar desviaciones de proceso que pueden conducir a accidentes.
- **Análisis del modo, efecto y criticidad de los fallos (FMEAC):** Método inductivo de reflexión sobre las causas/consecuencias de fallos de componentes en un sistema.
- **Análisis preliminar de riesgos (PHA):** Método inductivo en el que se analiza de forma sistemática las causas, efectos principales y medidas preventivas/correctivas asociadas.
- **Listas de Chequeo o Checklist:** Constituyen listas exhaustivas de posibles iniciadores/accidentes a contemplar en la identificación de riesgos.
- **What if...?** Método inductivo en el cual se analiza sistemáticamente las consecuencias de determinados sucesos.

Pueden considerarse también en su raíz como métodos cualitativos, los métodos de Árboles de Fallos y Árboles de Sucesos, siempre que no se les aplique el Cálculo de Frecuencias.

b) Métodos semicualitativos.

Estos métodos se caracterizan por recurrir a una clasificación de las áreas de una instalación en base a una serie de índices que miden su potencial para ocasionar un daño en función de una serie de magnitudes y criterios (cantidad de producto, características de peligrosidad etc.). Entre estos destacan:

- Índice Mond de fuego, explosión y toxicidad
- Índice Dow de fuego, explosión y toxicidad

c) Otros métodos de apoyo.

Básicamente se incluyen aquí las auditorías de seguridad que suelen responder a otros objetivos (relativos a la organización de seguridad, el cumplimiento de una legislación, etc.), pero que pueden constituir una base para la identificación de riesgos.

4.3 ESTIMACIÓN DE FRECUENCIAS

En un análisis cuantitativo de riesgos existe la necesidad de cuantificar la frecuencia o probabilidad de una serie de sucesos. Se puede considerar la necesidad de cuantificación de los siguientes sucesos [3], [19] y [20]:

- Iniciadores: en esta categoría se incluyen sucesos externos, fallos de operación, humanos o pérdida de inventario. Estos sucesos tienen una determinada frecuencia de ocurrencia en el tiempo, generalmente expresada en ocasiones por año.
- Los sucesos que condicionan la evolución de un suceso iniciador: en esta categoría se incluyen indisponibilidades del sistema de seguridad,

fenómenos físicos (ignición, explosión, etc.). Estos sucesos se caracterizan por su probabilidad de ocurrencia.

Un accidente se provoca cuando concurren una serie de factores o fenómenos básicos. Esta serie de fenómenos básicos concatenados dan lugar al accidente.

La frecuencia de falla de un componente particular (recipiente, tubería, etc.) puede ser deducida a partir de información histórica y si es posible, soportada en juicios de expertos que tomen en cuenta diferencias entre características de la planta analizada y las que pudiesen haber estado envueltas en los registros históricos de fallas.

Generalmente existen dos enfoques básicos que son usados normalmente para estimar la frecuencia de los sucesos [3], [19] y [20]:

- Usar información genérica de fallas obtenidas de datos históricos o bases de datos estadísticos.
- Sintetizar la frecuencia, empleando métodos como el árbol de fallas, el árbol de eventos o sucesos. La diferencia entre el árbol de fallas y el árbol de eventos o sucesos es que el primero evalúa las relaciones de todas las posibles fallas que conlleven a un único evento tope, mientras que el árbol de eventos evalúa que eventos pudieran producirse como resultado de un evento iniciador.

4.4 EVALUACIÓN DE CONSECUENCIAS

La estimación de consecuencias es el término aplicado al uso de una serie de modelos matemáticos para estimar el área afectada (consecuencias) por los fenómenos peligrosos originados en diferentes escenarios de accidentes. Típicamente los escenarios incluidos en un análisis de consecuencias de una instalación que procese hidrocarburos son:

- Fugas de fluidos tóxicos y/o inflamables de equipos de proceso, tuberías y tanques de almacenamiento.
- Incendios que envuelven fugas de productos inflamables.
- Explosiones de nubes de vapor.
- Ocurrencia de bola de fuego (BLEVE) en recipientes de proceso presurizados conteniendo gases licuados inflamables.

Dado que la estimación de consecuencias implica un alto nivel de complejidad y requiere una predicción lo más exacta posible del área afectada por cada fenómeno peligroso, es importante usar modelos apropiados para cada escenario específico y al mismo tiempo, aquellos que hayan demostrado proveer predicciones razonablemente precisas comparadas con los resultados obtenidos en pruebas de campo a gran escala o accidentes previos.

4.4.1 MÉTODOS DE CÁLCULO Y MODELOS MATEMÁTICOS

A continuación se describen brevemente los parámetros para determinar el alcance de las consecuencias de los escenarios accidentales de una instalación que procese hidrocarburo. Se ha tomado como referencia las ecuaciones de cálculo proporcionadas por The Netherlands Organization of Applied Scientific Research – TNO, las cuales se encuentran recopiladas en el Anexo II del Procedimiento de Evaluación de Riesgos Tecnológicos en el Entorno [19], del Servicio de Protección Civil de Barcelona.

4.4.1.1 Cálculo de Ondas de Presión

El método más utilizado para el cálculo de las ondas de presión es el Método del TNT equivalente [3], [10] y [19], que consiste en hallar la equivalencia entre la masa de sustancia que interviene en la explosión y la cantidad de TNT (trinitrotolueno) que provocaría el mismo nivel de daño, mediante la ecuación [Ec. 4.1]:

$$m_{TNT} = \eta \frac{m_c \Delta H_c}{\Delta H_{TNT}} \quad [\text{Ec.4.1}]$$

Donde:

m_c = Masa de combustible /sustancia

m_{TNT} = Masa de TNT equivalente

ΔH_c = Calor de combustión del combustible

ΔH_{TNT} = Calor de combustión del TNT

η = Rendimiento mecánico de la explosión

El rendimiento mecánico de la explosión es un valor empírico que va de 0.01 a 0.1, de forma general se usa un η de 0.05 [19]

Una vez calculada la masa equivalente de TNT se debe utilizar el gráfico de la figura 4.2 que nos da los parámetros más importantes en función de la distancia escalada Z. Esta se define como el cociente entre la distancia real del centro de la explosión al lugar considerado y la raíz cúbica de la masa equivalente de TNT calculada anteriormente. La expresión de la Distancia Escalada es:

$$Z = \frac{R}{W^{1/3}} \quad [\text{Ec.4.2}]$$

Donde:

R = Distancia real en metros (m).

W = Masa equivalente de TNT en kilogramos (kg).

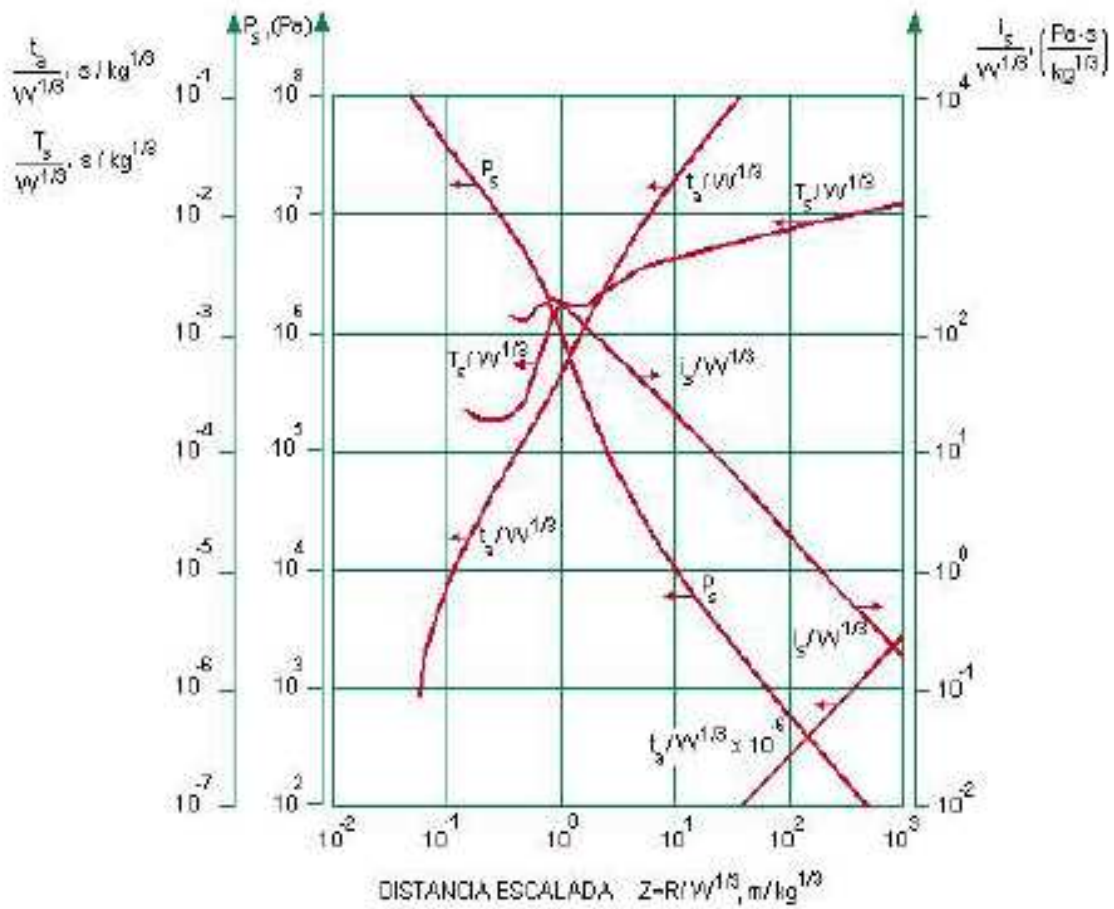


FIGURA N° 4.2 PARÁMETROS DE LA DEFLAGRACIÓN EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIAS ESCALADA [10]

4.4.1.2 Cálculo de la Radiación Térmica

La intensidad de la radiación térmica procedente de un incendio determina las consecuencias del mismo. Existen dos tipos de modelo [3], [19] y [20] para el cálculo de dicha intensidad: el modelo de fuente puntual y el modelo de llama sólida.

I. MODELO DE FUENTE PUNTUAL

Estos modelos suponen que la energía radiante se emite desde un solo punto, y que ésta es una fracción de la energía total de combustión,

propagándose de forma esférica con el origen en el punto radiante. La intensidad de radiación incidente se estima mediante la ecuación:

$$I = \frac{\eta W_{total}}{4\pi X^2} \quad [\text{Ec. 4.6}]$$

Donde:

I = Intensidad de radiación incidente (W/m²)

η = Fracción de la potencia total,

W_{total} = Potencia total

X = Distancia desde el centro del incendio (m)

Para el cálculo de la potencia total se proponen diferentes fórmulas dependiendo del tipo de incendio:

$$W = m'S\Delta H_C \text{ (Incendio de charco)} \quad [\text{Ec.4.7}]$$

$$W = m''\Delta H_C \text{ (Dardo de fuego)} \quad [\text{Ec.4.8}]$$

Donde:

H_C = Entalpía de combustión (J/kg)

S = Superficie del charco (m²)

m' = Caudal másico evaporado por unidad de superficie (kg/m²s)

m'' = Caudal másico fugado (kg/s)

II. MODELO DE LLAMA SÓLIDA

El modelo de llama sólida equipara los incendios a formas geométricas sencillas en tres dimensiones (cilindros, esferas, etc.) y supone que la radiación se emite desde la superficie, concretamente desde la parte que puede verse desde el punto concreto en el que se pretende calcular.

Por esta razón, el cálculo de la intensidad de radiación según este modelo incluye un "factor de visión", F , que depende de la distancia al incendio y de la forma, superficie, orientación y altura de las llamas. Así, un incendio de charco

se trata como un cilindro, una bola de fuego como una esfera y un dardo de fuego como un tronco de cilindro.

$$I = \tau FE \quad [\text{Ec. 4.9}]$$

Donde:

I = Intensidad de radiación

F = Factor de visión

τ = Transmisividad atmosférica (adimensional)

E = Potencia emisiva en W/m².

La transmisividad atmosférica depende principalmente de la cantidad de vapor de agua y de dióxido de carbono en la atmósfera, y puede obtenerse de gráficos en función de la temperatura, la humedad relativa y la distancia, o bien calcularse mediante algunas fórmulas empíricas, como la siguiente:

$$\tau = 2.02 (P_w X)^{-0.09} \quad [\text{Ec.4.10}]$$

Donde:

P_w = Presión parcial de vapor de agua en la atmósfera en N/m²

X = Distancia desde el punto, a la superficie del incendio (m).

Para los **factores de emisión** [10], [19] y [20], existen tablas y gráficos de correlaciones. Se distingue normalmente entre una componente vertical (FV) y una horizontal (FH), de las que se puede obtener el valor máximo mediante la fórmula:

$$F_{\max} = \sqrt{F_H^2 + F_V^2} \quad [\text{Ec.4.11}]$$

III. TASAS DE EVAPORACIÓN

Se debe calcular las tasas de evaporación de sustancias desde charcos, producidos por escapes de líquidos tanto confinados como no confinados. Las variables que influyen en la evaporación son:

- El tipo de sustancia (líquida, gas licuado, sustancia en disolución...),
- Las características del pavimento (material, permeabilidad...),
- Las condiciones atmosféricas (insolación, temperatura...)
- El espesor de la capa (a menor espesor, mayor evaporación).

La evaporación se produce principalmente mediante dos mecanismos [10], [19] y [20]:

Por un lado, es necesaria una determinada energía para que se produzca el cambio de fase de líquido a vapor, por lo que el caudal evaporado podría obtenerse de la ecuación [4.3]

$$q = m\Delta H_{\text{vap}} \quad [\text{Ec.4.3}]$$

Donde:

q = Flujo de calor transferido del entorno al líquido ($\text{J}/\text{m}^2\text{s}$),

m = Caudal evaporado ($\text{kg}/\text{m}^2\text{s}$)

ΔH = Entalpía de vaporización (J/kg).

El otro mecanismo que interviene es la transferencia de materia, gobernada por la diferencia entre la presión de vapor de la sustancia entre el líquido y la presión parcial de la misma en el aire.

El caudal evaporado puede calcularse entonces como:

$$m = \frac{K_m M_s}{RT_l} (P_v - P_p) \quad [\text{Ec.4.4}]$$

Donde:

K_m = Coeficiente de transferencia de materia (m/s)

M_s = Masa molecular de la sustancia

RT_l = Temperatura del líquido (K)

P_v = Presión de vapor en el líquido

P_p = Presión parcial de la sustancia en el aire.

IV. TASAS DE COMBUSTIÓN

El cálculo de la tasa de combustión de la sustancia implicada en un incendio ayuda a determinar sus dimensiones, la emisividad, etc. y por lo tanto las consecuencias que pueden derivarse del mismo. El *Yellow Book* del TNO [19] da una correlación empírica para el cálculo de la tasa de combustión de una sustancia en un incendio de charco:

$$m = \frac{1.10^{-3} h_c}{(h_v + c_v \Delta T)} \quad [\text{Ec.4.5}]$$

Donde:

h_c = Calor de combustión de la sustancia (J/kg)

h_v = Calor de vaporización (J/kg)

C_v = Calor específico del material (J/kgK)

ΔT = Diferencia entre la temperatura de ebullición de la sustancia y la temperatura ambiente.

El término $C_v \Delta T$ representa el calor necesario para llevar la sustancia de la temperatura ambiente a la de ebullición, por lo tanto, para sustancias con punto de ebullición inferior a la temperatura ambiente, la ecuación queda:

$$m = 1.10^{-3} \frac{\Delta H_c}{\Delta H_v} \quad [\text{Ec.4.5}]$$

4.4.1.3 Cálculo de Emisiones

A la hora de predecir el movimiento y la dispersión de gases hay que tener en cuenta tanto la naturaleza del gas como las características del escape. Así, existen tres tipos de gases / vapores [10], [19] y [20] dependiendo de su densidad: gases ligeros (de densidad inferior a la del aire), gases neutros (de densidad similar a la del aire) y gases pesados (de mayor densidad que el aire).

Además, dependiendo de la duración del escape, existen fugas instantáneas y continuas. Una emisión se considera continua si el tiempo de emisión es mayor que el tiempo necesario para que la nube alcance un determinado punto. Si el tiempo de emisión es menor, se trata de una emisión instantánea.

Para nuestro estudio usaremos el Modelo de Pasquill [20] este modelo está basado en escapes de origen puntual, con condiciones meteorológicas constantes y suponen terrenos uniformes y una influencia nula de los efectos de la gravedad.

I. Modelo de Pasquill

Para el caso de escapes continuos, la concentración de la nube en un punto puede calcularse según la ecuación [Ec.5.11] y depende únicamente de la posición.

$$C(x, y, z) = \frac{G}{2\pi U_w \sigma_y \sigma_z} \exp\left(\frac{-y^2}{2\sigma_y^2}\right) \left[\exp\left(\frac{-(z-h)^2}{2\sigma_z^2}\right) + \exp\left(\frac{-(z+h)^2}{2\sigma_z^2}\right) \right] \quad [\text{EC.4.11}]$$

Donde:

$C_{(x,y,z)}$ = Concentración en (ug/Nm³)

h = Altura de la emisión (m)

G = Caudal másico de emisión (kg/s)

U_w = Velocidad del viento (m/s)

σ_y, σ_z = Coeficientes de dispersión (m)

Los coeficientes de dispersión σ_y y σ_z dependen de los movimientos del aire: viento o estabilidad. Tales movimientos se caracterizan en seis niveles que se definen en función de los gradientes verticales de temperatura Tabla 4.1.

GRADIANTE TÉRMICO VERTICAL (°C/100M)	NIVEL DE ESTABILIDAD	CALIFICACIÓN
< -1.9	A	Extremadamente Inestable
-1.9 a -1.7	B	Inestable
-1.7 a -1.5	C	Ligeramente Inestable
-1.5 a -0.5	D	Neutra
-0.5 a +1.5	E	Ligeramente Estable
> +1.5	F	Estable

TABLA 4.1 NIVELES DE ESTABILIDAD EN FUNCIÓN DEL GRADIENTE TÉRMICO [20]

Establecidos los niveles de estabilidad se pueden calcular σ_y y σ_z según las ecuaciones [Ec.4.12] y [Ec.4.13]:

$$\sigma_y = a x^p \quad [\text{Ec.4.12}]$$

$$\sigma_y = b x^q \quad [\text{Ec.4.13}]$$

Donde:

a , p , b y q = Coeficientes y exponentes que dependen de la estabilidad de acuerdo a la Tabla 4.2.

NIVEL DE ESTABILIDAD	a	p	b	q
A	0.40	0.91	0.41	0.91
B	0.36	0.86	0.33	0.86
C	0.36	0.86	0.30	0.86
D	0.32	0.78	0.22	0.78
E	0.31	0.74	0.16	0.74
F	0.31	0.71	0.06	0.71

TABLA 4.2 COEFICIENTES Y EXPONENTES PARA LAS ECUACIONES 4.12 Y 4.13 [20]

4.4.2 MEDIOS INFORMÁTICOS

Existe una gran variedad de medios informáticos destinados a predecir las zonas de peligro que resultarían de fugas de productos tóxicos, o inflamables estos han sido desarrollados por programas de investigación financiados por agencias gubernamentales y/o por la industria privada. En la Tabla 4.2 se incluye una lista de los programas más utilizados.

NOMBRE	HIPOTESIS DE CALCULO	ORIGEN
EFFECTS	Paquete de evaluación de las consecuencias derivadas de un escape de fluido (flujo, evaporación, dispersión, explosión e incendio)	TNO The Netherlands Organization of Applied Scientific Research. – TNO
HEGADAS	Calculo de dispersión atmosférica de escapes de gases pesados.	SHELL

FRED	Paquete de evaluación de las consecuencias derivadas de un escape de fluido (flujo, evaporación, dispersión, explosión e incendio)	SHELL
ALOHA	Paquete de evaluación de las consecuencias derivadas de un escape de fluido (flujo, evaporación, dispersión, explosión e incendio)	EPA Environmental Protection Agency
CANARY	Paquete de evaluación de las consecuencias derivadas de un escape de fluido (flujo, evaporación, dispersión, explosión e incendio)	QUEST CONSULTANTS INC.
SCRI - FUEGO	Modelo de simulación para analisis de consecuencias por fuego y explosión	Dinámica Heurística S.A.
DEGADIS	Calculo de dispersión atmosférica de escapes de gases pesados	EPA Environmental Protection Agency

TABLA 4.3 LISTA DE PROGRAMAS MÁS UTILIZADOS

CAPITULO 5. CUANTIFICACIÓN Y TOLERANCIA DEL RIESGO

5.1 CUANTIFICACIÓN DEL RIESGO

Las medidas más comunes de cuantificación del riesgo son las llamadas riesgo individual y riesgo social, que combinan la información de posibilidad y magnitud de las pérdidas o lesiones provenientes de un peligro. La medida del riesgo individual considera el riesgo de un ser humano que pueda estar en cualquier punto de la zona de efectos del accidente y la medida del riesgo social considera el riesgo a las poblaciones que están en tales zonas de efectos.

5.1.1 Riesgo Individual

Puede definirse riesgo individual como el riesgo a una persona en la proximidad de un peligro, considerando la naturaleza de la lesión al individuo, la posibilidad de que la misma ocurra y el período de tiempo en que puede ocurrir. Aún cuando las lesiones son de gran preocupación hay limitada información disponible sobre el grado de las lesiones, por tanto, los análisis cuantitativos de riesgo frecuentemente estiman el riesgo de lesiones irreversibles o fatalidades para las cuales existen más estadísticas registradas.

El riesgo individual puede ser estimado para los individuos más expuestos, para grupos de individuos en lugares determinados o para un individuo promedio en una zona de efectos.

El riesgo individual para un nivel específico de daño se calcula tomando en consideración las siguientes variables:

- I. La frecuencia del evento.

- II. La probabilidad de que el efecto del evento llegue a la ubicación específica. Esto incluye las variables climáticas y de dirección del viento, con el consiguiente cambio de dispersión.
- III. La probabilidad de que una persona esté en el lugar.
- IV. La probabilidad de que una persona llegue a un refugio o escape de una atmósfera peligrosa.

5.1.2 Riesgo Social

El riesgo social es una relación entre la frecuencia y el número de personas de una población sometido a un nivel específico de lesiones y daños debido a la ocurrencia de un accidente.

En caso de accidentes mayores con potencial para afectar a grupos de personas, el riesgo social constituye una medida del riesgo a tal grupo de personas y es expresado frecuentemente en términos de distribución de frecuencia de eventos de resultantes múltiples. Sin embargo, el riesgo social también puede ser expresado en términos similares a los riesgos individuales. El cálculo del riesgo social requiere la misma información de frecuencia y consecuencias que el riesgo individual, pero adicionalmente requiere una definición de la población en riesgo alrededor de la instalación. Esta definición puede incluir el tipo de población (por ejemplo: residencial, industrial, escolar, etc.), la posibilidad de personas presentes o factores de mitigación existentes. El riesgo social para un nivel específico de daño se calcula tomando en consideración los siguientes factores:

- I. Frecuencia del evento.
- II. La probabilidad de que el evento llegue a una ubicación específica, considerando variables climáticas y la dirección del viento, con el consiguiente cambio de dispersión.
- III. La probabilidad de que una o varias personas estén en el lugar.

- IV. La probabilidad de que una o varias personas lleguen a un refugio o escapen de los efectos nocivos.
- V. El número de personas afectadas por el evento.

5.2 CRITERIOS DE TOLERANCIA

Establecer si un riesgo es tolerable o no es siempre un tema delicado y subjetivo, que depende en gran parte de la opinión particular de cada persona. Sin embargo, es necesario disponer de criterios de tolerancia de riesgos, puesto que de otra forma no existe medio absoluto para evaluar el significado de los resultados de un Análisis Cuantitativo de Riesgos, ni tampoco de formular recomendaciones adecuadas.

Los criterios de tolerancia de riesgos definidos en esta sección, reflejan el nivel de riesgo tácitamente permisible el cual viene dado por un balance entre la buena práctica de diseño, operación y mantenimiento y los recursos disponibles para reducir riesgos.

Estos criterios fijan el límite hasta donde se podrá disminuir un riesgo a través de medidas de ingeniería para reducir su frecuencia de ocurrencia y sus consecuencias, el cual lógicamente coincidirá con el límite a partir del cual se deberá invertir en la elaboración de planes de contingencia tendentes a reducir las consecuencias de tales riesgos.

La tolerancia de un riesgo es una cuestión sumamente delicada, dado que está asociada con la percepción de la severidad de las consecuencias potenciales de un accidente, especialmente cuando afecta al público en general. Los riesgos multidimensionales que involucran a personas, medio ambiente y activos requieren de consideraciones adicionales en el análisis costo–beneficio.

De manera de poder juzgar la tolerabilidad de un accidente se fijan tres niveles:

- I. Riesgo Inaceptable
- II. Riesgo Reducción Deseable
- III. Riesgo Aceptable

5.2.1 Riesgo Inaceptable

En este nivel es inaceptable la condición presente del riesgo y resulta obligatoria la adopción de medidas que reduzcan la frecuencia de ocurrencia y/o la severidad de los potenciales accidentes.

5.2.2 Riesgo Reducción Deseable

Deben evaluarse todas las opciones de reducción de riesgo, a través de medidas de ingeniería y/o administrativas, que permitan la disminución de la frecuencia y/o la minimización de las consecuencias de los posibles accidentes. En general las medidas deben evaluarse mediante la aplicación de un análisis costo – beneficio.

5.2.3 Riesgo Aceptable

En este caso el riesgo es tolerable y no es imperativo aplicar medidas de reducción del riesgo. No obstante, si se visualizan medidas obvias que contribuyan a reducir aún más el riesgo y la aplicación del análisis costo–beneficio favorece la implantación de tales medidas, las mismas deberían ser adoptadas.

En las Tablas N° 5.1 y 5.2 respectivamente se describen los criterios de tolerancia de riesgo individual utilizados en presente análisis cuantitativo de riesgos.

AREAS	DESCRIPCIÓN
$f > 1.0 \times 10^{-5} / \text{año}$	Inaceptable
$1.0 \times 10^{-6} / \text{año} > f \leq 1.0 \times 10^{-5} / \text{año}$	Reducción Deseable: Aplicación de análisis costo-beneficio.
$f \leq 1.0 \times 10^{-6} / \text{año}$	Aceptable

TABLA 5.1 CRITERIOS DE TOLERANCIA DE RIESGO INDIVIDUAL A TERCEROS [20]

AREAS	DESCRIPCIÓN
$f > 1.0 \times 10^{-3} / \text{año}$	Inaceptable
$1.0 \times 10^{-4} / \text{año} > f \leq 1.0 \times 10^{-3} / \text{año}$	Reducción Deseable: Aplicación de análisis costo-beneficio.
$f \leq 1.0 \times 10^{-3} / \text{año}$	Aceptable

TABLA 5.2 CRITERIOS DE TOLERANCIA DE RIESGO INDIVIDUAL A OPERADORES [20]

TIPO DE INDIVIDUO	DEFINICIÓN
Terceros	Toda aquella persona que se encuentre fuera del límite de las instalaciones y no tiene relación con las operaciones de la Planta de Tratamiento de Crudo.
Operadores	Toda aquellas personas que se encuentre trabajando en las instalaciones y/o tiene relación con las operaciones de la Planta de Tratamiento de Crudo

TABLA 5.3 DEFINICIONES DE TIPO DE INDIVIDUO

CAPITULO 6. CALCULO DE LA VULNERABILIDAD

6.1 INTRODUCCIÓN

Una vez que se ha realizado el cálculo de las consecuencias de los accidentes se debe realizar una estimación de cómo estas afectarán a las personas, a las instalaciones y al medio ambiente, para esto se utilizan los modelos de vulnerabilidad.

Los modelos de vulnerabilidad sirven para determinar las consecuencias a las personas, a las instalaciones y al medio ambiente expuesto a una determinada carga térmica, tóxica o de sobrepresión.

En el presente estudio se desarrollara el Método Probit [10] [19] y [20] que es el método más utilizado y el recomendado por el Real Decreto 1196/2003 [15] para el cálculo de la vulnerabilidad.

6.2 VULNERABILIDAD DE PERSONAS

El método “Probit” es un método estadístico que nos da una relación entre la función de probabilidad y una determinada carga de exposición a un riesgo.

La función Probit es una función matemática empírica con una distribución normal con valor medio de 5 y una desviación estándar de 1, que se trabaja de la siguiente forma simplificada:

$$Pr = a + b \ln D \quad [Ec.6.1]$$

Donde:

Pr = “Probit” o función de probabilidad de daño sobre la población expuesta.

a = Constante dependiente del tipo de lesión y tipo de carga de exposición.

b = Constante dependiente del tipo de carga de exposición.

D = Dosis de la carga de exposición, dependiendo del fenómeno que se trate.

Una vez obtenido el valor de la variable Probit, es posible determinar el porcentaje de población expuesta que se verá afectada por el tipo de daño para el que se ha calculado la variable. Para ello se hace uso de la siguiente tabla:

%	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	--	2.67	2.95	3.12	3.25	3.36	3.45	3.52	3.59	3.66
10	3.72	3.77	3.82	3.87	3.97	3.96	4.01	4.05	4.08	4.12
20	4.16	4.19	4.23	4.26	4.29	4.33	4.36	4.39	4.42	4.45
30	4.48	4.50	4.53	4.56	4.59	4.61	4.64	4.67	4.69	4.72
40	4.75	4.77	4.80	4.82	4.85	4.87	4.90	4.92	4.95	4.97
50	5.00	5.03	5.05	5.08	5.10	5.13	5.15	5.18	5.20	5.23
60	5.25	5.28	5.31	5.33	5.36	5.39	5.41	5.44	5.47	5.50
70	5.52	5.55	5.58	5.61	5.64	5.67	5.71	5.74	5.77	5.81
80	5.84	5.88	5.92	5.95	5.99	6.04	6.08	6.13	6.18	6.23
90	6.28	6.34	6.41	6.48	6.55	6.64	6.75	6.88	7.05	7.33
--	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
99	7.33	7.37	7.41	7.46	7.51	7.58	7.65	7.75	7.88	8.09

TABLA 6.1 RELACIÓN ENTRE EL PORCENTAJE Y EL VALOR DE LA FUNCIÓN PROBIT [19]

Vulnerabilidad a Explosiones

Para el cálculo de la vulnerabilidad debido a explosiones la dosis (D) corresponde a la presión máxima causada por la explosión para muerte por lesiones pulmonares o para rotura del tímpano, efectos considerados como consecuencias directas [Ec.6.2], o bien igual al impulso originado por dicha presión para muerte por impacto o por lesiones, efectos considerados como consecuencias indirectas [Ec.6.3].

$$Pr = a + b \ln P \quad [\text{Ec.6.2}]$$

$$Pr = a + b \ln J \quad [\text{Ec.6.3}]$$

Donde:

P = Sobrepresión en N/m^2

J = Sobrepresión en $\text{N} \cdot \text{s/m}^2$

Los valores para las constantes a y b de la ecuación se detallan a continuación para cada caso:

- Muerte por lesiones pulmonares: $Pr = -77.1 + 6.91 \ln P$ [Ec.6.4]

- Rotura de tímpano: $Pr = -15.6 + 1.93 \ln P$ Ec.6.5]

- Muerte por impacto del cuerpo: $Pr = -46.1 + 4.82 \ln J$ [Ec.6.6]

- Lesiones por impacto del cuerpo: $Pr = 39.1 + 4.45 \ln J$ [Ec.6.7]

Vulnerabilidad a Radiaciones Térmicas

La variable representativa de los fenómenos térmicos es la radiación térmica y sus consecuencias estarán dadas por la intensidad de la radiación (W/m^2) recibida y de la duración de dicha exposición. Para el cálculo de la dosis (D) se utiliza la siguiente ecuación:

$$D = I \cdot t_{\text{exp}} \quad [\text{Ec.6.8}]$$

Donde:

I = Intensidad de Radiación Efectiva (W/m^2)

T_{exp} = Tiempo de exposición (seg.)

Existen diferentes expresiones para el cálculo de diferentes tipos de consecuencias: quemaduras de primer o segundo grado, etc. A continuación se incluyen las constantes a y b de la ecuación para cada caso:

- Quemaduras mortales con protección (ropa): $Pr = -37.23 + 2.56 \ln D$ [Ec.6.9]

- Quemaduras mortales sin protección: $Pr = -36.38 + 2.56 \ln D$ Ec.6.10]

- Quemaduras de segundo grado: $Pr = -43.14 + 3.0188 \ln D$ [Ec.6.11]

- Quemaduras de primer grado: $Pr = -39.83 + 3.0186 \ln D$ [Ec.6.12]

Vulnerabilidad a Sustancias Tóxicas

La variable representativa de los fenómenos químicos es la concentración de la sustancia tóxica en el aire (ppm) y sus consecuencias estarán dadas por la concentración del contaminante inhalada y de la duración de dicha exposición. Para el cálculo de la dosis (D) se utiliza la siguiente ecuación:

$$D = C^n t_{exp} \quad [Ec.6.13]$$

Donde:

C = Concentración (ppm)

t_{exp} = Tiempo de exposición (min)

n = Exponente adimensional (0,6 – 3)

Debido a que en los análisis cromatográficos del gas proveniente de los yacimientos Pata y Palo Azul, no se evidencia la presencia de ningún contaminante químico peligroso, solo realizaremos nuestro estudio con el Sulfuro de Hidrogeno (H_2S), que puede presentarse en futuras perforaciones de pozos, o por efecto de la presencia de bacterias sulfato reductoras debido a un mal tratamiento químico en las instalaciones.

Reemplazando los valores de las constantes a, b y n de la ecuación de Probit para el H_2S en la ecuación 7.13 tendremos la ecuación de Probit para nuestro estudio:

- Exposición a Sulfuro de Hidrogeno: $Pr = -31.42 + 3.008 \ln C^{1.43} t_{exp}$ [Ec.6.14]

Cabe recalcar que la ecuación de probit está limitada para análisis de consecuencias agudas e inmediatas, como las producidas en Accidentes Mayores.

Para concentraciones mínimas y tiempos de exposición muy prolongados existen técnicas propias de la higiene industrial tanto para la evaluación ambiental como biológico para la exposición a H₂S, que no son parte del presente estudio.

6.3 VULNERABILIDAD DE INSTALACIONES - REAL DECRETO 1196/2003

Los modelos de vulnerabilidad de las instalaciones se refieren a las consecuencias que podrían sufrir otros equipos en la planta, y eventualmente a edificios próximos.

Esta evaluación consiste en determinar las posibles consecuencias que podrían sufrir los equipos y edificios que se encuentren dentro de la Zona de Efecto Domino (ZED).

Las variables de los fenómenos peligrosos capaces de provocar accidentes secundarios son básicamente: la radiación térmica, la presión (ondas de choque) y el alcance y velocidad de los fragmentos.

A continuación se muestran los valores dados por Real Decreto 1196/2003 [15] y por otros autores, para cada una de las variables. Sin embargo la gran diferencia que existe entre ellas radica en un valor estándar de “daño” y de las características variables de los equipos de proceso.

VARIABLE	R. D. 1196/2003	OTROS AUTORES		
Radiación Térmica	8 Kw/m ²	Latha, Gautam & Taghavan	12.6 Kw/m ² para edificios 37.8 Kw/m ² para equipos de proceso	
Presión	160 mbar	Autores	Equipos atmosféricos	Equipos presurizados
		Pettitt, Shumacher & Seeley	140	350
		Cremer & Warner	140	350
		Bottleberghs & Ale	100	300
		Brasie & Simpson	203	550
Proyección de Fragmentos	Alcance máximo de los Projectiles	No determinado: Los fragmentos pueden alcanzar kilómetros dependiendo del tipo de accidente		

TABLA 6.2 VALORES DE VULNERABILIDAD DE INSTALACIONES [20]

CAPITULO 7. DESCRIPCIÓN DE LAS INSTALACIONES

7.1 INTRODUCCIÓN

ECUADORTLC S.A. es una de las unidades del Área de Negocio Internacional de Petrobras Energía S.A. - PESA, tienen su sede administrativa en Quito, Ecuador, actúa en el mercado ecuatoriano en los negocios de Exploración y Producción de Petróleo en el Bloque 18 y Campo Palo Azul del oriente ecuatoriano, desde el año 2001.

El campo Palo Azul es un Campo Unificado entre Petroproducción y ECUADORTLC S.A., se encuentra ubicado al noroeste del campo Sacha, al Este del Río Coca y Noreste del Campo Pucuna; a 180 Km. en línea recta al Este de Quito, en la Provincia de Orellana de la Región Amazónica del Ecuador, en la Provincia de Orellana, Cantón La Joya de los Sachas, Parroquia San Sebastián del Coca.

El Campo Palo Azul comprende cuatro plataformas de producción con un total de 36 pozos productores y dos pozos inyectores, la producción de estos pozos es transportada por líneas de flujo de 10" como fluido multifásico hasta la planta de tratamiento de crudo para ser procesado de forma centralizada.

La Planta de Tratamiento de Crudo (PTC) está diseñado para manejar crudos producidos y provenientes de pozos del yacimiento Palo Azul, entregando 40,000 BOPD de crudo para exportación al ENO, tratar 92,000 barriles de agua para inyección en pozos sumideros (disposal well) y recuperar un flujo de gas hasta de 13.6 MMSCFD como combustible para generación eléctrica. La PTC está conformada por los siguientes sistemas para manejar la producción:

- I. Sistemas de Proceso.
- II. Sistemas de Servicios Industriales.
- III. Sistema de Servicios Generales.
- IV. Sistemas de Seguridad del Proceso.

Además, cuenta con: Sistema de Control y Seguridad, Edificaciones, Vialidad y Acceso y Sistemas de Comunicaciones.

7.2 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE PROCESOS

7.2.1 Sistema de Deshidratación de Crudo

La producción proveniente de Palo Azul A/B/C/D entra a la Planta a través de un cabezal que lo distribuye hacia la primera fase de deshidratación y remoción de gas asociado. Esta primera etapa de deshidratación está constituida por un sistema de separadores de agua libre tipo balde y vertedero (V-1101A/B1). La producción llega a la planta a una temperatura mínima de 140°F y una presión de 75 psia.

El crudo separado en esta primera etapa (“separación primaria”), fluye desde los separadores de agua libre bajo presión del sistema y mediante control de nivel, con un contenido máximo de agua de 20% en volumen, hacia una segunda etapa de deshidratación (separación secundaria) hasta obtener una especificación de agua en crudo correspondiente a 0.5% BSW.

El sistema de separación secundario consta de dos deshidratadores electrostáticos, arreglados en paralelo V-1102 A/B. El principio de operación de estos equipos es la coalescencia inducida en las pequeñas gotas de agua por los campos eléctricos fuertes formados entre los electrodos. La carga eléctrica inducida hace que las pequeñas gotas de agua coalescan, formando gotas de mayor tamaño promoviendo la separación por gravedad.

El Agua separada en esta fase de deshidratación es enviada a la Planta de Tratamiento de Aguas de producción. El gas separado en esta fase de deshidratación, es enviado al Sistema de Alivio, Sistema de Gas de Blanketing y a la Planta de Generación Eléctrica. El crudo separado en esta fase es enviado al Sistema de Almacenamiento (Tanques de Crudo) mediante control de nivel.

Cada FWKO tendrá la capacidad de separar 65,000 barriles de fluidos, ya que a inicios del año 2,011 (mediano plazo) se estima una producción de 70,327 bpd de agua y 21,493 bpd de crudo. De esta forma, se dispone de 2 separadores operativos para manejar los 70,327 bpd de agua y 21,493 bpd de crudo.

7.2.2 Planta de Tratamiento de Aguas de Producción (PIAs)

El agua de producción obtenida de la deshidratación primaria y secundaria respectivamente se hace fluir bajo presión del sistema y mediante control de nivel hacia un cabezal de recolección y distribución. De este cabezal, mediante un control de flujo, se equilibra el reparto de agua de producción hacia el sistema de tratamiento de agua de producción, el cual estará conformado en el futuro por tres unidades de tratamiento (X-1301A/B/C), cada una de las cuales tiene una capacidad de tratamiento de 75,000 BWPD3. Como parte inicial del proyecto, se instalará una sola unidad (X-1301A), y se dejan las facilidades de conexión para las unidades futuras y los respectivos sistemas de control de flujo asociados.

La Unidad de tratamiento, está constituida a su vez por dos etapas. Una primera etapa conformada por un recipiente de desnatado (V-1301A) en el cual se separa la parte gruesa del crudo haciendo fluir agua desde el fondo del recipiente a través de una sección de coalescencia permitiendo que el crudo quede en la parte superior, mientras el agua fluye hacia abajo a través

de una sección anular del equipo para luego fluir, mediante control de nivel, hacia un recipiente de flotación inducida por gas (IGF).

La celda de flotación (V-1302A) opera recirculando parte del agua clarificada mediante bombeo (P-1301A/B) a través de un dispositivo venturi tipo eductor el cual succiona gas de manto (blanketing) al que se encuentra sometido el equipo para producir a través de un mecanismo de dispersión la formación de pequeñas burbujas que ascenderán haciendo flotar las pequeñas gotas de crudo disperso en el agua.

En ambos recipientes el crudo es recuperado por la parte superior, fluyendo por rebose hacia un compartimiento lateral, del cual es extraído mediante válvula de control de nivel, hacia el Sistema de Crudo Recuperado (tanque de crudo recuperado V-1303), desde el cual es extraído y enviado mediante bombas tipo cavidades progresivas (P-1304A/B), las cuales operan bajo control de nivel tipo ON/OFF, hacia el tanque de slops T-1607 desde el cual se envía a reproceso en forma dosificada.

El sistema está diseñado para procesar agua con un contenido máximo a la entrada de 2,000 ppm y salir del mismo con un contenido máximo de 50 ppm de crudo.

El agua tratada es enviada mediante las bombas de transferencia hacia los tanques de almacenamiento de Agua de Producción (T-1501A/B) para ser reinyectada a la formación.

7.2.3 Sistema de Almacenamiento (Agua de Producción y Crudo Deshidratado)

La corriente de crudo con menos de 0.5 % de BSW proveniente del Sistema de Deshidratación, fluye bajo presión del mismo mediante válvula de control

de nivel hacia los tanques de almacenamiento de crudo T-1401A/B de 20000 bbls cada uno, los cuales operan bajo una presión de 2 a 3 pulgadas de agua, sostenida por una corriente de gas de blanketing proveniente del gas removido en los separadores de agua libre.

El agua proveniente de la Planta de Tratamiento de Aguas de Producción es transferida mediante bombas hacia el tanque de almacenamiento de agua de producción T-1501A de 20,000 bbls. Previo a la entrada al Tanque, la corriente de agua proveniente de las PIAs se mezcla con las corrientes ya tratadas provenientes de las plantas de tratamiento de aguas negras y aguas grises.

Adicionalmente se dispone de un Tanque T-1402 de 20,000 bbls, el cual será utilizado como tanque de contingencia para almacenamiento de crudo durante los primeros años del CPF y luego será utilizado para almacenamiento de agua de producción en los años finales de la vida del proyecto.

El Sistema de Almacenamiento de crudo contempla una interrupción en el despacho de crudo equivalente a un (1) día de producción, por lo cual se disponen de dos tanques de 20,000 bbls T-1401A/B.

El Sistema de Almacenamiento de agua contempla un volumen de 40,000 barriles de almacenamiento. Se disponen inicialmente de un tanque T-1501A de 20,000 barriles, y el tanque T-1402 de 20,000 barriles, el cual al inicio del ciclo de vida del proyecto opera en servicio de contingencia para crudo, y al final del ciclo de vida del proyecto opera en servicio de agua de producción.

7.2.4 Sistema de Bombeo y Fiscalización de Crudo

El crudo almacenado en los tanques es succionado por las bombas booster P-1401 A/B/C, y dirigido hacia la unidad LACT de medición y fiscalización a

una presión de 50 psig, para posteriormente ser succionado por las bombas de despacho P-1402 A/B/C, y enviado a 750 psig al oleoducto de 12" que empalma con el oleoducto principal para entrega en ENO. El crudo fuera de especificación es enviado al tanque de contingencia T-1402 o los tanques de crudo (T-1401A o T-1401B) y de allí enviado a reprocesamiento mediante las bombas P-1403A/B.

7.2.5 Sistema de Inyección de Aguas de Producción

El agua de producción junto con las aguas negras y grises tratadas son almacenadas en los tanques T-1501A y T-1402, de allí es succionada por las bombas de inyección P-1501A/B y enviada a los pozos de inyección de aguas a una presión de 2,500 psig. De esta forma, todos los efluentes de aguas: aguas de producción, aguas negras y grises tratadas, son inyectadas a pozos y no son vertidas en acuíferos.

La capacidad de cada bomba de inyección es de 35,000 bwpd. El sistema de bombas P-1501A/B tendrá una capacidad de 35,000 bwpd, basados en un sistema de operación con una bomba y la otra de respaldo. Con el tiempo se instalarán nuevas bombas dependiendo de la producción real de agua.

7.2.6 Unidad Recuperadora de Vapores

En los Botas Desgasificadoras (V-1401A/B) y en los Tanques de almacenamiento de crudo (T-1401A/B) se generan vapores debido a la variación de presión entre el Sistema de Deshidratación y el Sistema de Almacenamiento de crudo.

Para la recuperación de este gas y del gas separado en los Tratadores Electrostáticos (V-1102A/B), se dispone de una Unidad Recuperadora de Vapores (X-1201), en donde se separan previamente los líquidos, se comprimen los vapores, posteriormente se enfrían y condensan los líquidos

pesados y agua, para ser enviados de nuevo a los tanques de almacenamiento de crudo y/o al tanque acumulador de slops (T-1601).

El gas comprimido en esta Unidad Recuperadora de Vapores se utilizará como combustible alternativo al crudo en la Planta de Generación Eléctrica y en el sistema de gas piloto a las Teas (Alta y Baja Presión). Se cuenta con la facilidad para desviar cualquier exceso de este gas hacia la tea de alta presión (en la línea de descarga de la URV) y también para desviar el gas que entra a la URV hacia la tea de baja presión en caso de que ésta o alguno de los compresores se encuentren fuera de servicio.

7.2.7 Sistema de Limpieza de Ductos (Trampas)

- I. Tuberías de Recibo de Producción: El sistema de limpieza de la tubería de recibo de producción está compuesto por una trampa de envío de chanchos ubicada en Palo Azul A, y una trampa de recibo de chanco TR-1101 ubicada en la nueva CPF. Durante la operación de recibo de chanco por la línea de crudo, los últimos 100 m de llegada del chanco se alinean manualmente, en la trampa, las válvulas para desviar el flujo hacia un sistema de manejo de fluidos recuperados en el cual una bota degasificadora V-1607 lo recibe, separa el gas y lo envía al sistema de alivio de alta presión; el crudo es enviado al tanque acumulador de slops T-1607. De este tanque, succionan las bombas P-1615A/B y envían el crudo a reprocesamiento.

- II. Tuberías de Despacho de Crudo: El sistema de limpieza de la tubería de despacho de crudo (Oleoducto a El Eno) está compuesto por una trampa de envío de chanchos TR-1102 ubicada en Palo Azul A, y una trampa de recibo de chanco ubicada cerca de la interconexión de la tubería con el Oleoducto a Eno.

- III. Tuberías de Suministro de Agua de Inyección: El sistema de limpieza de la tubería de suministro de agua de inyección está compuesto por una trampa de envío de chanchos TR-1103 ubicada en la nueva CPF, y una trampa de recibo de chanco TR-1104 ubicada en Palo Azul A cerca de los pozos de inyección.

7.2.8 Sistema de Crudo Recuperado

Consiste de un Tanque de Crudo Recuperado V-1303, el cual recibe el crudo recuperado proveniente de la Planta de Tratamiento de Aguas de producción.

De este tanque succionan las bombas P-1304A/B y envían el crudo recuperado hacia el tanque de Slops T-1607 y posteriormente enviado a tanques de almacenamiento de crudo en forma dosificada.

7.2.9 Sistema de Drenaje

- I. Sistema de Drenaje Abierto: A este sistema convergen todos los drenajes de aguas lluvias contaminadas y drenajes de inventarios de equipos cuando estos se sacan de operación para efectos de mantenimiento. En cada área de equipos, se dispone de facilidades para recolección de estos drenajes, los cuales son enviados a cajas de drenaje y de allí al cabezal común de drenaje abierto de 10" de diámetro que llevan todos los fluidos líquidos drenados al tanque de drenaje abierto/cerrado V-1601.
- II. Sistema de Drenaje Cerrado: A este sistema convergen los drenajes de la Planta de Generación, y los drenajes del KOD de cada Tea y los drenajes de los tanques de crudo T-1401A/B cuando estos se sacan para mantenimiento. El cabezal de recolección de drenaje cerrado es de 10" de diámetro y conduce todos los fluidos al tanque de drenaje abierto/cerrado V-1601.

III. Sistema de Drenaje de Aguas Lluvias Contaminadas: A este sistema convergen:

- Las aguas lluvias que caen dentro de las áreas rodeadas con bordillos alrededor de los equipos principales de proceso tales como FWKOs, separadores electroestáticos, bombas que manejen hidrocarburo, tanques de almacenamiento de propano, gasolina y diesel. Todos estos drenajes van a las respectivas cajas de sello y luego al cabezal de 10" que lleva hasta el tanque de drenaje cerrado / abierto V-1601.
- Las aguas lluvias que caen en el dique del área de tanques de almacenamiento de crudo. Está formado por un cabezal de 10" de diámetro que conduce aguas lluvias al tanque de drenaje cerrado V-1601, y una facilidad de enviar aguas lluvias no contaminadas hacia el ambiente. Las aguas lluvias que caen dentro del dique, son contenidas en el mismo dique ya que las válvulas de los drenajes de aguas lluvias están cerradas. El operador envía las aguas lluvias contaminadas hacia el tanque de drenaje abierto/cerrado V-1601 y las aguas lluvias no contaminadas hacia el ambiente.
- Taque de Drenaje Abierto/Cerrado: Este tanque recoge todos los drenajes descritos anteriormente. El tanque dispone de un compartimiento para separar agua de crudo, y cada uno de estos cuenta con dos bombas sumergibles (P-1601A/B, para agua y P-1605A/B, para crudo). El agua es enviada a la Planta de Tratamiento de Aguas de producción para su posterior inyección a pozos, mientras que el crudo es enviado al tanque acumulador de Slops T-1607 para su posterior envío a tanques de almacenamiento de crudo.

7.2.10 Esquema de Bloques

A continuación en la Figura 7.1 se muestra el Esquema de Bloques de los Sistemas de la Planta de Tratamiento de Crudo, en este diagrama se puede identificar los sistemas descritos anteriormente.

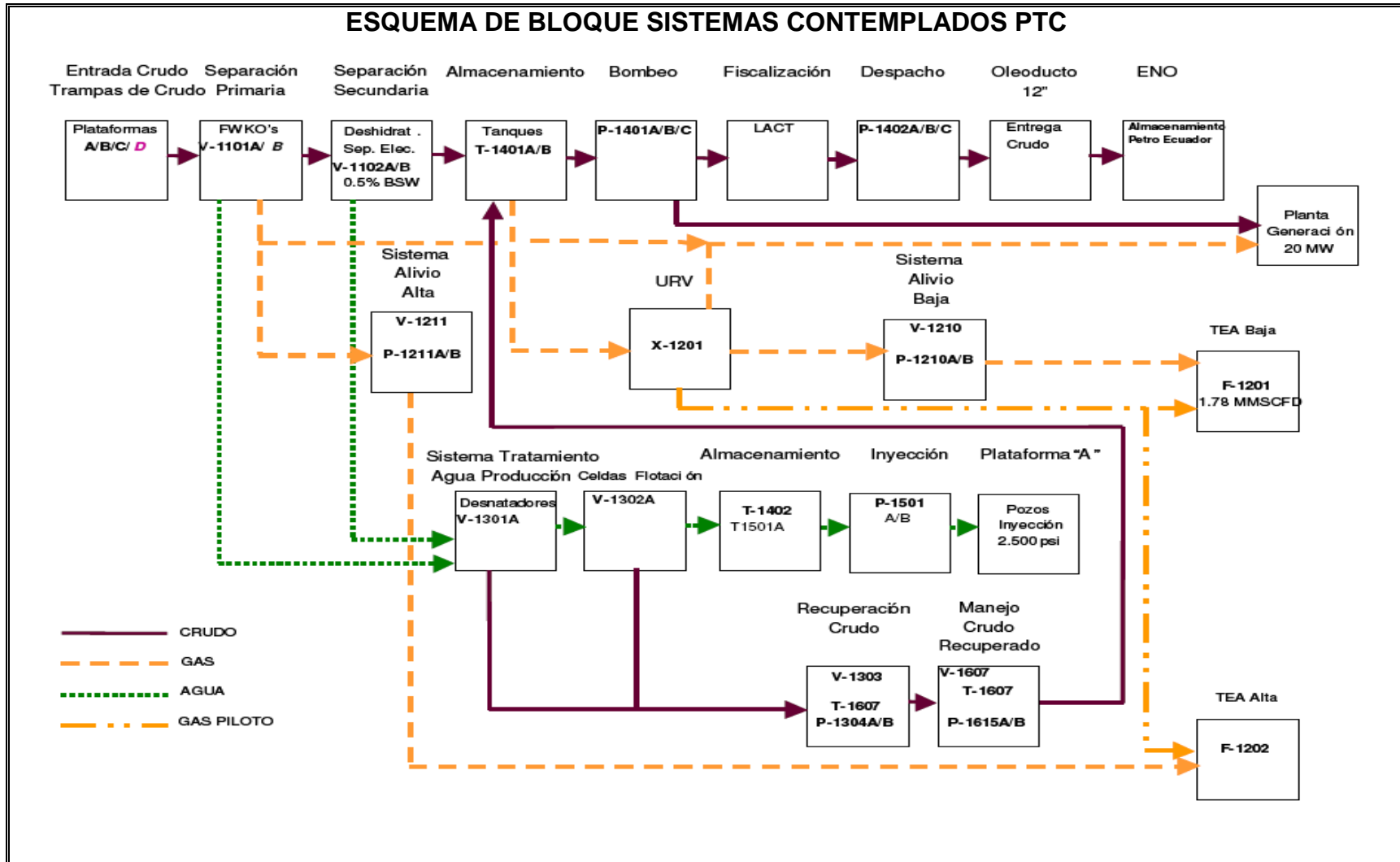


FIGURA N° 7.1 ESQUEMA DE BLOQUES DE LOS SISTEMAS CONTEMPLADOS EN LA PTC [13]

CAPITULO 8. CONDICIONES GENERALES PARA EL ANALISIS

8.1 CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA

La caracterización climática del área de estudio, está basada en la información generada en la estación Coca Aeropuerto, del período 1981-2006 [8].

En la Figura 8.1 se grafican los histogramas de los diferentes parámetros climáticos, del período 1981-2006.

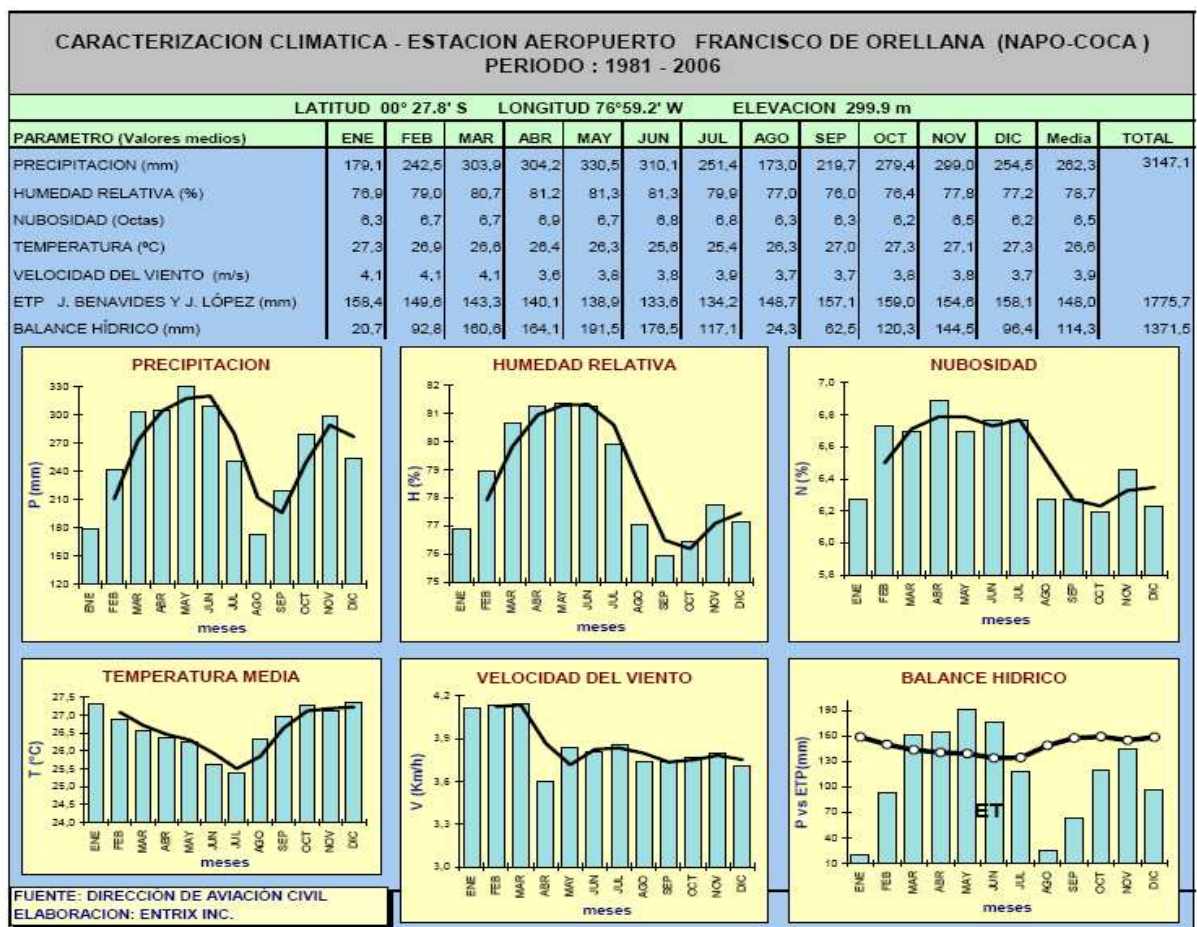


FIGURA N° 8.1 CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA [8]

8.1.1 Precipitación

El régimen pluviométrico interanual presenta una tendencia a cantidades mayores entre los meses de marzo a mayo y en el mes de noviembre. El valor máximo mensual es de 330.5 mm, en el mes de mayo y el mínimo en el mes de agosto con 173.0 mm. La cantidad total de lluvia es de 3147.1 mm. A pesar de existir esta variación, la distribución de la lluvia es regular a lo largo del año y cuyo valor medio es de 262.3 mm.

En la medición realizada para el año 2006, el valor de la precipitación máxima en 24 horas fue de 119,7 mm, mientras que la mínima fue de 28,7 mm. El valor promedio anual es de 67,8 mm.

En comparación con datos de años anteriores, el 2006 se sitúa dentro de los rangos más altos de precipitación, ubicándose en el 5 lugar, superado solamente por el año 1999 con un 1,5%. Por el contrario en años secos, como es el caso de 1984, el valor total anual identificado es muy inferior al promedio anual.

8.1.2 Temperatura

La temperatura media anual del período considerado es de 26.6 °C, con una oscilación térmica mínima, los valores máximos se producen en los meses de octubre, diciembre y enero y los mínimos de mayo a julio.

8.1.3 Humedad Relativa

La humedad es un parámetro importante en la información de los fenómenos meteorológicos, conjuntamente con la temperatura, caracterizan la intensidad de la evapotranspiración. La humedad relativa media en la estación Coca Aeropuerto, es de 78.7%, los valores máximos se observan de marzo a julio concomitantemente con la época invernal

8.1.4 Nubosidad

La nubosidad expresada en porcentaje, varía en relación directa con la precipitación, humedad relativa y temperatura, el valor medio es de 81.3%, lo que se traduce en una insolación muy baja. La variación interanual de este parámetro es poco significativa.

8.1.5 Velocidad y Dirección del Viento

La variación de este parámetro es mínima, en promedio la velocidad del viento es de 3.9 m/s, la dirección predominante es Este, con una frecuencia de ocurrencia de 5.6%. La rosa de los vientos se presenta en la Tabla 8.2.

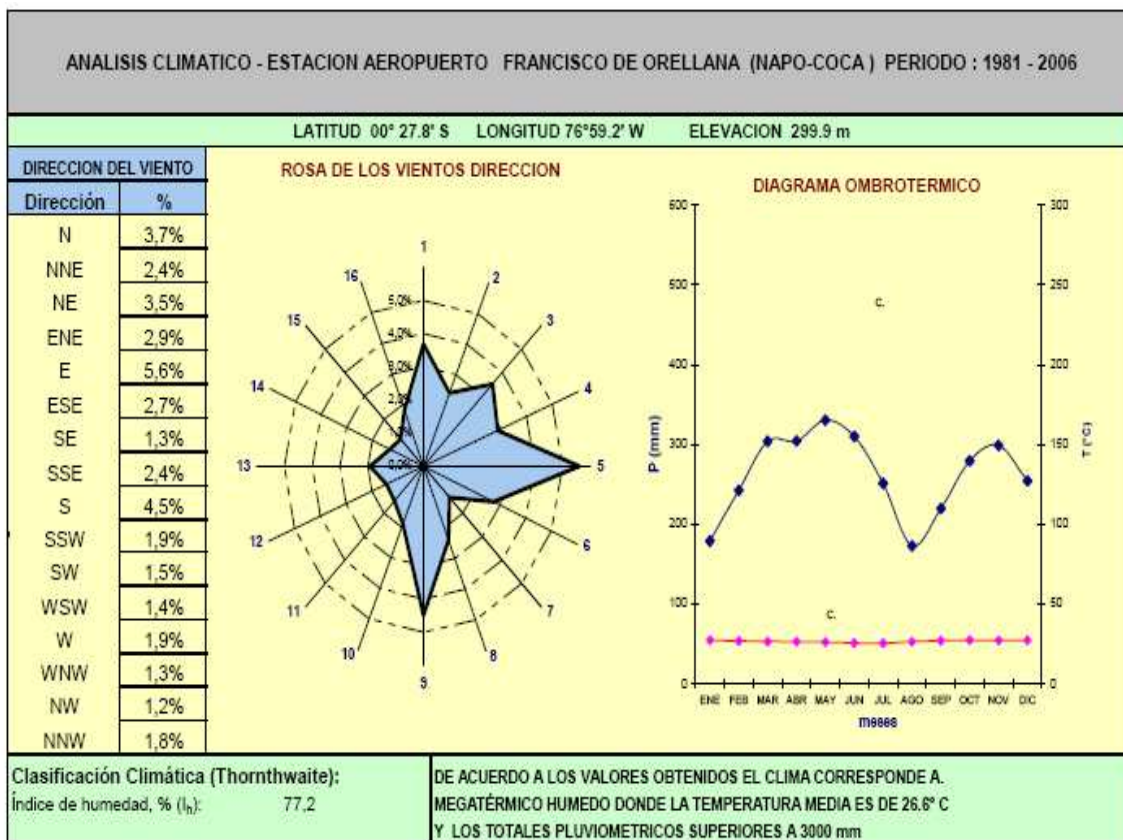


FIGURA N° 8.2 ANÁLISIS CLIMÁTICO [8]

8.2 CONDICIONES NORMALES DE OPERACIÓN

Las condiciones normales de operación utilizadas en el cálculo de consecuencias del presente estudio fueron seleccionadas y evaluadas en base a la revisión de la siguiente documentación:

DOCUMENTOS DE INGENIERIA		
Documento No.	Rev.	Descripción
1111101-05-012-D4-P-AZ00	1	Descripción del Proceso de Producción de Crudo
1111101-05-012-PR-P-AZ001	0	Tablas de Balance de Masa. Caso Máximo de Flujo
1111101-05-012-PR-P-AZ002	0	Tablas de Balance de Masa. Caso Máximo de Agua
1111101-05-012-PL-P-AZ001	0	Diagrama en Bloques del Proceso en el CPF
1111101-05-012-DS-I-AZ62100	1	Filosofía de Control y Seguridad

TABLA 8.1 DOCUMENTOS DE INGENIERÍA [13]

A continuación se detallan las principales condiciones de operación [12] utilizadas:

- El nivel de líquidos en los separadores de agua libre se considera igual al 80% de su capacidad.
- El nivel de líquidos en los separadores electrostáticos se considera igual al 80% de su capacidad.
- El nivel de líquidos en los depuradores de gas a Generación y Blanketing es igual al 30 % de su capacidad.
- Los condensados recuperados en el depurador de alimentación de la Unidad Recuperadora de Vapor (URV) se los considera compuestos principalmente por agua, por lo que el escenario no es considerado en el estudio.
- El nivel de líquido considerado en el Tanque de Crudo Recuperado es igual al 80% de su capacidad.

- La evaluación de la Tea de Alta Presión y Baja Presión se realizó considerando las capacidades de diseño indicadas en los Diagramas de Tuberías e instrumentación.

8.3 CONDICIONES DE USO DE EQUIPOS

Las condiciones de uso de equipos se refieren a la frecuencia con la cual estos se encuentran en funcionamiento y/o son manipulados por el operador, dicha información fue obtenida de la revisión de la siguiente documentación:

DOCUMENTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO		
Documento No.	Rev.	Descripción
PP-4B-0016-0	0	Manual de Operaciones CPF Palo Azul 40K
PP-4B-0017-0	0	Manual de Mantenimiento CPF Palo Azul 40 K

TABLA 8.2 DOCUMENTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO [13]

Las frecuencias utilizadas en el presente estudio son las siguientes:

- Uso de la trampa de recepción de los raspadores o pigs ubicada en la entrada de crudo en la PTC es igual a dos (2) veces al mes.
- Uso de la trampa de envío de los raspadores o pigs ubicada en la entrada de crudo en la PTC es igual a una (1) vez cada seis (6) meses.
- Uso de las bombas de reprocesamiento de crudo se considera igual a veinte (20) días al año, tiempo correspondiente a la máxima tolerancia permisible de reprocesamiento en una planta de tratamiento de este tipo.
- Uso de las bombas del KOD de Alta Presión es de cinco (5) minutos al mes.
- Uso de las bombas del KOD de Baja Presión es de una (1) hora diaria.
- Uso de las bombas de Crudo Recuperado es igual a tres (3) horas diarias.
- Uso de las bombas del tanque Acumulador Slops es igual a dos (2) horas diarias.
- Uso de los dispensadores de combustible (gasolina y diesel) es igual a seis (6) horas diarias.
- La carga de los tanques de combustible (gasolina y diesel) es igual a una (1) vez cada quince (15) días.

8.4 CARACTERÍSTICAS DEL CRUDO Y DEL GAS

Las características de las corrientes de carga de Crudo y de Gas a cada uno de los equipos de proceso, se encuentran listadas en las tablas 8.3 y 8.4 respectivamente. Estas características fueron tomadas del Manual de Operaciones de CPF 40 K [13] y fueron las utilizadas en las especificaciones para el diseño de los distintos equipos de Proceso.

ANÁLISIS DEL CRUDO PALO AZUL		
PARÁMETROS	METODO ASTM	VALOR
Gravedad específica, 60/60°F	D-1298	0.8950
°API 60 F	D-287	28.1
Punto de Inflamación, °F	D-93	< 68
Viscosidad Cinemática, cSt @	D-445	
80 °F		21
100 °F		14.1
160 °F		5.7
200 °F		3.7
Viscosidad Dinámica, cP @		
80 °F		18.7
100 °F		12.55
160 °F		5.07
200 °F		3.29
Presión de Vapor Reid, psia	D-323	1.3
Punto de Escurrimiento, °F	D-97	35
Azufre Total, % peso	D-4294	0.77
Cenizas, %	D-482	0.76
Carbón Conradson, %	D-189	7.8
Color ASTM	D-1500	NEGRO
Contenido de Gas Sulfhídrico, ppm	UOP 163-88	119
Contenido de sal, lb/1000 bbls de crudo	D-3230	5.3
Contenido de metales, mg/lit		
Hierro		12.0
Níquel		41.0
Plomo		2.0
Vanadio		78.0
Agua por destilación, % vol.	D-95	0.5

ANÁLISIS DEL CRUDO PALO AZUL		
PARÁMETROS	METODO ASTM	VALOR
Corrosión lamina de cobre	D-130	1a

TABLA 8.3 ANÁLISIS DE CRUDO PALO AZUL [13]

ANÁLISIS DEL GAS PALO AZUL		
COMPONENTE	% PESO	% MOLES
Nitrógeno	0.98	1.58
Metano	2.58	7.13
CO ₂	80.44	76.38
Etano	2.58	2.52
H ₂ S	0.0	0.0
Agua	0.0	0.0
Propano	5.99	5.58
i-Butano	1.94	0.86
n-Butano	3.92	1.69
i-Pentano	1.25	0.36
n-Pentano	1.12	0.31
Hexanos	0.0	0.0
Heptanos	0.0	0.0
Peso molecular promedio :	42.503	
Capacidad calorífica del gas (BTU/scf):	418.02	

TABLA 8.4 ANÁLISIS DE GAS PALO AZUL [13]

8.5 CONDICIONES DE TAMAÑO DE ORIFICIO DE FUGA

Para determinar el diámetro de los orificios de fugas a utilizar en el presente Análisis Cuantitativo de Riesgos, utilizaremos los criterios planteados por el International Fire Code IFC [9], que establece:

- Para tuberías con diámetros comprendidos entre 2" y 6", usar orificios de fuga de ¼ ", 1" y ruptura total.
- Para tuberías con diámetros comprendidos entre 8" y 12 "usar orificios de fuga de ¼ ", 1", 4", 6" y ruptura total.

En el presente estudio, los diámetros de orificio de fuga a utilizar serán los siguientes:

P = Ruptura pequeña (¼ ")

M = Ruptura mediana (1")

G = Ruptura grande (6")

CAPITULO 9. APLICACIÓN PRÁCTICA ANALISIS CUANTITATIVO DE RIESGO

9.1 INTRODUCCIÓN

El desarrollo del Análisis Cuantitativo de Riesgos de la Planta de Tratamiento de Crudo de ECUADORTLC S.A prevé la liberación incontrolada de Crudo y/o Gas a la atmosfera. Los niveles de riesgos serán determinados para las condiciones de operación normal de la planta, de acuerdo a lo establecido en el Capitulo 8 Condiciones Generales Para el Análisis del presente trabajo.

9.2 IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS

La Identificación de Peligros para el presente análisis, se desarrollo a través de la metodología de Análisis Preliminar de Peligros (APP) o Preliminary Hazard Análisis (PHA). Esta metodología se concentra en los materiales peligrosos existentes y en los equipos mayores de proceso, permitiendo visualizar aquellos eventos que involucren liberación incontrolada de energía y/o productos peligrosos.

El procedimiento consiste en analizar cada una de las corrientes de entrada y salida de los equipos de proceso e ir determinando cuales son los escenarios de posibles fallas que tendrían que suceder para que se materialicen fugas, vertidos o incendios de productos peligrosos.

Para determinar los escenarios accidentales de posibles fallas se utilizaron los siguientes documentos de ingeniería:

DOCUMENTOS DE INGENIERIA		
Documento No.	Rev.	Descripción
1111101-05-012-PL-P-AZ001	0	Diagrama de Bloques CPF
1111101-05-012-PR-P-AZ001	0	Tablas de Balance de Masa. Caso Máximo de Flujo
1111101-05-012-PR-P-AZ002	0	Tablas de Balance de Masa. Caso Máximo de Agua
1111101-05-012-PL-P-AZ001	0	Diagrama de Flujo de Procesos PFD

TABLA 9.1 DOCUMENTOS DE INGENIERÍA UTILIZADOS EN EL APP [13]

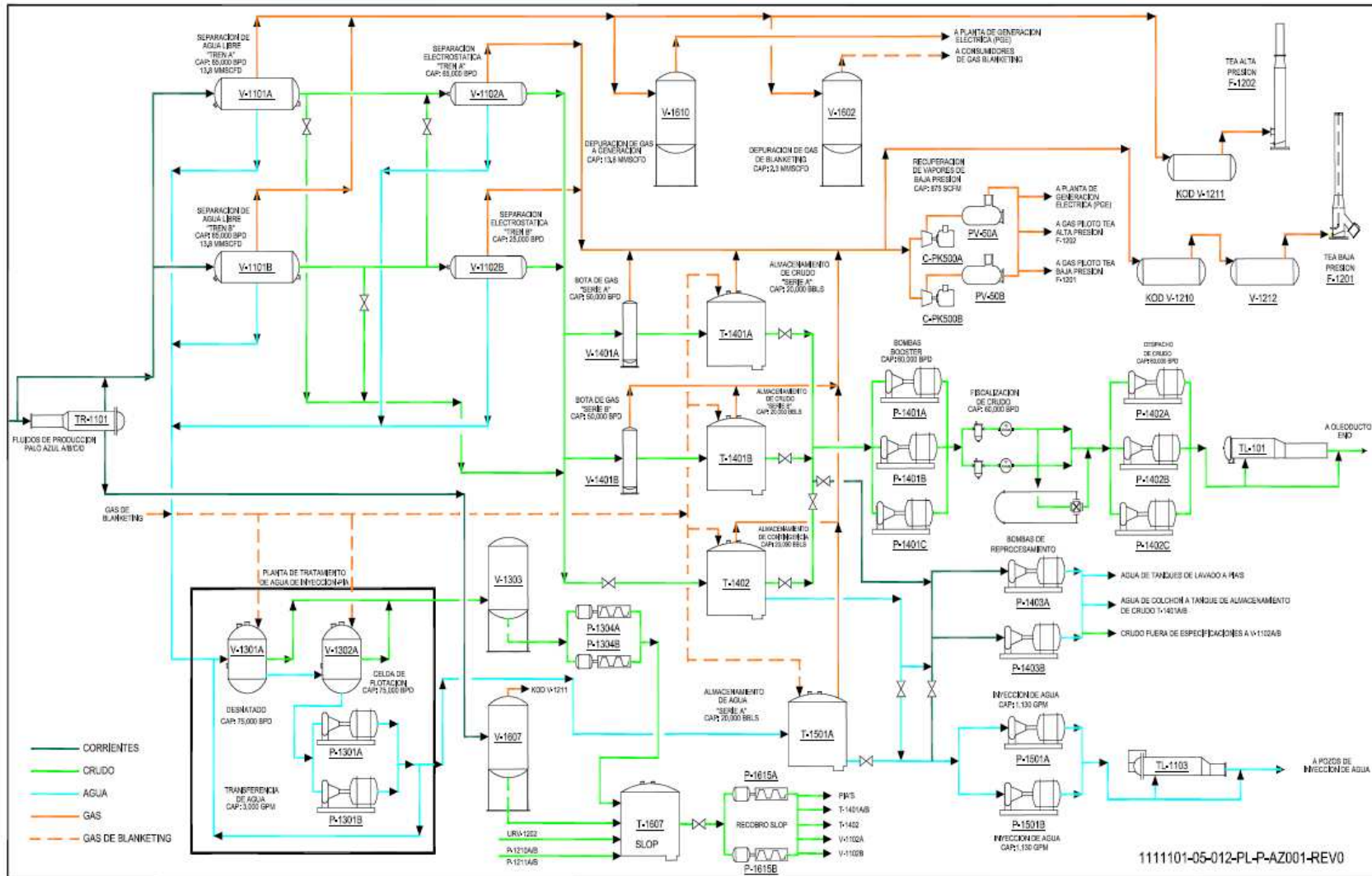


FIGURA N° 9.1 DIAGRAMA DE BLOQUES PLANTA DE TRATAMIENTO DE CRUDO [13]

Para la Planta de Tratamiento de Crudo, se han identificado sesenta (60) posibles escenarios accidentales, a los cuales se les ha asignado un código en base del equipo afectado, el detalle de dichos escenarios accidentales se presentan en el ANEXO I.

9.3 ESTIMACIÓN DE FRECUENCIAS

Las frecuencias de ocurrencia de los diferentes escenarios fueron determinados por medio de la aplicación del análisis de Árbol de Suceso, que es un método inductivo que describe la evolución de un suceso iniciador sobre la base de la respuesta de distintos factores condicionantes, los resultados se presentan en el ANEXO II y en la figura 9.2 se muestra un ejemplo del árbol de sucesos del presente estudio.

La información relativa a las tasas de falla de válvulas, bridas y accesorios, así como las probabilidades de fuentes de ignición, fueron extraídas del Anexo IV Estimación de probabilidades y frecuencias del Procedimiento de evaluación de riesgos tecnológicos en el entorno [19], del Servicio de Protección Civil de Barcelona. Los principales valores se muestran a continuación en la Tabla 9.2:

TIPO DE EQUIPO	FRECUENCIA DE FALLA (Veces/año)
Bombas Centrifugas	5.10×10^{-4}
Tubería de Proceso $\leq 3''$	5.10×10^{-6}
Tubería de Proceso $\geq 4''$ y $\leq 11''$	2.10×10^{-6}
Tubería de Procesos $\geq 12''$	5.10×10^{-7}
Recipientes a Presión	5.10×10^{-7}
Fuga en Tanques Atmosféricos	5.10×10^{-6}

TIPO DE EQUIPO	FRECUENCIA DE FALLA (Veces/año)
Incendio en Tanques Atmosféricos	3.00×10^{-4}
Lanzadores/recibidores	3.76×10^{-4}

TABLA 9.2 FRECUENCIA DE FALLOS DE LOS EQUIPOS [19]

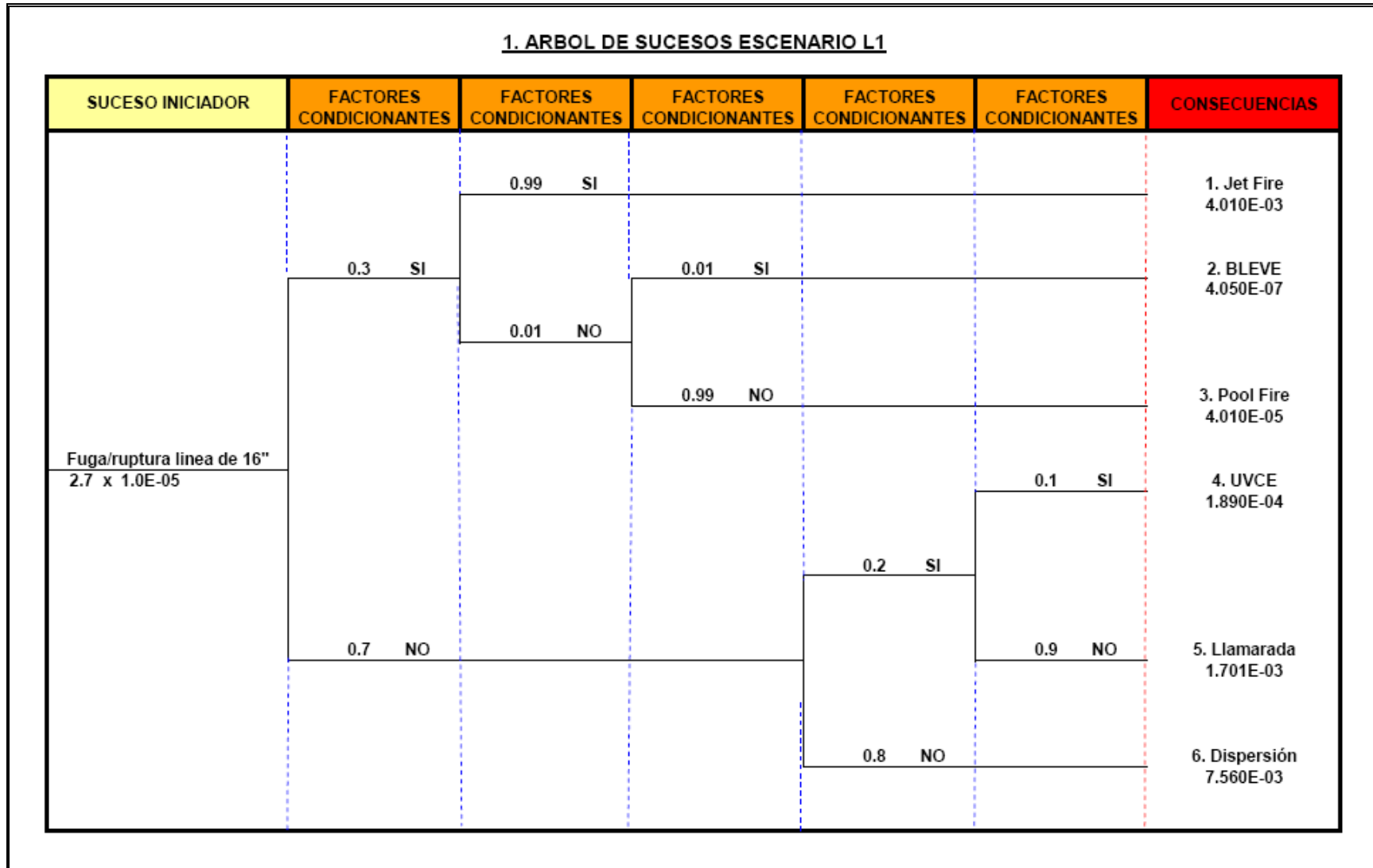


FIGURA N° 9.2 ÁRBOL DE SUCESOS PARA ESCENARIO L1

9.4 CALCULO DE CONSECUENCIAS DE ZONAS DE AFECTACIÓN

El establecimiento de daño a personas como consecuencias de accidentes mayores, generados por productos inflamables y/o combustibles, requiere de la adopción de niveles de daño que representes un nivel determinado de exposición y duración.

En las tablas 9.3 y 9.4 se muestran los niveles de daño utilizados para los cálculos de consecuencias del presente estudio basados en la Tabla 3.1. En el ANEXO III se presentan de manera tabular las zonas de afectación de los escenarios de fugas de equipos y tuberías pertenecientes a la PTC, para orificios de fuga pequeños medianos y grandes, los cuales servirán de base para la elaboración de los planes de respuestas a emergencias por parte ECUADORTLC S.A.

En las figuras 9.3, 9.4 y 9.5 se muestran las consecuencias por Radiación Térmica, por Sobrepresión y por Dispersión de Nube Toxica respectivamente.

EVENTO	CRITERIO	OBSERVACIONES
Chorro de fuego y Piscina Incendiada	1.6 Kw/m ²	Máximo flujo radiante permisible para exposición continúa de personas, sin ofrecer daño significativo.
	5 Kw/m ²	Flujo de calor radiante en el cual podrían ocurrir quemaduras de segundo grado en la piel humana expuestas durante 30 segundos.
	8 Kw/m ²	Nivel de radiación para 1 % fatalidad a personas expuestas durante 30 segundos.
Explosiones	0.30 psig	5% de vidrios rotos. Nivel Límite para lesiones por fragmentos de vidrio.
	1.00 psig	Demolición de estructuras convencionales.
	3.40 psig	Nivel de sobrepresión para 1% de fatalidad.

TABLA 9.3 NIVELES DE DAÑO POR RADIACIÓN TÉRMICA Y SOBREPESIÓN.

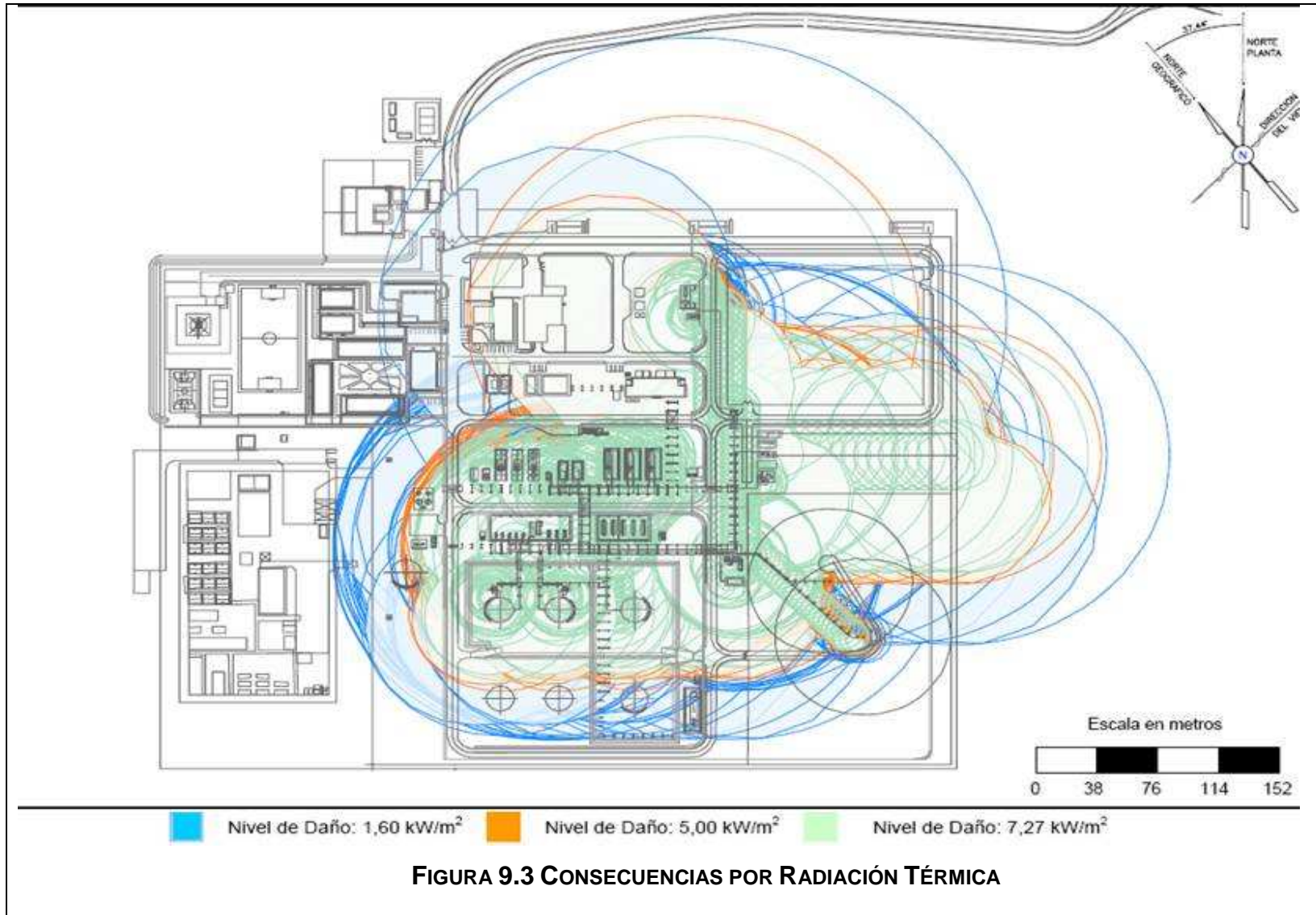
INDICES	CRITERIO (ppm)	OBSERVACIONES
ERPG 1	0.1	Es la máxima concentración en aire por debajo de la cual se cree que casi todos los individuos pueden estar expuestos hasta una hora experimentando sólo efectos adversos ligeros y transitorios o percibiendo un olor claramente definido.
ERPG 2	30	es la máxima concentración en aire por debajo de la cual se cree que casi todos los individuos pueden estar expuestos hasta una hora sin experimentar o desarrollar efectos serios o irreversibles o síntomas que pudieran impedir la posibilidad de llevar a cabo acciones de protección.
ERPG 3	100	Es la máxima concentración en aire por debajo de la cual se cree que casi todos los individuos pueden estar expuestos hasta una hora sin experimentar o desarrollar efectos que amenacen su vida. No obstante, pueden sufrir efectos serios o irreversibles y síntomas que impidan la posibilidad de llevar a cabo acciones de protección

TABLA 9.4 NIVELES DE DAÑO POR EXPOSICIÓN TOXICA A SULFURO DE HIDROGENO

9.4.1 Características de los Escenarios Accidentales

En el ANEXO IV se incluyen los parámetros significativos utilizados para la realización de los cálculos de cada uno de los escenarios identificados en el numeral 9.1 Identificación de Peligros, como son: sustancia, cantidad, presión, temperatura, caudal de la tubería, etc.

En la mayoría de los casos, dentro de las opciones posibles se ha tomado la situación menos favorable, de forma que los resultados sean los más conservadores.



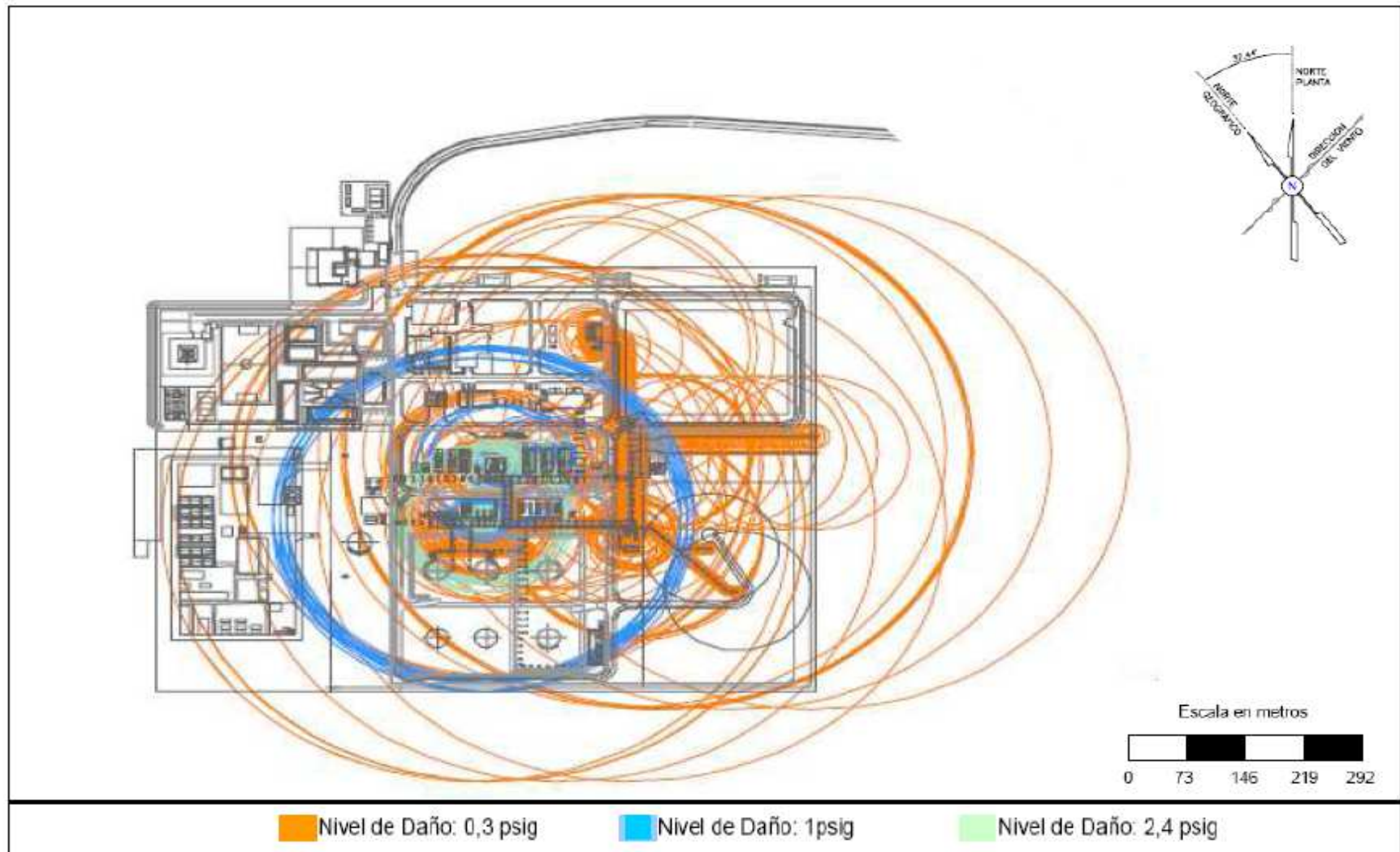


FIGURA 9.4 CONSECUENCIAS POR SOBREPRESIÓN

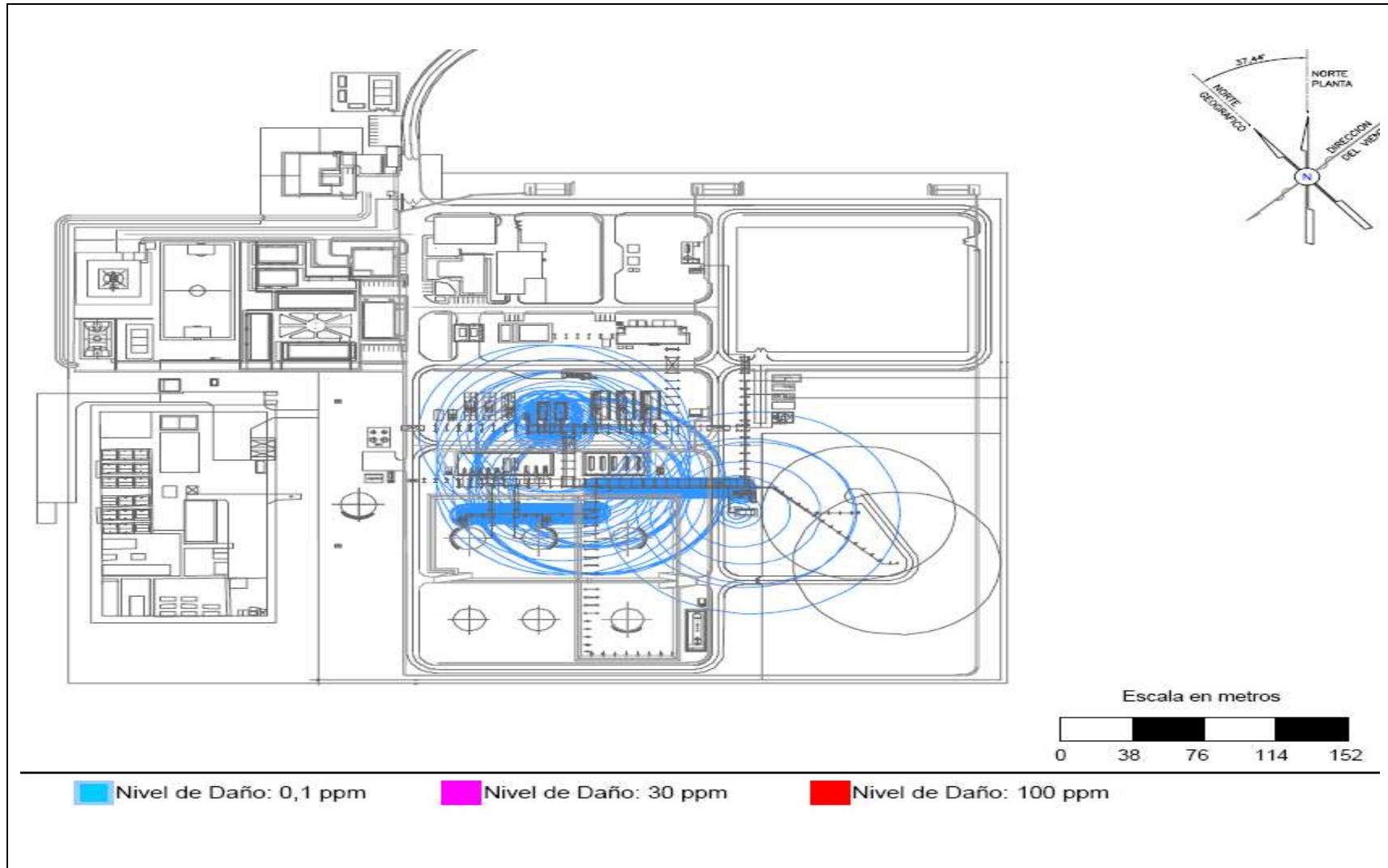


FIGURA 9.5 CONSECUENCIAS POR DISPERSIÓN DE NUBE TÓXICA

9.5 CUANTIFICACIÓN DEL RIESGO INDIVIDUAL Y RIESGO SOCIAL

En esta sección se presentan los resultados obtenidos en el numeral 9.3 de los niveles de riesgo individual para las instalaciones evaluadas, con la finalidad de determinar la aceptabilidad del nivel de riesgo a terceros y a operadores, provenientes de los eventos generados.

Los contornos de Riesgo Individual son determinados superponiendo cada curva de isoconsecuencias sobre el plano de implantación de la PTC. Posteriormente las frecuencias son sumadas una a una hasta encontrar las curvas de isoriesgos individual para 1.0×10^{-8} año⁻¹, 1.0×10^{-7} año⁻¹, 1.0×10^{-6} año⁻¹, 1.0×10^{-5} año⁻¹ y 1.0×10^{-4} año⁻¹ para un nivel de daño de 1 % de fatalidades.

La extensión para un nivel específico de riesgo anual es presentada como la distancia y el valor de 1.0×10^{-6} año⁻¹ representa estar expuesto a un riesgo fatal de uno en un millón de veces, durante el periodo de un año, debido a escapes de sustancias peligrosas en las instalaciones.

En la Figura 9.6 se presentan los contornos de riesgo individual o curvas de Isoriesgo de la Planta de Tratamiento de Crudo.

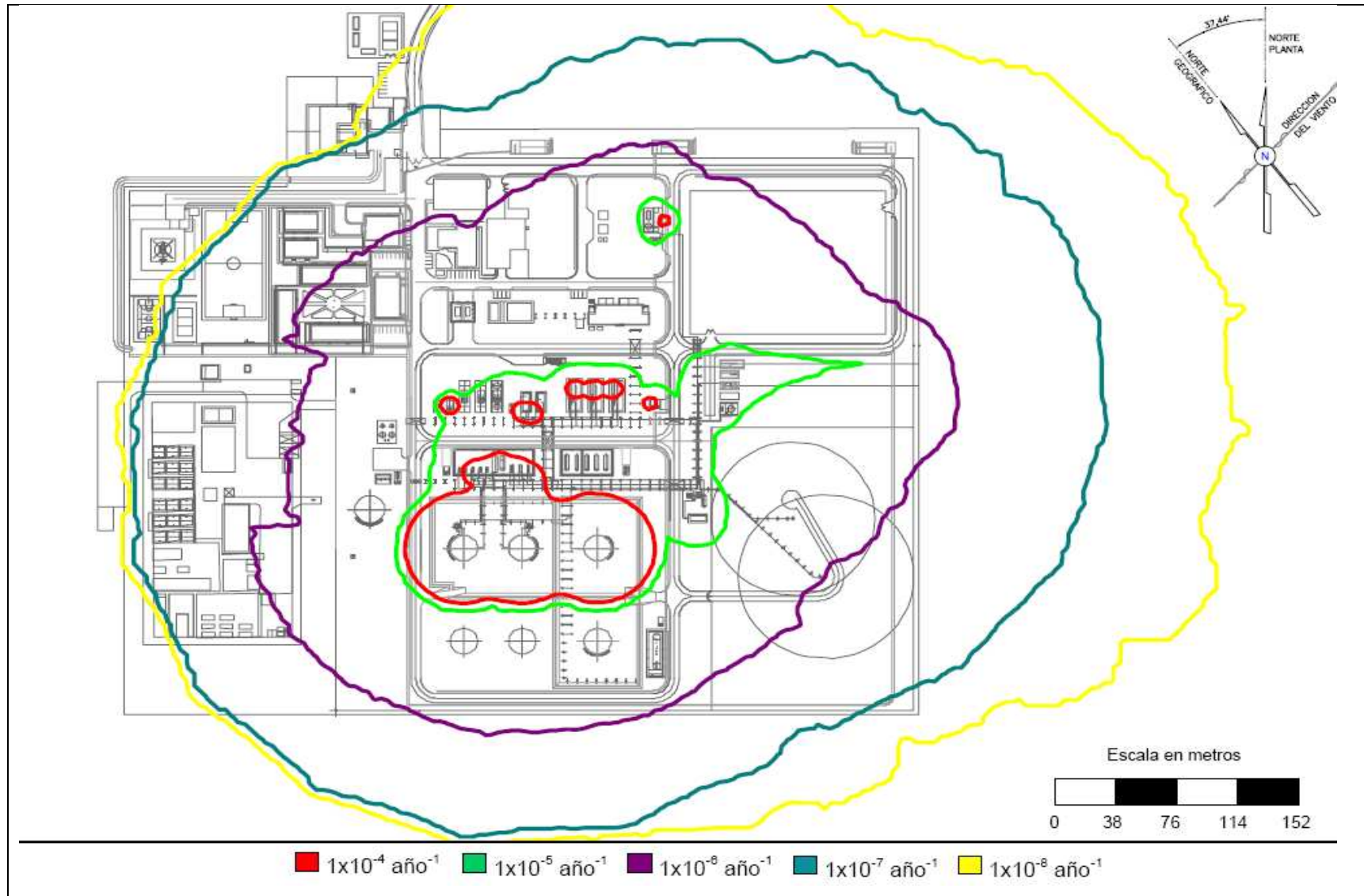


FIGURA 9.6 CONTORNOS DE RIESGO INDIVIDUAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE CRUDO

CAPITULO 10. ANALISIS DE RESULTADOS

10.1 ANALISIS DE RESULTADOS

En base a la estimación de frecuencias y de la representación grafica obtenida en el numeral 9.5 se puede obtener la siguiente información:

- La curva que representa el Nivel de Riesgo Aceptable a Terceros de 1.0×10^{-6} año⁻¹ sobrepasa los límites de la propiedad, a una distancia máxima de 25 metros al Este de la instalación y 13 metros al sur de la instalación de acuerdo al norte de la Plata.
- La curva que representa el Nivel de Riesgo 1.0×10^{-5} año⁻¹ no sobrepasa el límite de la propiedad.
- El máximo nivel de riesgo individual alcanzado para operadores es de 1.0×10^{-4} año⁻¹ el cual es un nivel de riesgo reducción deseable según los criterios de tolerancia establecidos en la tabla 5.1
- El nivel de riesgo individual alcanzado de 1.0×10^{-4} año⁻¹ se debe principalmente a la alta frecuencia de falla que poseen las fugas en bombas.
- El nivel de riesgo de 1.0×10^{-5} año⁻¹ no afecta las instalaciones del edificio administrativo, el edificio de mantenimiento, el laboratorio y el cuarto de control.

En base a los resultados obtenidos en el cálculo de consecuencias, se puede indicar que los mayores eventos peligrosos son las siguientes:

- Radiación Térmica: 105.6 metros asociado a la Fuga/ruptura en el cabezal de descarga de las Bombas de Despacho de Crudo, para el tamaño de fuga de orificio de 1", a una velocidad de viento de 3.0 m/s y una estabilidad Atmosférica (Pasquill) D, para el nivel de daño correspondiente a 1.6 Kw/m^2 .
- Sobrepresión: 527.1 metros asociado a la fuga/ruptura en el cabezal de descarga de las Bombas de Despacho de Crudo, para el tamaño de fuga de orificio de 1", a una velocidad de viento de 3.0 m/s y una estabilidad Atmosférica (Pasquill) D, para el nivel de daño correspondiente a 0.3 psig.
- Nube Tóxica: asociado a la Fuga/ruptura en la descarga del enfriador de gas de la Unidad Recuperadora de Vapores, para el tamaño de fuga de orificio de 1", a una velocidad de viento de 3.0 m/s y una estabilidad Atmosférica (Pasquill) D, para el nivel de daño correspondiente a 0.1 ppm de H_2S .

CAPITULO 11. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

11.1 CONCLUSIONES

En este numeral se presentan las conclusiones obtenidas, las mismas se basan en los resultados tabulares y gráficos del presente estudio:

- El presente Análisis Cuantitativo de Riesgos ha permitido poner en práctica un conjunto de técnicas de análisis de riesgos Cualitativos y Cuantitativos necesarios para identificar y calcular las posibles consecuencias ante la materialización de un Accidente Mayor en la Planta de Tratamiento de Crudo de ECUADORTLC S.A.
- Los resultados obtenidos muestran que la Planta de Tratamiento de Crudo de ECUADORTLC S.A. es conforme a los criterios internacionales de aceptabilidad de riesgo individual. para su personal y para terceros.
- La ubicación de hidrantes, monitores y equipos de combate contra incendios cumplen con las distancias de equipos intrínsecamente seguros, ya que no se encuentran ubicados dentro de las Zonas de Alerta por Radiación Térmica (5 Kw/m^2).
- Las edificaciones que se listan a continuación se encuentran dentro de la Zona de Alerta y son afectadas por el nivel de daño de sobrepresión de 1.0 psig:
 - Edificio de Mantenimiento
 - Edificio Administrativo
 - Shelter de Contingencias
 - Laboratorio y Sala de Control
 - Conjunto de Habitaciones "C" – Personal Operativo

- Centro de Recreación y Lavandería

Sin embargo, los contornos de riesgos calculados señalan que las edificaciones no son afectadas por el nivel de riesgo igual a 1.0×10^{-5} año⁻¹ por lo cual podemos indicar que las edificaciones se encuentran bien ubicadas.

- Las consecuencias generadas por Dispersión de Nube Tóxica de Sulfuro de Hidrógeno (H₂S), para los niveles ERPG2 (30 ppm) y ERPG3 (100 ppm), no son alcanzados en ninguno de los escenarios accidentales analizados, por lo cual el personal presente en las instalaciones no se verá afectado por este contaminante.

- Ninguna de las consecuencias generadas por los equipos del área de procesos afecta a los tanques de Almacenamiento de Crudo ni al Tanque de Contingencias, por lo que las distancias de seguridad son las correctas.

- Las consecuencias generadas por la Trampa de Envío (TL-101) para crudo afectan a los equipos asociados al tanque Slop (T-1607).

- Las consecuencias generadas por siete equipos alcanzan la estructura del soporte de tubería. Estos equipos son:
 - Trampa de Envío (TL-101)
 - Separadores Electrostáticos (V-1101 A/B).
 - Depurador de Gas Blanketing (V-1602)
 - Bombas Booster (P-1401 A/B/C)
 - Bombas de Despacho de Crudo (P-1402 A/B/C)
 - KOD de Baja y Alta (V-1210 y V-1211)
 - Bombas (P-1210 A/B y P-1211 A/B).

- Las consecuencias generadas por la Trampa de Envió (TL-101) para crudo afectan a los equipos asociados al tanque Slop (T-1607).

11.2 RECOMENDACIONES

A continuación se detallan una serie de recomendaciones que ayudaran a aumentar los niveles de seguridad para las personas e instalaciones de la Planta de Tratamiento de Crudo:

- Generar una franja de amortiguamiento de 30 metros alrededor del limite de cerca de las instalaciones de la Planta de tratamiento de Crudo, tomando en consideración las distancias alcanzadas por el contorno de riesgo de 1.0×10^{-6} año⁻¹.
- Considerar como equipos críticos dentro del programa de inspección y mantenimiento a los equipos de mayor frecuencia de fuga como son las Bombas, Tanques y Recipientes con el objeto de reducir la frecuencia de ocurrencia de los eventos no deseados.
- Revisar los Planes de Respuesta a Emergencias, así como el Planeamiento Previo para los escenarios identificados en este trabajo, considerando los resultados de las distancias obtenidas para cada una de las zonas de planificación, de esta manera asegurar la adquisición de los recursos necesarios para el combate de incendios.
- Aumentar el número de detectores de gases en el área de procesos cercana a las edificaciones que permita una pronta respuesta del personal en caso de fugas de los productos combustibles manejados.
- Establecer un plan de mantenimiento preventivo para garantizar la disminución de la probabilidad de ocurrencia de la fuga/ruptura en la trampa de envío para crudo (TL-101).

- Asegurar que nuevos equipos para el combate de incendios, sean ubicados fuera de las zonas de afectación de las consecuencias generadas para la intensidad de radiación térmica igual a 5 Kw/m^2 .
- Analizar la conveniencia de incluir un sistema de enfriamiento con agua para el tanque acumulador de Slops (T-1607).
- Analizar la conveniencia de proteger con revestimiento contra incendios los soportes de tubería en las áreas donde es afectado por la radiación térmica de equipos adyacentes.
- Disponer de equipos portátiles para la extinción de incendios en el área de la subestación eléctrica, en el caso de que se presentes condiciones de afectación por la generación de consecuencias de radiación térmica.
- Realizar un Análisis Cuantitativo de Riesgos para la Planta de Generación Eléctrica aledaña a la Planta de Tratamiento de Crudo, determinar las áreas de afectación mutua y establecer las zonas de planificación para los niveles de riesgos en forma conjunta.
- Realizar un nuevo Análisis Cuantitativo de Riesgos en caso de aumentar la capacidad y/o cambiar los equipos de la Planta de Tratamiento de Crudo.
- Capacitar a todo el personal operativo sobre el presenta análisis cuantitativo de riesgos y concienciar sobre la importancia de cumplir con la normativa de seguridad existentes para evitar la materialización de accidentes mayores en la Planta de Tratamiento de Crudo.

NOMENCLATURA

A: Área, m²

Ao: Área de orificio, m²

C: Parámetro de difusión, m

CD: Coeficiente de descarga a través de orificio, adimensional

Cp: Calor específico a presión constante, J/kg K

Cpa: Calor específico a presión constante del aire, J/kg K

Cv: Calor específico a volumen constante, J/kg K

Cx: Parámetro de difusión en la dirección x, m

Cy: Parámetro de difusión en la dirección y, m

Cz: Parámetro de difusión en la dirección z, m

D: Dosis, (mg/m³)_{ns} ó ppm

Ma: Masa molecular del aire, 29 kg/kmol

Ms: Masa molecular de la sustancia, kg/kmol

P: Presión, N/m²

Patm: Presión atmosférica, N/m²

Pcrit: Presión crítica, N/m²

Pp: Presión parcial, N/m²

Pref: Presión en la altura de referencia, N/m²

Pv(T): Presión de vapor a la temperatura T, N/m²

Q: Caudal volumétrico, m³/s

Qo: Caudal volumétrico de emisión, m³/s

T: Temperatura, K

Ta: Temperatura del aire, K

Tcrit: Temperatura crítica

Tl: Temperatura del líquido, K

Tref: Temperatura en el punto de referencia, K

Tsl: Temperatura del suelo, K

V: Volumen, m³

V_0 : Volumen inicial fugado, m³

X : Distancia desde el origen de la fuga en la dirección del viento, m

c : Concentración, mg/m³

c_{max} : Concentración máxima en la dirección del viento, mg/m³

c_{max-x} : Concentración máxima para el nivel de daño x , ppm ó mg/m³

c_{med} : Concentración media o promediada en la dirección del viento, mg/m³

c_{minref} : Concentración mínima de referencia, ppm ó mg/m³

c_0 : Concentración en la fuente, mg/m³

c_{son} : Velocidad del sonido

k^* : Coeficiente de difusión, m²/s

k_{sl} : Conductividad térmica del suelo, W/mK

k_x : Coeficiente de difusión de una sustancia en aire en la dirección x , m²/s

k_y : Coeficiente de difusión de una sustancia en aire en la dirección y , m²/s

k_z : Coeficiente de difusión de una sustancia en aire en la dirección z , m²/s

t : Tiempo, s

t_d : Tiempo de descarga, s

t_{exp} : Tiempo de exposición, min. ó s

u : Velocidad, m/s

Δ : Incremento

$\Delta\rho$: Diferencia de densidades entre la nube y el aire, kg/m³

ρ : Densidad, kg/m³

ρ_a : Densidad del aire, kg/m³

ρ_f : Densidad del fluido, kg/m³

ρ_l : Densidad del líquido, kg/m³

σ : Desviación típica de la concentración, m

σ_x : Desviación típica de la concentración en la dirección x , m

σ_y : Desviación típica de la concentración en la dirección y , m

σ_z : Desviación típica de la concentración en la dirección z , m

φ : Latitud geográfica del lugar, grados sexagesimales

BIBLIOGRAFÍA

- [1] API American Petroleum Institute: Risk Based Inspection API – 581 1st Edition. 2000
- [2] ASME American Society of Mechanical Engineers: A Comparison of Criteria For Acceptance of Risk. 2000
- [3] CASAL J. Montiel H. Planas E.: Análisis de Riesgo en Instalaciones Industriales. Ediciones Alfaomega. 2001
- [4] CCPS Center for Chemical Process Safety: Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis, 2nd Edition. 2000
- [5] DIRECTIVA 2003/105/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre de 2003, por la que se modifica la Directiva 96/82/CE del Consejo relativa al control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas.
- [6] DOE Department of Energy US: Chemical Process Hazards Analysis. DOE-HDBK-1100-2004.2004
- [7] EPA Environmental Protection Agency US: General Guidance on Risk Management Programs for Chemical Accident Prevention (40 CFR Part 68). 2004
- [8] ENTRIX Estudio de Impacto Ambiental y Plan de Manejo Ambiental: Campo Unificado Palo Azul Norte. 2007
- [9] IFC International Fire Code. Section 2209.2003

- [10] INSHT Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo E. Notas Técnicas de Prevención:
- NTP 291: Modelos de vulnerabilidad de las personas por accidentes mayores: método Probit.
 - NTP 321: Explosiones de nubes de vapor no confinadas: evaluación de la sobrepresión
 - NTP 326: Radiación térmica en incendios de líquidos y gases.
 - NTP 329: Modelos de dispersión de gases y/o vapores en la atmósfera: fuentes puntuales continuas.
 - NTP 362: Fugas en recipientes y conducciones: emisión de fase líquida.
 - NTP 475: Modelos de dispersión de gases y/o vapores en la atmósfera: fuentes puntuales instantáneas.
- [11] NOAA National Oceanic and Atmospheric Administration: Manual del Usuario ALOHA (Areal Locations of Hazardous Atmospheres).2007
- [12] OSHA Department of Labor Occupational Safety and Health Administration US: Process Safety Management OSHA – 3132. 2000
- [13] PETROBRAS ECUADOR: Manual de Operaciones CPF PALO AZUL 40 KBOPD. 2007
- [14] PERRY, R.H. and Green, D.W. Chemical Engineers Handbook 8th Edition. Editorial McGraw-Hill. 2007
- [15] REAL DECRETO 1196/2003, de 19 de septiembre, por el que se aprueba la Directriz básica de protección civil para el control y planificación ante el riesgo de accidentes graves en los que intervienen sustancias peligrosas.
- [16] REAL DECRETO 119/2005, de 4 de febrero, por el que se modifica el Real Decreto 1254/1999, de 16 de julio por el que se aprueban medidas de control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas.
- [17] REAL DECRETO 948/2005, de 29 de julio, por el que se modifica el Real Decreto 1254/1999, de 16 de julio, por el que se aprueban medidas de control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que

intervienen sustancias peligrosas.

- [18] RUIZ-FRUTOS C, García AM, Delclós J, Benavides FG, Vásquez-Zamora L. Salud laboral: conceptos y técnicas para la prevención de riesgos laborales. 3.a ed. Barcelona: Masson; 2007.
- [19] SPCB Servicio de Protección Civil de Barcelona: Procedimiento de evaluación de riesgos tecnológicos en el entorno. 2000
- [20] STORCH de Gracia, García J.: Seguridad industrial en plantas químicas y energéticas: fundamentos, evaluación de riesgos y diseño 2da Edición. 2008.

BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

- [21] B. Knegtering, H.J. Pasman, Safety of the process industries in the 21st century: A changing need of process safety management for a changing industry. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, Volume 22, Issue 2, March 2009, Pages 162-168.
- [22] J I. Changa, , Ch. Lin A Study of storage tank accidents. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, Volume 19, Issue 1, January 2006, Pages 51-59.
- [23] F. I. Khan, S.A. Abbasi Major accidents in process industries and an analysis of causes and consequences .Journal of Loss Prevention in the Process Industries, Volume 12, Issue 5, September 1999, Pages 361-378.
- [24] C. Carrari, V. Aparicio, "Utilización de Modelos de Dispersión Atmosférica para la Estimación de Dosis de Exposición" Mecánica Computacional Vol. XXIII, pp. 1743-1759. Ediciones G.Buscaglia, E.Dari, O.Zamonsky Bariloche, Argentina, Noviembre 2004.
- [25] J. A. Vílchez, X. Pérez-Alavedra Análisis de Riesgos Ambientales y Aplicación al Diseño de Instalaciones Industriales". IX Seminario Formación. Barcelona España, Octubre 2001

ANEXO I

IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS

N° de Escenario	Descripción	Código de Escenario
1	Fuga/ruptura en el cabezal de producción de "Palo azul" hacia los separadores de agua libre	L1
2	Fuga/ruptura en la línea de alimentación al Separador de Agua Libre	L2
3	Fuga/ruptura en el tope del Separador de Agua Libre	VT1
4	Fuga/ruptura en el fondo del Separador de Agua Libre	VB1
5	Fuga/ruptura en la línea de gas del Separador de Agua Libre hacia la Tea de Alta Presión	L3
6	Fuga/ruptura en la línea de gas del Separador de agua Libre hacia depurador de gas a generación y gas de manto	L4
7	Fuga/ruptura en la descarga de gas del Separador Electrostático	VT2
8	Fuga/ruptura en la descarga de crudo del Separador Electrostático	VB2
9	Fuga/ruptura en el cabezal de gas Separador a KOD de Baja Presión	L5
10	Fuga/ruptura en el cabezal de crudo hacia Botas Desgasificadores	L6
11	Fuga/ruptura en la alimentación a la Bota Desgasificadora	L7
12	Fuga/ruptura en el tope de la Bota Desgasificadora	VT3
13	Fuga/ruptura en el fondo de la Bota Desgasificadora	VB3
14	Fuga/ruptura en el cabezal de gas de las Botas Desgasificadores hacia KOD de Baja Presión	L8
15	Fuga/ruptura en la descarga del Tanque de Almacenamiento de Crudo	L9
16	Incendio en el Tanque de Almacenamiento de Crudo	T1
17	Fuga/ruptura en el cabezal de crudo hacia las Bombas Booster	L10
18	Fuga/ruptura en la alimentación de las Bombas Booster	L11
19	Fuga/ruptura en la descarga de las Bombas Booster	L12
20	Fuga/ruptura en el cabezal de crudo de la descarga de las Bombas Booster hacia la unidad LACT	L13

N° de Escenario	Descripción	Código de Escenario
21	Fuga/ruptura en cada tren de la unidad LACT	L14
22	Fuga/ruptura en el cabezal de descarga de la unidad LACT hacia bombas de Despacho de Crudo	L15
23	Fuga/ruptura en la alimentación de las Bombas de Despacho de Crudo	L16
24	Fuga/ruptura en la descarga de las Bombas de Despacho de Crudo	L17
25	Fuga/ruptura en el cabezal de descarga de las Bombas de Despacho de Crudo	L18
26	Fuga/ruptura en la línea de Crudo hacia la Trampa de Envío de PIG'S	L19
27	Incendio en el Tanque de Contingencia	T2
28	Fuga/ruptura en la descarga del Tanque de Contingencia	L20
29	Fuga/ruptura en la descarga de las Bombas de Reproceso	L21
30	Fuga/ruptura en el cabezal de crudo hacia Botas Desgasificadores	VB4
31	Fuga/ruptura en la alimentación al Tanque Acumulador de Slops	L22
32	Fuga/ruptura en la descarga al Tanque Acumulador de Slops	L23
33	Incendio en el Tanque Acumulador de Slops	T3
34	Fuga/ruptura en la descarga de las Bombas de Recobro de Slops	L25
35	Fuga/ruptura en la descarga del Acumulador de Drenaje Cerrado/Abierto	D1
36	Fuga/ruptura en la descarga de la Bomba de Crudo de Drenaje	L26
37	Fuga/ruptura en el cabezal de gas proveniente de los FWKO hacia la Depuración de Gas para Generación y Manto.	L27
38	Fuga/ruptura en la alimentación al Depurador de Gas de Generación	L28
39	Fuga/ruptura en el tope del Depurador de Gas de Generación	VT5
40	Fuga/ruptura en el fondo del Depurador de Gas de Generación	VB5

N° de Escenario	Descripción	Código de Escenario
41	Fuga/ruptura en la alimentación del Depurador de Gas de Manto (Blanketing)	L29
42	Fuga/ruptura en el tope del Depurador de Gas de Manto (Blanketing)	VT6
43	Fuga/ruptura en el fondo del Depurador de Gas de Manto (Blanketing)	VB6
44	Fuga/ruptura en la alimentación al KOD de Baja Presión	L30
45	Fuga/ruptura en el tope del KOD de Baja Presión	VT7
46	Fuga/ruptura en el fondo del KOD de Baja Presión	VB7
47	Fuga/ruptura en la descarga de la Bomba de Condensado del KOD de Baja Presión	L31
48	Fuga/ruptura en la alimentación al Depurador de Entrada de la Unidad Recuperadora de Vapor	L32
49	Fuga/ruptura en el tope del Depurador de Entrada de la Unidad Recuperadora de Vapor	VT8
50	Fuga/ruptura en el fondo del Depurador de Entrada de la Unidad Recuperadora de Vapor	VB8
51	Fuga/ruptura en la descarga de los compresores de la Unidad Recuperadora de Vapor	L33
52	Fuga/ruptura en la descarga del enfriador de gas de la Unidad Recuperadora de Vapor	VT9
53	Fuga/ruptura en el tope del Depurador de Salida de la Unidad Recuperadora de Vapor	VB9
54	Fuga/ruptura en el cabezal de condensados generados en la Unidad Recuperadora de Vapor	L34
55	Fuga/ruptura en la alimentación al KOD del Sistema de Alivio de Alta Presión	L35
56	Fuga/ruptura en el tope del KOD de Alta Presión	VT10
57	Fuga/ruptura en el fondo del KOD de Alta Presión	VB10
58	Fuga/ruptura en la descarga de la Bomba de Condensado generado en el KOD de Alta Presión	L36
59	Fuga/ruptura en la descarga del tanque de Crudo Recuperado	L37
60	Fuga/ruptura en la descarga de las bombas de Crudo Recuperado	L38

ANEXO II

ESTIMACIÓN DE FRECUENCIAS PARA LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE CRUDO DE ECUADORTLC

Nº de Escenario	DESCRIPCION	Código de Escenario	LONG. (m)	Frecuencia de Falla	CONSECUENCIA						
					1. JET FIRE	2. BLEVE	3. POOL FIRE	4. UVCE	5. LLAMARADA	6. DISPERCIÓN	TOTAL
1	Fuga/ruptura en el cabezal de producción de "Palo azul" hacia los separadores de agua libre	L1	500	2.70E-05	4.010E-03	4.050E-07	4.010E-06	1.890E-04	1.701E-03	7.560E-03	1.346E-02
2	Fuga/ruptura en la línea de alimentación al Separador de Agua Libre	L2	50	2.70E-05	4.010E-04	4.050E-08	4.010E-07	1.890E-05	1.701E-04	7.560E-04	1.346E-03
3	Fuga/ruptura en el tope del Separador de Agua Libre	VT1	-----	1.50E-04	4.455E-05	4.500E-09	4.455E-08	2.100E-06	1.890E-05	8.400E-05	1.496E-04
4	Fuga/ruptura en el fondo del Separador de Agua Libre	VB1	-----	1.50E-04	4.455E-05	4.500E-09	4.455E-08	2.100E-06	1.890E-05	8.400E-05	1.496E-04
5	Fuga/ruptura en la línea de gas del Separador de Agua Libre hacia la Tea de Alta Presión	L3	300	3.60E-05	3.208E-03	3.240E-07	3.208E-06	1.512E-04	1.361E-03	6.048E-03	1.077E-02
6	Fuga/ruptura en la línea de gas del Separador de agua Libre hacia depurador de gas a generación y gas de manto	L4	300	3.60E-05	3.208E-03	3.240E-07	3.208E-06	1.512E-04	1.361E-03	6.048E-03	1.077E-02
7	Fuga/ruptura en la descarga de gas del Separador Electrostático	VT2	-----	1.50E-04	4.455E-05	4.500E-09	4.455E-08	2.100E-06	1.890E-05	8.400E-05	1.496E-04
8	Fuga/ruptura en la descarga de crudo del Separador Electrostático	VB2	-----	1.50E-04	4.455E-05	4.500E-09	4.455E-08	2.100E-06	1.890E-05	8.400E-05	1.496E-04
9	Fuga/ruptura en el cabezal de gas Separador a KOD de Baja Presión	L5	300	3.60E-05	3.208E-03	3.240E-07	3.208E-06	1.512E-04	1.361E-03	6.048E-03	1.077E-02
10	Fuga/ruptura en el cabezal de crudo hacia Botas Desgasificadoras	L6	300	3.60E-05	3.208E-03	3.240E-07	3.208E-06	1.512E-04	1.361E-03	6.048E-03	1.077E-02
11	Fuga/ruptura en la alimentación a la Bota Desgasificadora	L7	150	3.60E-05	1.604E-03	1.620E-07	1.604E-06	7.560E-05	6.804E-04	3.024E-03	5.386E-03
12	Fuga/ruptura en el tope de la Bota Desgasificadora	VT3	-----	1.50E-04	4.455E-05	4.500E-09	4.455E-08	2.100E-06	1.890E-05	8.400E-05	1.496E-04
13	Fuga/ruptura en el fondo de la Bota Desgasificadora	VB3	-----	1.50E-04	4.455E-05	4.500E-09	4.455E-08	2.100E-06	1.890E-05	8.400E-05	1.496E-04
14	Fuga/ruptura en el cabezal de gas de las Botas Desgasificadoras hacia KOD de Baja Presión	L8	150	2.70E-05	1.203E-03	1.215E-07	1.203E-06	5.670E-05	5.103E-04	2.268E-03	4.039E-03
15	Fuga/ruptura en la descarga del Tanque de Almacenamiento de Crudo	L9	180	2.70E-05	1.443E-03	1.458E-07	1.443E-06	6.804E-05	6.124E-04	2.722E-03	4.847E-03
16	Incendio en el Tanque de Almacenamiento de Crudo	T1	-----	3.00E-04	8.910E-05	9.000E-09	8.910E-08	4.200E-06	3.780E-05	1.680E-04	2.992E-04

ESTIMACIÓN DE FRECUENCIAS PARA LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE CRUDO DE ECUADORTLC

N° de Escenario	DESCRIPCION	Código de Escenario	LONG. (m)	Frecuencia de Falla	CONSECUENCIA						
					1. JET FIRE	2. BLEVE	3. POOL FIRE	4. UVCE	5. LLAMARADA	6. DISPERCIÓN	TOTAL
17	Fuga/ruptura en el cabezal de crudo hacia las Bombas Booster	L10	120	2.70E-05	9.623E-04	9.720E-08	9.623E-07	4.536E-05	4.082E-04	1.814E-03	3.231E-03
18	Fuga/ruptura en la alimentación de las Bombas Booster	L11	120	3.60E-05	1.283E-03	1.296E-07	1.283E-06	6.048E-05	5.443E-04	2.419E-03	4.308E-03
19	Fuga/ruptura en la descarga de las Bombas Booster	L12	120	3.60E-05	1.283E-03	1.296E-07	1.283E-06	6.048E-05	5.443E-04	2.419E-03	4.308E-03
20	Fuga/ruptura en el cabezal de crudo de la descarga de las Bombas Booster hacia la unidad LACT	L13	120	3.60E-05	1.283E-03	1.296E-07	1.283E-06	6.048E-05	5.443E-04	2.419E-03	4.308E-03
21	Fuga/ruptura en cada tren de la unidad LACT	L14	120	3.60E-05	1.283E-03	1.296E-07	1.283E-06	6.048E-05	5.443E-04	2.419E-03	4.308E-03
22	Fuga/ruptura en el cabezal de descarga de la unidad LACT hacia bombas de Despacho de Crudo	L15	120	3.60E-05	1.283E-03	1.296E-07	1.283E-06	6.048E-05	5.443E-04	2.419E-03	4.308E-03
23	Fuga/ruptura en la alimentación de las Bombas de Despacho de Crudo	L16	120	3.60E-05	1.283E-03	1.296E-07	1.283E-06	6.048E-05	5.443E-04	2.419E-03	4.308E-03
24	Fuga/ruptura en la descarga de las Bombas de Despacho de Crudo	L17	120	7.70E-05	2.744E-03	2.772E-07	2.744E-06	1.294E-04	1.164E-03	5.174E-03	9.215E-03
25	Fuga/ruptura en el cabezal de descarga de las Bombas de Despacho de Crudo	L18	120	3.60E-05	1.283E-03	1.296E-07	1.283E-06	6.048E-05	5.443E-04	2.419E-03	4.308E-03
26	Fuga/ruptura en la línea de Crudo hacia la Trampa de Envío de PIG S	L19	150	2.70E-05	1.203E-03	1.215E-07	1.203E-06	5.670E-05	5.103E-04	2.268E-03	4.039E-03
27	Incendio en el Tanque de Contingencia	T2	-----	3.00E-04	8.910E-05	9.000E-09	8.910E-08	4.200E-05	3.780E-05	1.680E-04	2.992E-04
28	Fuga/ruptura en la descarga del Tanque de Contingencia	L20	80	3.60E-05	8.554E-04	8.640E-08	8.554E-07	4.032E-05	3.629E-04	1.613E-03	2.872E-03
29	Fuga/ruptura en la descarga de las Bombas de Reproceso	L21	100	3.60E-05	1.069E-03	1.080E-07	1.069E-06	5.040E-05	4.536E-04	2.016E-03	3.590E-03
30	Fuga/ruptura en el cabezal de crudo hacia Botas Desgasificadores	VB4	-----	1.50E-04	4.455E-05	4.500E-09	4.455E-08	2.100E-05	1.890E-05	8.400E-05	1.496E-04
31	Fuga/ruptura en la alimentación al Tanque Acumulador de Slops	L22	100	7.70E-05	2.287E-03	2.310E-07	2.287E-06	1.078E-04	9.702E-04	4.312E-03	7.679E-03
32	Fuga/ruptura en la descarga al Tanque Acumulador de Slops	L23	100	7.70E-05	2.287E-03	2.310E-07	2.287E-06	1.078E-04	9.702E-04	4.312E-03	7.679E-03

ESTIMACIÓN DE FRECUENCIAS PARA LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE CRUDO DE ECUADORTLC

Nº de Escenario	DESCRIPCION	Código de Escenario	LONG. (m)	Frecuencia de Falla	CONSECUENCIA						
					1. JET FIRE	2. BLEVE	3. POOL FIRE	4. UVCE	5. LLAMARADA	6. DISPERCIÓN	TOTAL
33	Incendio en el Tanque Acumulador de Slops	T3	-----	3.00E-04	8.910E-05	9.000E-09	8.910E-08	4.200E-06	3.780E-05	1.680E-04	2.992E-04
34	Fuga/ruptura en la descarga de las Bombas de Recobro de Slops	L25	120	7.70E-05	2.744E-03	2.772E-07	2.744E-06	1.294E-04	1.164E-03	5.174E-03	9.215E-03
35	Fuga/ruptura en la descarga del Acumulador de Drenaje Cerrado/Abierto	D1	-----	3.60E-05	1.069E-05	1.080E-09	1.069E-08	5.040E-07	4.536E-06	2.016E-05	3.590E-05
36	Fuga/ruptura en la descarga de la Bomba de Crudo de Drenaje	L26	120	7.70E-05	2.744E-03	2.772E-07	2.744E-06	1.294E-04	1.164E-03	5.174E-03	9.215E-03
37	Fuga/ruptura en el cabezal de gas proveniente de los FWKO hacia la Depuración de Gas para Geberación y Manto.	L27	150	3.60E-05	1.604E-03	1.620E-07	1.604E-06	7.560E-05	6.804E-04	3.024E-03	5.386E-03
38	Fuga/ruptura en la alimentación al Depurador de Gas de Generación	L28	150	3.60E-05	1.604E-03	1.620E-07	1.604E-06	7.560E-05	6.804E-04	3.024E-03	5.386E-03
39	Fuga/ruptura en el tope del Depurador de Gas de Generación	VT5	-----	1.50E-04	4.455E-05	4.500E-09	4.455E-08	2.100E-06	1.890E-05	8.400E-05	1.496E-04
40	Fuga/ruptura en el fondo del Depurador de Gas de Generación	VB5	-----	1.50E-04	4.455E-05	4.500E-09	4.455E-08	2.100E-06	1.890E-05	8.400E-05	1.496E-04
41	Fuga/ruptura en la alimentación del Depurador de Gas de Manto (Blanketing)	L29	150	3.60E-05	1.604E-03	1.620E-07	1.604E-06	7.560E-05	6.804E-04	3.024E-03	5.386E-03
42	Fuga/ruptura en el tope del Depurador de Gas de Manto (Blanketing)	VT6	-----	1.50E-04	4.455E-05	4.500E-09	4.455E-08	2.100E-06	1.890E-05	8.400E-05	1.496E-04
43	Fuga/ruptura en el fondo del Depurador de Gas de Manto (Blanketing)	VB6	-----	1.50E-04	4.455E-05	4.500E-09	4.455E-08	2.100E-06	1.890E-05	8.400E-05	1.496E-04
44	Fuga/ruptura en la alimentacional KOD de Baja Presión	L30	150	2.70E-05	1.203E-03	1.215E-07	1.203E-06	5.670E-05	5.103E-04	2.268E-03	4.039E-03
45	Fuga/ruptura en el tope del KOD de Baja Presión	VT7	-----	1.50E-04	4.455E-05	4.500E-09	4.455E-08	2.100E-06	1.890E-05	8.400E-05	1.496E-04
46	Fuga/ruptura en el fondo del KOD de Baja Presión	VB7	-----	1.50E-04	4.455E-05	4.500E-09	4.455E-08	2.100E-06	1.890E-05	8.400E-05	1.496E-04
47	Fuga/ruptura en la deacarga de la Bomba de Condensado del KOD de Baja Presión	L31	150	7.70E-05	3.430E-03	3.465E-07	3.430E-06	1.617E-04	1.455E-03	6.468E-03	1.152E-02
48	Fuga/ruptura en la alimentación al Depurador de Entrada de la Unidad Recuperadora de Vapor	L32	150	2.70E-05	1.203E-03	1.215E-07	1.203E-06	5.670E-05	5.103E-04	2.268E-03	4.039E-03

ESTIMACIÓN DE FRECUENCIAS PARA LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE CRUDO DE ECUADORTLC

N° de Escenario	DESCRIPCION	Código de Escenario	LONG. (m)	Frecuencia de Falla	CONSECUENCIA						
					1. JET FIRE	2. BLEVE	3. POOL FIRE	4. UVCE	5. LLAMARADA	6. DISPERCIÓN	TOTAL
49	Fuga/ruptura en el tope del Depurador de Entrada de la Unidad Recuperadora de Vapor	VT8	-----	1.50E-04	4.455E-05	4.500E-09	4.455E-08	2.100E-06	1.890E-05	8.400E-05	1.496E-04
50	Fuga/ruptura en el fondo del Depurador de Entrada de la Unidad Recuperadora de Vapor	VB8	-----	1.50E-04	4.455E-05	4.500E-09	4.455E-08	2.100E-06	1.890E-05	8.400E-05	1.496E-04
51	Fuga/ruptura en la descarga de los compresores de la Unidad Recuperadora de Vapor	L33	150	3.60E-05	1.604E-03	1.620E-07	1.604E-06	7.560E-05	6.804E-04	3.024E-03	5.386E-03
52	Fuga/ruptura en la descarga del enfriador de gas de la Unidad Recuperadora de Vapor	VT9	-----	1.50E-04	4.455E-05	4.500E-09	4.455E-08	2.100E-06	1.890E-05	8.400E-05	1.496E-04
53	Fuga/ruptura en el tope del Depurador de Salida de la Unidad Recuperadora de Vapor	VB9	-----	1.50E-04	4.455E-05	4.500E-09	4.455E-08	2.100E-06	1.890E-05	8.400E-05	1.496E-04
54	Fuga/ruptura en el cabezal de condensados generados en la Unidad Recuperadora de Vapor	L34	200	7.70E-05	4.574E-03	4.620E-07	4.574E-06	2.156E-04	1.940E-03	8.624E-03	1.536E-02
55	Fuga/ruptura en la alimentación al KOD del Sistema de Alivio de Alta Presión	L35	200	2.70E-05	1.604E-03	1.620E-07	1.604E-06	7.560E-05	6.804E-04	3.024E-03	5.386E-03
56	Fuga/ruptura en el tope del KOD de Alta Presión	VT10	-----	1.50E-04	4.455E-05	4.500E-09	4.455E-08	2.100E-06	1.890E-05	8.400E-05	1.496E-04
57	Fuga/ruptura en el fondo del KOD de Alta Presión	VB10	-----	1.50E-04	4.455E-05	4.500E-09	4.455E-08	2.100E-06	1.890E-05	8.400E-05	1.496E-04
58	Fuga/ruptura en la descarga de la Bomba de Condensado generado en el KOD de Alta Presión	L36	250	7.70E-05	5.717E-03	5.775E-07	5.717E-06	2.695E-04	2.426E-03	1.078E-02	1.920E-02
59	Fuga/ruptura en la descarga del tanque de Crudo Recuperado	L37	250	7.70E-05	5.717E-03	5.775E-07	5.717E-06	2.695E-04	2.426E-03	1.078E-02	1.920E-02
60	Fuga/ruptura en la descarga de las bombas de Crudo Recuperado	L38	250	7.70E-05	5.717E-03	5.775E-07	5.717E-06	2.695E-04	2.426E-03	1.078E-02	1.920E-02

ANEXO III

RESULTADOS DE CONSECUENCIAS DE ZONAS DE AFECTACIÓN

N° DE ESCENARIO	CÓDIGO DE ESCENARIO	DESCRIPCIÓN	Ø	ZONAS DE AFECTACIÓN (m)								
				RADIACIÓN TÉRMICA Kw/m ²			SOBREPRESIÓN psi			TOXICO ppm H ₂ S		
				7.27	5.0	1.6	2.4	1.0	0,3	100	30	0.1
1	L1	Fuga/ruptura en el cabezal de producción de "Palo azul" hacia los separadores de agua libre	P	11.0	12.4	18.4	**	**	**	**	**	**
			M	17.7	20.7	32.3	**	**	2.5	**	**	**
			G	23.0	27.2	43.4	**	**	10.9	**	**	**
2	L2	Fuga/ruptura en la línea de alimentación al Separador de Agua Libre	P	10.3	11.5	17.1	**	**	**	**	**	**
			M	16.4	19.1	29.6	**	**	2.5	**	**	**
			G	16.0	18.6	28.7	**	**	7.2	**	**	**
3	VT1	Fuga/ruptura en el tope del Separador de Agua Libre	P	**	1.7	4.3	**	2.5	8.7	**	**	**
			M	6.6	7.3	9.7	3.7	9.1	31.7	**	**	**
			G	22.8	2.4	30.9	14.0	34.8	121.5	**	**	**
4	VB1	Fuga/ruptura en el fondo del Separador de Agua Libre	P	9.7	10.9	16.3	3.5	8.6	30.1	**	**	**
			M	16.3	19.1	29.8	**	**	**	**	**	**
			G	24.8	29.4	47.3	**	2.1	7.3	**	**	**
5	L3	Fuga/ruptura en la línea de gas del Separador de Agua Libre hacia la Tea de Alta Presión	P	**	**	2.6	**	**	**	**	**	**
			M	**	2.2	5.3	**	**	**	**	**	**
			G	6.9	7.6	10.7	**	**	7.0	**	**	**
6	L4	Fuga/ruptura en la línea de gas del Separador de agua Libre hacia depurador de gas a generación y gas de manto	P	**	2.0	4.4	**	**	**	**	**	**
			M	8.2	8.3	9.5	**	**	**	**	**	**
			G	14.2	15.3	20.0	**	**	5.0	**	**	**
7	VT2	Fuga/ruptura en la descarga de gas del Separador Electrostático	P	**	2.9	7.1	2.2	5.4	19.0	**	**	10.1
			M	13.2	14.0	17.6	7.8	19.3	67.5	**	**	15.9
			G	30.4	32.5	41.8	22.1	54.9	191.7	**	**	**

N° DE ESCENA RIO	CÓDIGO DE ESCENA RIO	DESCRIPCIÓN	Ø	ZONAS DE AFECTACIÓN (m)								
				RADIACIÓN TERMICA Kw/m ²			SOBREPRESIÓN psi			TOXICO ppm H ₂ S		
				7.27	5.0	1.6	2.4	1.0	0,3	100	30	0.1
8	VB2	Fuga/ruptura en la descarga de crudo del Separador Electrostático	P	9.6	10.8	16.0	3.4	8.4	29.4	**	**	**
			M	15.9	18.7	29.2	**	**	**	**	**	**
			G	17.9	21.1	33.3	**	2.0	7.1	**	**	**
9	L5	Fuga/ruptura en el cabezal de gas Separador a KOD de Baja Presión	P	**	**	**	**	**	**	**	**	45.3
			M	6.6	7.0	8.9	**	**	2.8	**	**	66.0
			G	**	5.0	8.1	**	**	**	**	**	**
10	L6	Fuga/ruptura en el cabezal de crudo hacia Botas Desgasificadores	P	7.8	8.6	12.6	**	**	**	**	**	**
			M	11.8	13.7	20.8	**	**	**	**	**	**
			G	18.0	21.2	33.4	**	**	**	**	**	**
11	L7	Fuga/ruptura en la alimentación a la Bota Desgasificadora	P	7.8	8.6	12.6	**	**	**	**	**	**
			M	11.8	13.7	20.8	**	**	**	**	**	**
			G	15.4	18.0	28.0	**	**	**	**	**	**
12	VT3	Fuga/ruptura en el tope de la Bota Desgasificadora	P	**	1.1	2.7	**	**	**	**	**	**
			M	**	1.6	4.0	**	**	**	**	**	**
			G	**	1.6	4.0	**	**	3.8	**	**	**
13	VB3	Fuga/ruptura en el fondo de la Bota Desgasificadora	P	9.6	10.8	16.1	**	**	2.1	**	**	**
			M	15.8	18.5	29.0	**	**	**	**	**	**
			G	25.9	30.8	49.5	**	**	**	**	**	**
14	L8	Fuga/ruptura en el cabezal de gas de las Botas Desgasificadores hacia KOD de Baja Presión	P	**	**	**	**	**	**	**	**	4.7
			M	**	**	1.2	**	**	**	**	**	7.7
			G	**	5.3	7.8	**	6.3	**	**	**	**
15	L9	Fuga/ruptura en la descarga del Tanque de Almacenamiento de Crudo	P	9.6	10.9	16.2	**	**	**	**	**	**
			M	16.1	18.9	29.5	**	**	**	**	**	**
			G	40.2	47.9	78.4	**	**	**	**	**	**

N° DE ESCENA RIO	CÓDIGO DE ESCENA RIO	DESCRIPCIÓN	Ø	ZONAS DE AFECTACIÓN (m)								
				RADIACIÓN TERMICA Kw/m ²			SOBREPRESIÓN psi			TOXICO ppm H ₂ S		
				7.27	5.0	1.6	2.4	1.0	0,3	100	30	0.1
16	T1	Incendio en el Tanque de Almacenamiento de Crudo	---	**	12.9	37.7	**	**	**	**	**	**
17	L10	Fuga/ruptura en el cabezal de crudo hacia las Bombas Booster	P	8.8	9.9	14.5	**	**	2.1	**	**	**
			M	13.9	16.2	25.0	**	**	**	**	**	**
			G	18.0	21.2	33.4	**	**	**	**	**	**
18	L11	Fuga/ruptura en la alimentación de las Bombas Booster	P	8.8	9.9	14.5	**	**	**	**	**	**
			M	13.9	16.2	25.0	**	**	**	**	**	**
			G	15.4	18.0	28.0	**	**	4.4	**	**	**
19	L12	Fuga/ruptura en la descarga de las Bombas Booster	P	8.8	9.8	14.5	**	**	**	**	**	**
			M	13.8	16.0	24.8	**	**	**	**	**	**
			G	15.4	18.0	28.0	**	**	4.4	**	**	**
20	L13	Fuga/ruptura en el cabezal de crudo de la descarga de las Bombas Booster hacia la unidad LACT	P	8.8	9.8	14.5	**	**	2.1	**	**	**
			M	13.8	16.0	24.8	**	**	**	**	**	**
			G	17.9	21.1	33.3	**	**	**	**	**	**
21	L14	Fuga/ruptura en cada tren de la unidad LACT	P	8.8	9.8	14.5	3.2	7.9	27.6	**	**	**
			M	13.8	16.0	24.8	**	**	**	**	**	**
			G	15.4	18.0	28.0	**	**	3.3	**	**	**
22	L15	Fuga/ruptura en el cabezal de descarga de la unidad LACT hacia bombas de Despacho de Crudo	P	8.8	9.8	14.5	3.2	7.9	27.6	**	**	**
			M	13.8	16.0	24.8	**	**	**	**	**	**
			G	17.9	21.1	33.3	**	**	4.9	**	**	**
23	L16	Fuga/ruptura en la alimentación de las Bombas de Despacho de Crudo	P	8.8	9.8	14.5	**	**	**	**	**	**
			M	13.8	16.0	24.8	**	**	**	**	**	**
			G	15.4	18.0	28.0	**	**	4.4	**	**	**
24	L17	Fuga/ruptura en la descarga de las Bombas de Despacho de Crudo	P	21.9	23.7	32.9	60.8	151.0	527.1	**	**	**
			M	65.3	71.7	105.6	60.8	151.0	527.1	**	**	**
			G	15.8	18.4	28.6	6.1	15.2	53.1	**	**	**

N° DE ESCENA RIO	CÓDIGO DE ESCENA RIO	DESCRIPCIÓN	Ø	ZONAS DE AFECTACIÓN (m)								
				RADIACIÓN TERMICA Kw/m ²			SOBREPRESIÓN psi			TOXICO ppm H ₂ S		
				7.27	5.0	1.6	2.4	1.0	0,3	100	30	0.1
25	L18	Fuga/ruptura en el cabezal de descarga de las Bombas de Despacho de Crudo	P	21.9	23.7	32.9	**	**	67.5	**	**	**
			M	65.3	71.7	105.6	**	**	232.5	**	**	**
			G	18.2	21.4	33.8	**	**	4.9	**	**	**
26	L19	Fuga/ruptura en la línea de Crudo hacia la Trampa de Envío de PIG´S	P	21.8	23.7	32.9	**	**	69.6	**	**	**
			M	65.3	71.7	105.6	**	**	232.5	**	**	**
			G	18.2	21.4	33.8	**	**	2.1	**	**	**
27	T2	Incendio en el Tanque de Contingencia	---	**	12.9	37.7	**	**	**	**	**	**
28	L20	Fuga/ruptura en la descarga del Tanque de Contingencia	P	9.7	10.9	16.2	**	**	**	**	**	**
			M	16.1	18.9	29.6	**	**	**	**	**	**
			G	39.7	47.4	77.4	**	**	**	**	**	**
29	L21	Fuga/ruptura en la descarga de las Bombas de Reproceso	P	8.9	10.0	14.6	**	**	**	**	**	**
			M	14.0	16.3	25.2	**	**	**	**	**	**
			G	13.6	15.7	24.2	**	**	**	**	**	**
30	VB4	Fuga/ruptura en el cabezal de crudo hacia Botas Desgasificadores	P	9.3	10.4	15.3	**	**	**	**	**	**
			M	9.5	10.7	15.7	**	**	**	**	**	**
			G	**	**	**	**	**	**	**	**	**
31	L22	Fuga/ruptura en la alimentación al Tanque Acumulador de Slops	P	3.3	3.6	5.5	**	**	**	**	**	**
			M	3.3	3.6	5.5	**	**	**	**	**	**
			G	2.0	2.2	3.1	**	**	**	**	**	**
32	L23	Fuga/ruptura en la descarga al Tanque Acumulador de Slops	P	10.4	11.6	17.2	**	**	**	**	**	**
			M	13.8	16.0	24.5	**	**	**	**	**	**
			G	13.8	16.0	24.5	**	**	**	**	**	**

N° DE ESCENA RIO	CÓDIGO DE ESCENA RIO	DESCRIPCIÓN	Ø	ZONAS DE AFECTACIÓN (m)								
				RADIACIÓN TERMICA Kw/m ²			SOBREPRESIÓN psi			TOXICO ppm H ₂ S		
				7.27	5.0	1.6	2.4	1.0	0,3	100	30	0.1
33	T3	Incendio en el Tanque Acumulador de Slops	---	6.0	9.5	17.8	**	**	**	**	**	**
34	L25	Fuga/ruptura en la descarga de las Bombas de Recobro de Slops	P	8.8	9.9	14.5	**	**	**	**	**	**
			M	9.8	11.1	16.5	**	**	**	**	**	**
			G	9.8	11.1	16.5	**	**	**	**	**	**
35	D1	Fuga/ruptura en la descarga del Acumulador de Drenaje Cerrado/Abierto	P	8.8	9.3	13.7	**	**	**	**	**	**
			M	13.2	15.3	23.5	**	**	**	**	**	**
			G	21.1	25.0	40.1	**	**	**	**	**	**
36	L26	Fuga/ruptura en la descarga de la Bomba de Crudo de Drenaje	P	10.4	11.6	17.2	**	**	**	**	**	**
			M	13.8	16.0	24.5	**	**	**	**	**	**
			G	13.8	16.0	24.5	**	**	**	**	**	**
37	L27	Fuga/ruptura en el cabezal de gas proveniente de los FWKO hacia la Depuración de Gas para Generación y Manto	P	**	2.0	4.4	**	**	**	**	**	**
			M	8.2	8.3	9.5	**	**	**	**	**	**
			G	19.7	21.0	26.8	**	**	5.2	**	**	**
38	L28	Fuga/ruptura en la alimentación al Depurador de Gas de Generación	P	**	2.0	4.4	**	**	**	**	**	**
			M	8.2	8.3	9.5	**	**	**	**	**	**
			G	17.7	19.0	24.4	**	**	5.1	**	**	**
39	VT5	Fuga/ruptura en el tope del Depurador de Gas de Generación	P	**	1.8	4.4	**	**	**	**	**	**
			M	7.1	7.7	9.7	**	**	**	**	**	**
			G	18.7	20.1	25.9	**	**	5.0	**	**	**
40	VB5	Fuga/ruptura en el fondo del Depurador de Gas de Generación	P	16.7	18.8	29.2	**	**	22.6	**	**	**
			M	21.5	23.2	33.0	**	**	68.9	**	**	**
			G	31.0	35.1	52.2	**	**	66.0	**	**	**

N° DE ESCENARIO	CÓDIGO DE ESCENARIO	DESCRIPCIÓN	Ø	ZONAS DE PLANIFICACIÓN (m)									
				RADIACIÓN TERMICA Kw/m ²			SOBREPRESIÓN psi			TOXICO ppm H ₂ S			
				7.27	5.0	1.6	2.4	1.0	0,3	100	30	0.1	
41	L29	Fuga/ruptura en la alimentación del Depurador de Gas de Manto (Blanketing)	P	**	2.0	4.5	**	**	**	**	**	**	
			M	8.2	8.3	9.5	**	**	**	**	**	**	
			G	9.5	10.1	13.2	**	**	3.4	**	**	**	
42	VT6	Fuga/ruptura en el tope del Depurador de Gas de Manto (Blanketing)	P	**	1.8	4.4	**	**	**	**	**	**	
			M	7.7	8.1	9.6	**	**	**	**	**	**	
			G	10.1	10.9	14.4	**	**	3.3	**	**	**	
43	VB6	Fuga/ruptura en el fondo del Depurador de Gas de Manto (Blanketing)	P	10.1	10.8	13.8	**	**	24.0	**	**	**	
			M	18.0	20.0	28.6	**	**	41.4	**	**	**	
			G	21.1	23.7	35.2	**	**	39.5	**	**	**	
44	L30	Fuga/ruptura en la alimentación al KOD de Baja Presión	P	**	**	**	**	**	**	**	**	4.7	
			M	1.2	**	**	**	**	**	**	**	**	7.7
			G	7.8	5.3	**	**	**	6.3	**	**	**	**
45	VT7	Fuga/ruptura en el tope del KOD de Baja Presión	P	**	**	**	**	**	**	**	**	**	
			M	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
			G	**	2.9	7.5	**	4.6	**	**	**	**	**
46	VB7	Fuga/ruptura en el fondo del KOD de Baja Presión	P	8.3	9.3	**	**	**	**	**	**	**	
			M	10.1	11.1	16.7	**	**	**	**	**	**	
			G	16.0	10.7	9.7	3.0	**	**	**	**	**	
47	L31	Fuga/ruptura en la descarga de la Bomba de Condensado del KOD de Baja Presión	P	27.3	18.0	16.0	**	**	**	**	**	**	
			M	19.8	22.4	33.9	**	**	4.7	**	**	**	
			G	19.8	22.4	33.9	**	**	6.1	**	**	**	
48	L32	Fuga/ruptura en la alimentación al Depurador de Entrada de la Unidad Recuperadora de Vapor	P	**	**	**	**	**	**	**	**	4.7	
			M	1.1	**	**	**	**	**	**	**	**	7.7
			G	7.4	5.1	**	**	**	5.8	**	**	**	**

N° DE ESCENA RIO	CÓDIGO DE ESCENA RIO	DESCRIPCIÓN	Ø	ZONAS DE AFECTACIÓN (m)								
				RADIACIÓN TÉRMICA Kw/m ²			SOBREPRESIÓN psi			TOXICO ppm H ₂ S		
				7.27	5.0	1.6	2.4	1.0	0,3	100	30	0.1
49	VT8	Fuga/ruptura en el tope del Depurador de Entrada de la Unidad Recuperadora de Vapor	P	**	**	**	**	**	**	**	**	**
			M	**	**	**	**	**	**	**	**	1.1
			G	3.9	7.5	**	**	**	4.6	**	**	**
50	VB8	Fuga/ruptura en el fondo del Depurador de Entrada de la Unidad Recuperadora de Vapor	P	7.1	6.7	6.6	**	**	**	**	**	38.9
			M	11.2	11.3	13.7	**	**	3.0	**	**	56.4
			G	20.2	13.7	12.2	**	**	18.5	**	**	**
51	L33	Fuga/ruptura en la descarga de los compresores de la Unidad Recuperadora de Vapor	P	7.3	7.3	7.4	**	**	**	**	**	53.6
			M	16.7	13.3	13.2	**	**	6.9	**	**	76.3
			G	12.5	13.9	20.0	**	**	14.8	**	**	**
52	VT9	Fuga/ruptura en la descarga del enfriador de gas de la Unidad Recuperadora de Vapor	P	7.3	7.1	7.1	**	**	**	**	**	12.2
			M	12.8	13.4	16.7	**	**	4.8	**	**	26.8
			G	13.5	15.0	21.7	**	**	8.1	**	**	**
53	VB9	Fuga/ruptura en el tope del Depurador de Salida de la Unidad Recuperadora de Vapor	P	19.0	21.5	32.5	**	**	5.8	**	**	**
			M	19.6	22.1	33.5	**	**	18.2	**	**	**
			G	19.1	21.6	32.8	**	**	27.2	**	**	**
54	L34	Fuga/ruptura en el cabezal de condensados generados en la Unidad Recuperadora de Vapor	P	11.8	13.1	20.0	**	**	**	**	**	**
			M	11.8	13.1	20.0	**	**	**	**	**	**
			G	11.8	13.1	20.0	**	**	**	**	**	**
55	L35	Fuga/ruptura en la alimentación al KOD del Sistema de Alivio de Alta Presión	P	**	1.5	3.9	**	**	**	**	**	**
			M	6.8	6.8	7.3	**	**	**	**	**	**
			G	9.6	10.4	14.3	**	**	**	**	**	**
56	VT10	Fuga/ruptura en el tope del KOD de Alta Presión	P	**	1.6	4.1	**	**	**	**	**	**
			M	**	3.0	7.4	**	**	**	**	**	**
			G	11.3	12.6	17.7	**	**	4.7	**	**	**

N° DE ESCENA RIO	CÓDIGO DE ESCENA RIO	DESCRIPCIÓN	Ø	ZONAS DE AFECTACIÓN (m)								
				RADIACIÓN TERMICA Kw/m ²			SOBREPRESIÓN psi			TOXICO ppm H ₂ S		
				7.27	5.0	1.6	2.4	1.0	0,3	100	30	0.1
57	VB10	Fuga/ruptura en el fondo del KOD de Alta Presión	P	17.4	19.6	30.4	**	**	7.3	**	**	**
			M	29.9	34.4	53.3	**	**	29.2	**	**	**
			G	50.1	57.0	87.6	**	**	**	**	**	**
58	L36	Fuga/ruptura en la descarga de la Bomba de Condensado generado en el KOD de Alta Presión	P	14.1	15.7	24.2	**	**	21.2	**	**	**
			M	23.5	26.7	40.8	**	**	30.9	**	**	**
			G	23.6	26.8	40.9	**	**	34.4	**	**	**
59	L37	Fuga/ruptura en la descarga del tanque de Crudo Recuperado	P	8.4	9.3	13.7	**	**	**	**	**	**
			M	10.7	12.2	18.2	**	**	**	**	**	**
			G	10.7	12.2	18.2	**	**	**	**	**	**
60	L38	Fuga/ruptura en la descarga de las bombas de Crudo Recuperado	P	8.8	9.9	14.5	**	**	**	**	**	**
			M	9.8	11.1	16.5	**	**	**	**	**	**
			G	9.8	11.1	16.5	**	**	**	**	**	**

Nota:

Ø = Diametro de orificio de fuga.

P = Ruptura pequeña (¼").

M = Ruptura mediana (1").

G = Ruptura grande (6").

--- = Diametro de Orificio no aplica.

** = Valor no alcanzado para el nivel de daño indicado.

ANEXO IV

CARACTERÍSTICAS DE LOS ESCENARIOS ACCIDENTALES

N° de Escenario	Código de Escenario	Equipo	Temp. (F)	Presión (psia)	Fase	Flujo Normal	Volumen m ³	Diámetro de Tubería
1	L1	-	140	75	M	40.592 BPD 13,42 MMSCFD	-	16"
2	L2	V – 1101 A/B	140	75	M	20.296 BPD 6,71 MMSCFD	-	12"
3	VT1	V – 1101 A/B	140	75	G	6,71 MMSCFD	252,5	8"
4	VB1	V – 1101 A/B	140	75	L	20.296 BPD	252,5	8"
5	L3	V – 1101 A/B	133,7	20	G	1,10 MMSCFD	-	8"
6	L4	V – 1101 A/B	140	75	G	5,51 MMSCFD	-	8"
7	VT2	V – 1101 A/B	139,8	65	G	0,08 MMSCFD	40,0	3"
8	VB2	V – 1101 A/B	139,8	65	L	20.262 BPD	40,0	6"
9	L5	-	139,8	65	G	0,17 MMSCFD	-	8"
10	L6	-	133,6	14,7	L	40.095 BPD	-	10"
11	L7	V – 1401 A/B	133,6	14,7	L	20.047,5 BPD	-	10"
12	VT3	V – 1401 A/B	133,6	14,7	G	0,8 MMSCFD	74,5	16"
13	VB3	V – 1401 A/B	133,6	14,7	L	20.047,5 BFD	74,5	10"
14	L8	-	133,6	14,7	G	1,59 MMSCFD	-	16"
15	L9	T – 1401 A/B	133,6	14,7	L	20.047,5 BPD	3.229,3	16"
16	T1	T – 1401 A/B	133,5	14,7	L	0	-	8"
17	L10	-	133,5	14,7	L	40.095 BPD	-	16"
18	L11	P – 1401 A/B	133,5	14,7	L	20.047,5 BPD	-	10"
19	L12	P – 1401 A/B	133,5	64,3	L	20.047,5 BPD	-	4"
20	L13	-	133,5	64,3	L	40.095 BPD	-	10"

ANÁLISIS DE RIESGOS PARA LA
PLANTA DE TRATAMIENTO DE CRUDO DE ECUADORTLC S.A.

N° de Escenario	Código de Escenario	Equipo	Temp. (F)	Presión (psia)	Fase	Flujo Normal	Volumen m3	Diámetro de Tubería
21	L14	-	133,5	64,3	L	20.047,5 BPD	-	10"
22	L15	-	133,5	64,3	L	40.095 BPD	-	10"
23	L16		133,5	64,3	L	20.047,5 BPD	-	8"
24	L17	P – 1402 A/B	135,9	765	L	20.047,5 BPD	-	3"
25	L18	-	135,9	765	L	40.095 BPD	-	10"
26	L19	-	135,9	765	L	40.095 BPD	-	12"
27	T2	T – 1402	133	14,7	L	0	-	8"
28	L20	T – 1402	133	14,7	L	319 GPM	3.229,3	8"
29	L21	P – 1403 A/B	133	75	L	319	-	4"
30	VB4	V - 1607	140	75	L	0	0,7	6"
31	L22	-	139	65	L	4,6 BPD	-	3"
32	L23	T 1607	139	14,7	L	10 GPM	87,2	3"
33	T3	T - 1607	139	14,7	L	0	-	8"
34	L25	P – 1615 A/B	139	14,7	L	10 GPM	-	2"
35	D1	V – 1601	100	14,7	L	55 GPM	308,9	8"
36	L26	P – 1605 A/B	100	64,7	L	55 GPM	-	2"
37	L27	-	140	75	G	11,22 MMSCFD	-	10"
38	L28	-	140	75	G	9 MMSCFD	-	10"
39	VT5	V – 1610	140	75	G	9 MMSCFD	5,6	10"
40	VB5	V – 1610	140	75	L	0	5,6	2"
41	L29	-	140	75	G	2,22 MMSCFD	-	4"
42	VT6	V - 1602	140	75	G	2,22 MMSCFD	1,2	4"

ANÁLISIS DE RIESGOS PARA LA
PLANTA DE TRATAMIENTO DE CRUDO DE ECUADORTLC S.A.

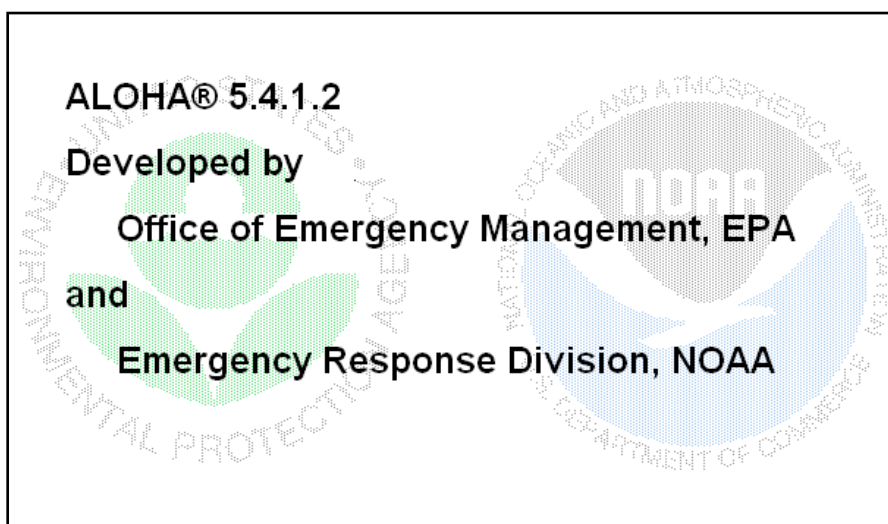
N° de Escenario	Código de Escenario	Equipo	Temp. (F)	Presión (psia)	Fase	Flujo Normal	Volumen m ³	Diámetro de Tubería
43	VB6	V - 1602	140	75	L	0	1,2	2"
44	L30	-	133,6	14,7	G	1,76 MMSCFD	-	16"
45	VT7	V - 1210	133,6	14,7	G	1,76 MMSCFD	5,6	16"
46	VB7	V - 1210	133,6	14,7	G	0	5,6	3"
47	L31	P – 1210 A/B	133,6	44,7	L	20 GPM	-	2"
48	L32	-	133,7	14,7	G	875 SCFM	-	12"
49	VT8	PV 51	133,7	14,7	G	875 SCFM	1,0	12"
50	VB8	C – 1 / C - 2	275	66	G	875 SCFM	-	6"
51	L33	Gas - 1	120	65	G	875 SCFM	-	4"
52	VT9	F 86	120	65	G	677 SCFM	2,3	4"
53	VB9	F 86	120	65	L	86 BPD	2,3	2"
54	L34	-	120	65	L	87 BPD	-	2"
55	L35	-	133,7	34,7	G	2,20 MMSCFD	-	16"
56	VT10	V - 1211	133,7	34,7	G	2,20 MMSCFD	27,2	16"
57	VB10	V - 1211	133,7	34,7	L	0	27,2	4"
58	L36	P – 1211 A/B	133,7	64,7	L	50 GPM	-	3"
59	L37	V - 1303	100	14,7	L	10 GPM	8,0	2"
60	L38	P – 1304 A/B	100	64,7	L	10 GPM	-	2"

ANEXO V

ALOHA® 5.4.1.2

AREAL LOCATIONS OF HAZARDOUS ATMOSPHERES

Para realizar el cálculo de consecuencias se utilizó el programa informático ALOHA® 5.4.1.2 (Areal Locations of Hazardous Atmospheres – Ubicaciones Zonales de Atmósferas Peligrosas), desarrollado por la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) y la EPA (Environmental Protection Agency), la elección responde a la especial ventaja de estar disponible en internet, por lo que facilita su uso a especialistas o personas interesados en estos temas.



Pantalla de Inicio Programa ALOHA [11]

Además de la ventaja citada cabe destacar las siguientes:

- Está específicamente diseñado para su aplicación a escenarios accidentales, pudiendo simular emisiones desde tuberías y recipientes utilizados en la industria o derrames que forman charcos y la simultánea dispersión, tanto de nubes neutras como pesadas.
- Dispone de una amplia base de datos de sustancias peligrosas y permite la introducción de otras.

- Permite la obtención de perfiles concentración-tiempo de las nubes en los puntos requeridos.

Como limitaciones podemos nombrar que los resultados de ALOHA pueden ser pocos confiables cuando existen las siguientes condiciones:

- Velocidades de viento muy bajas.
- Condiciones atmosféricas muy estables.
- Cambios de viento y efectos de conducción del terreno.
- Desigualdad de concentraciones, particularmente cerca de la fuente del terreno.
- El modelo no permite operar partículas o mezclas de sustancias.

La secuencia normal para el uso del programa ALOHA se compone de los siguientes pasos básicos:

- Seleccione el lugar donde ocurriendo la descarga accidental, la hora y la fecha del accidente.
- Elija el producto químico de la base de datos químicos de ALOHA.
- Introduzca información sobre las condiciones meteorológicas del lugar del accidente.
- Describa de que forma el producto químico se escapa de su contenedor.
- Ejecute el programa y seleccione las opciones que muestran una o más zonas peligrosas por su toxicidad, inflamabilidad, radiación térmica o sobrepresión y ser una amenaza para las personas e instalaciones.

Secuencia de Ejecución del Programa ALOHA

A continuación revisaremos la secuencia de ejecución y entrada de datos:

- **Localización geográfica del accidente:** El programa dispone de una base de datos que contiene las ciudades más importantes de los Estados Unidos, pudiendo también incluir cualquier otra ubicación que necesitemos, Figura. V.1:

Location Input

Enter full location name:
Location is

Is location in a U.S. state or territory ?
 In U.S. Not in U.S.

Enter approximate elevation
Elevation is ft m

Enter approximate location

	deg.	min.		
Latitude	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input checked="" type="radio"/> N	<input type="radio"/> S
Longitude	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="radio"/> E	<input checked="" type="radio"/> W

Figura N°V.1 Datos solicitados para la localización geográfica [11]

- **Incidencia en el interior:** Si se desea determinar las concentraciones de la sustancia fugada en el interior de un edificio se selecciona la opción “Building Type” de la barra de herramientas y se introduce los datos indicados en la figura V.2.
- **Fecha y hora del accidente:** Esta información junto con la localización geográfica sirve para determinar la altura solar, necesaria para que el programa establezca la clase de estabilidad atmosférica. Se puede seleccionar la fecha y hora actual utilizando el reloj interno del computador donde se encuentra instalado el programa o cualquier otra especificada por el usuario figura V.3.

Infiltration Building Parameters

Select building type or enter exchange parameter

Enclosed office building

Single storied building

Double storied building

No. of air changes is per hour

Select building surroundings

Sheltered surroundings (trees, bushes, etc.)

Unsheltered surroundings

Figura N°V.2 Datos solicitados para la incidencia en el interior de edificios [11]

Date and Time Options

You can either use the computer's internal clock for the model's date and time, or set a constant date and time.

Use internal clock Set a constant time

Input a constant date and time :

Month	Day	Year	Hour	Minute
<input type="text" value="10"/>	<input type="text" value="24"/>	<input type="text" value="2009"/>	<input type="text" value="22"/>	<input type="text" value="26"/>
(1 - 12)	(1 - 31)	(1900 - ...)	(0 - 23)	(0 - 59)

Figura N°V.3 Datos solicitados para definir Fecha y Hora del accidente [11]

- **Sustancia Involucrada:** La base de datos cuenta con más de ochocientas sustancias y permite la introducción de cualquier otra, solicitando para ello los datos que aparecen en la figuraV.4.

The screenshot shows a software dialog box titled "Input Available Information". It has a light blue header. Below the header, there are two input fields: "Chemical Name:" followed by an empty text box, and "Molecular Weight:" followed by an empty text box and the unit "g/mol". Below these is a list box containing the following items: AEGL-1 (highlighted in blue), AEGL-2, AEGL-3, Boiling Point (normal), Critical Pressure, Critical Temperature, Default LOC-1 (Yellow), Default LOC-2 (Orange), Default LOC-3 (Red), Density (gas), and ERPG-1. To the right of the list box is a label "AEGL-1 (60 minute) Value:" followed by an empty text box and a dropdown menu currently showing "ppm". At the bottom of the dialog are four buttons: "Next Field", "OK", "Cancel", and "Help".

Figura N°V.4 Datos solicitados para incorporar una nueva sustancia [11]



- **Opciones Atmosféricas:** Las variables meteorológicas solicitadas por el programa para establecer internamente la clase de estabilidad se muestran en la figura V.5 y V.6.
- **Datos para determinar la masa o caudal de fuga:** Las opciones disponibles son las siguientes:
 - **Directa:** este caso se utiliza cuando el usuario conoce la cantidad o caudal emitido introduciendo dicho dato de forma directa. Figura V.7
 - **Charco:** se introducen los datos necesarios para que el programa determine el caudal de emisión evaporado. Figura V.8
 - **Tanque:** se escoge una de las alternativas de las distintas geometrías de tanques, estado de la sustancia y forma del orificio de fuga. Figura V.9
 - **Tubería:** se introduce las distintas alternativas de diámetro, longitud, presión y temperatura. Figura V.10.

Atmospheric Options

Wind Speed is : knots mph meters/sec

Wind is from : Enter degrees true or text (e.g. ESE)

Measurement Height above ground is:




  OR enter value : feet meters

Ground Roughness is :

Open Country Urban or Forest OR Input Roughness [Z₀] :

Open Water

Select Cloud Cover :

   OR enter value : [0 - 10]

complete cover partly cloudy clear

Figura N°V.5 Datos para establecer la estabilidad atmosférica [11]

Atmospheric Options 2



Air Temperature is : Degrees F C

Stability Class is : A B C D E F

Inversion Height Options are :

No Inversion Inversion Present, Height is : feet meters

Select Humidity :

   OR enter value : % [0 - 100]

wet medium dry

Figura N°V.6 Datos para establecer la estabilidad atmosférica [11]

Direct Source

Select source strength units of mass or volume: Help

grams kilograms pounds tons(2,000 lbs)

cubic meters liters cubic feet gallons

Select an instantaneous or continuous source: Help

Instantaneous source Continuous source

Enter the amount of pollutant ENTERING THE ATMOSPHERE: Help

pounds

Enter source height (0 if ground source): feet meters Help

OK Cancel

Figura N°V.7 Datos para determinar la masa de fuga de una fuente directa [11]

Puddle Input

Puddle area diameter is: square feet yards meters

Select one and enter appropriate data

Volume of puddle

Average depth of puddle

Mass of puddle

Volume is: gallons liters

cubic feet cubic meters

OK Cancel Help

Figura N°V.8 Datos para determinar la masa de fuga desde un charco [11]

Tank Size and Orientation

Select tank type and orientation:

Horizontal cylinder Vertical cylinder Sphere

Enter two of three values:

diameter feet meters
 length gallons cu feet
 volume

Figura N°V.9 Datos para determinar la masa de fuga desde un Tanque [11]

Gas Pipeline Input

Input pipe diameter

Diameter is inches cm

Input pipe length

Pipe length is ft yds meters

The unbroken end of the pipe is

connected to infinite tank source
 closed off

Select pipe roughness

Smooth Pipe
 Rough Pipe

Figura N°V.10 Datos para determinar la masa de fuga desde una Tubería [11]

- **Selección del tipo de nube:** el programa puede seleccionar el tipo de nube (neutra o pesada) o el propio usuario puede establecer el modelo de dispersión que quiera aplicar. Figura V.11.
- **Posición de la Concentración y la dosis:** las alternativas para establecer la posición del punto donde se pretende determinar la concentración y la dosis se muestran en la figura V.12.

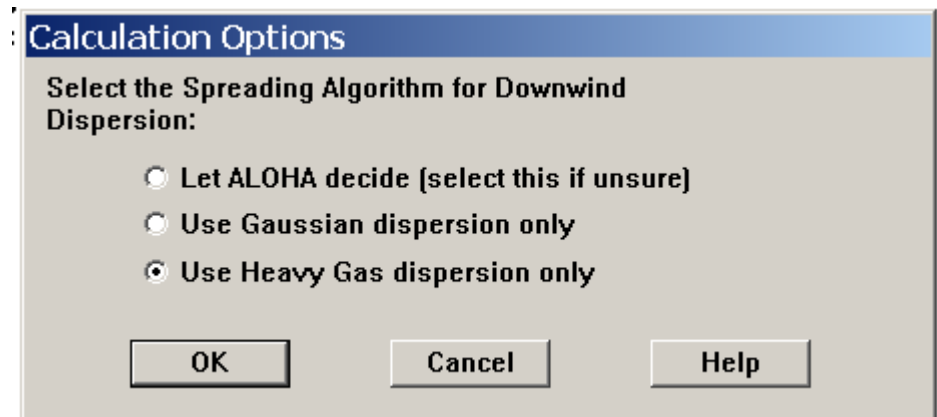


Figura N°V.11 Selección del tipo de nube [11]

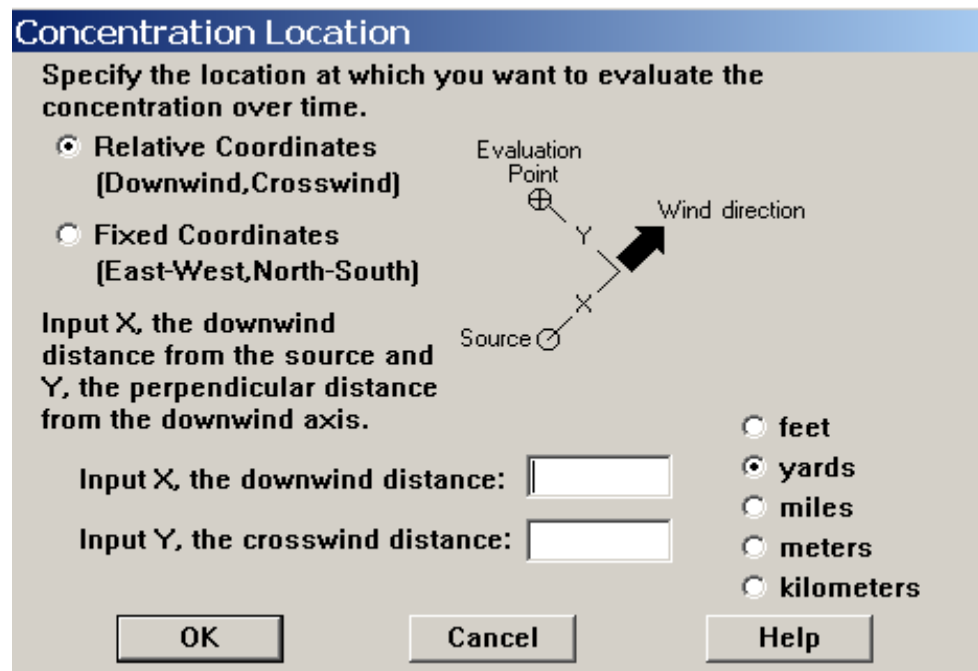


Figura N°V.12 Datos para determinar la posición de la concentración y la dosis [11]

Presentación de Resultados Programa ALOHA

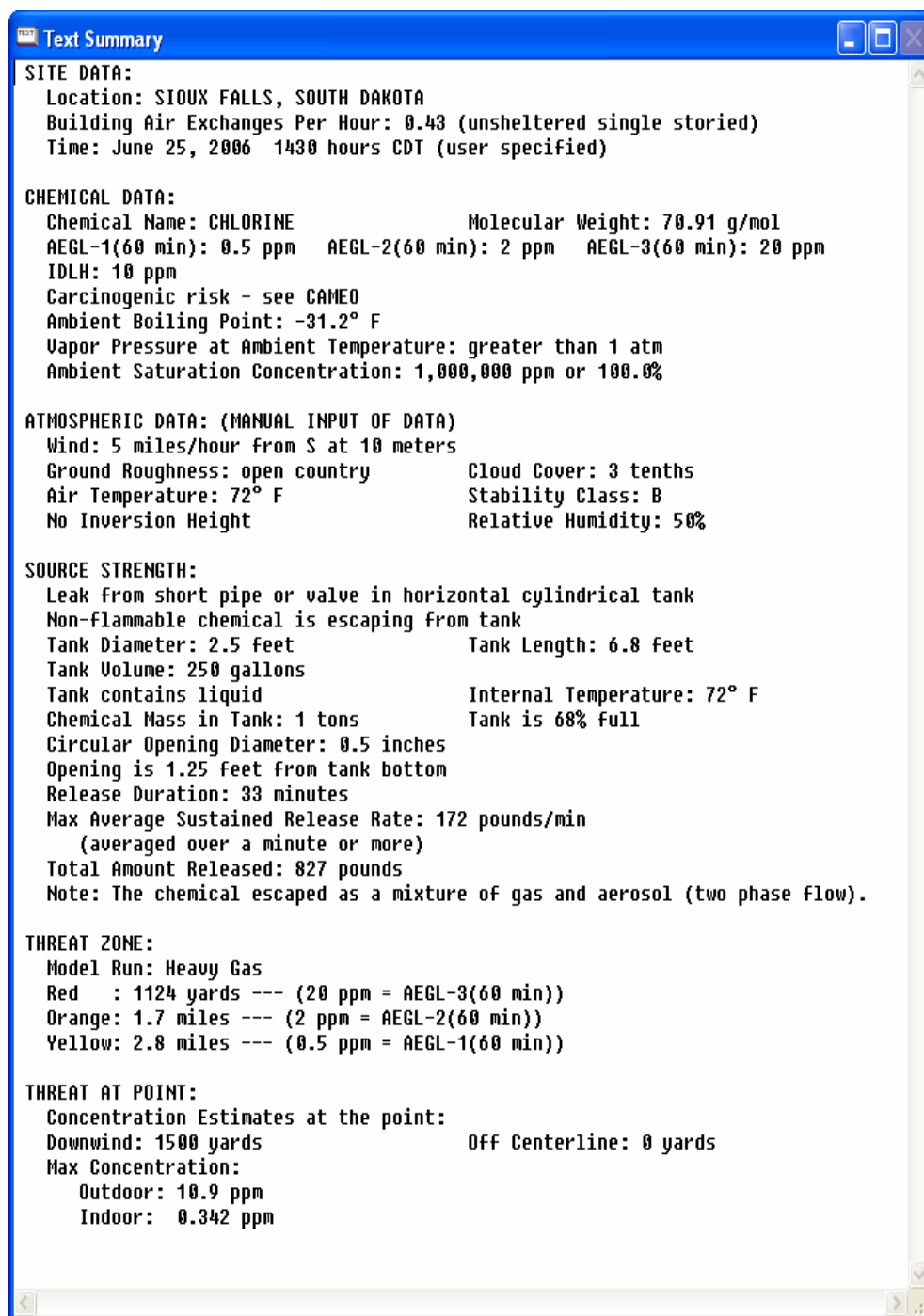
El programa ALOHA presenta los datos en forma de texto y en forma gráfica. En la Figura V.13 se muestra los resultados de texto proporcionado por el programa ALOHA que incluye la siguiente información:

Datos Introducidos o Internos:

- **Información sobre el lugar:** localización, número de renovaciones/hora, fecha y hora.
- **Información sobre la sustancia:** nombre, masa molecular, TLV-TWA, IDLH, concentración mínima de referencia, punto de ebullición, presión de vapor y concentración de saturación.
- **Información atmosférica:** velocidad y dirección del viento y altura de medida, persistencia o no de inversión, clase de estabilidad, temperatura y humedad relativa, rugosidad del terreno y cobertura de las nubes.
- **Intensidad de la fuente:** capacidad y forma del recipiente, forma y tamaño del orificio de fuga, duración del escape, etc.

Resultados:

- **Información sobre la emisión:** caudal, duración, altura de la emisión y cantidad total fugada.
- **Información complementaria:** tipo de nube (neutra o pesada), concentración mínima de referencia, alcance máximo de la concentración.
- **Información dependiente del tiempo:** concentración y dosis emitida en el punto seleccionado, concentraciones y dosis máximas en el exterior o interior del edificio.



```
Text Summary
SITE DATA:
Location: SIOUX FALLS, SOUTH DAKOTA
Building Air Exchanges Per Hour: 0.43 (unsheltered single storied)
Time: June 25, 2006 1430 hours CDT (user specified)

CHEMICAL DATA:
Chemical Name: CHLORINE Molecular Weight: 70.91 g/mol
AEGL-1(60 min): 0.5 ppm AEGL-2(60 min): 2 ppm AEGL-3(60 min): 20 ppm
IDLH: 10 ppm
Carcinogenic risk - see CAMEO
Ambient Boiling Point: -31.2° F
Vapor Pressure at Ambient Temperature: greater than 1 atm
Ambient Saturation Concentration: 1,000,000 ppm or 100.0%

ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)
Wind: 5 miles/hour from S at 10 meters
Ground Roughness: open country Cloud Cover: 3 tenths
Air Temperature: 72° F Stability Class: B
No Inversion Height Relative Humidity: 50%

SOURCE STRENGTH:
Leak from short pipe or valve in horizontal cylindrical tank
Non-flammable chemical is escaping from tank
Tank Diameter: 2.5 feet Tank Length: 6.8 feet
Tank Volume: 250 gallons
Tank contains liquid Internal Temperature: 72° F
Chemical Mass in Tank: 1 tons Tank is 68% full
Circular Opening Diameter: 0.5 inches
Opening is 1.25 feet from tank bottom
Release Duration: 33 minutes
Max Average Sustained Release Rate: 172 pounds/min
(averaged over a minute or more)
Total Amount Released: 827 pounds
Note: The chemical escaped as a mixture of gas and aerosol (two phase flow).

THREAT ZONE:
Model Run: Heavy Gas
Red : 1124 yards --- (20 ppm = AEGL-3(60 min))
Orange: 1.7 miles --- (2 ppm = AEGL-2(60 min))
Yellow: 2.8 miles --- (0.5 ppm = AEGL-1(60 min))

THREAT AT POINT:
Concentration Estimates at the point:
Downwind: 1500 yards Off Centerline: 0 yards
Max Concentration:
Outdoor: 10.9 ppm
Indoor: 0.342 ppm
```

Figura N°V.13 Resultados de Texto del Programa ALO HA [11]

Resultados Gráficos:

- **Zonas de Atención LOC's:** Level Of Concern en el diagrama x-y Figuras V.14, V.15 y V.16.

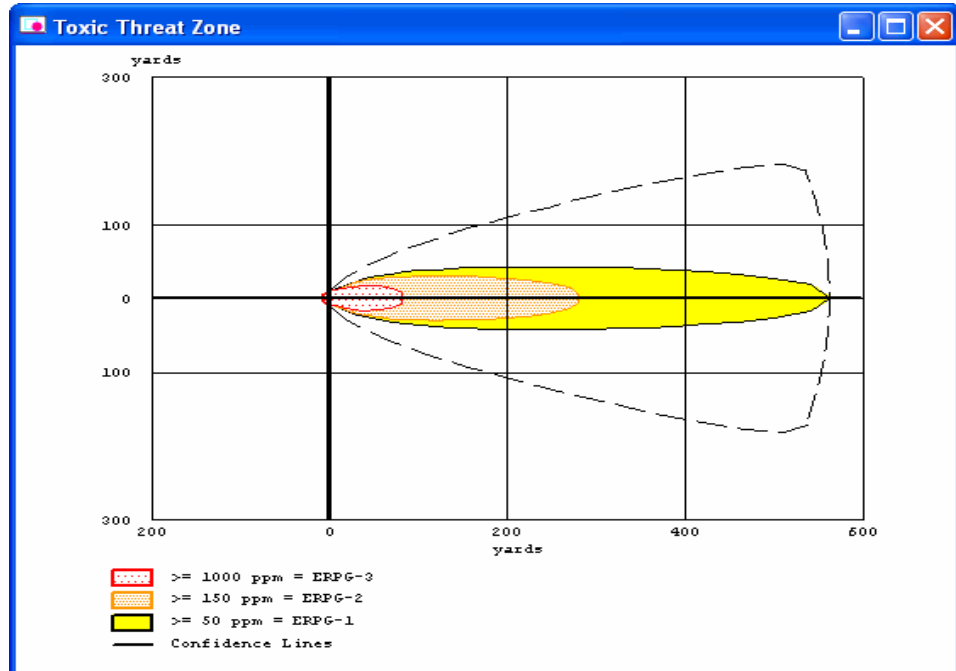


Figura N°V.14 Zona de Concentración Tóxica [11]

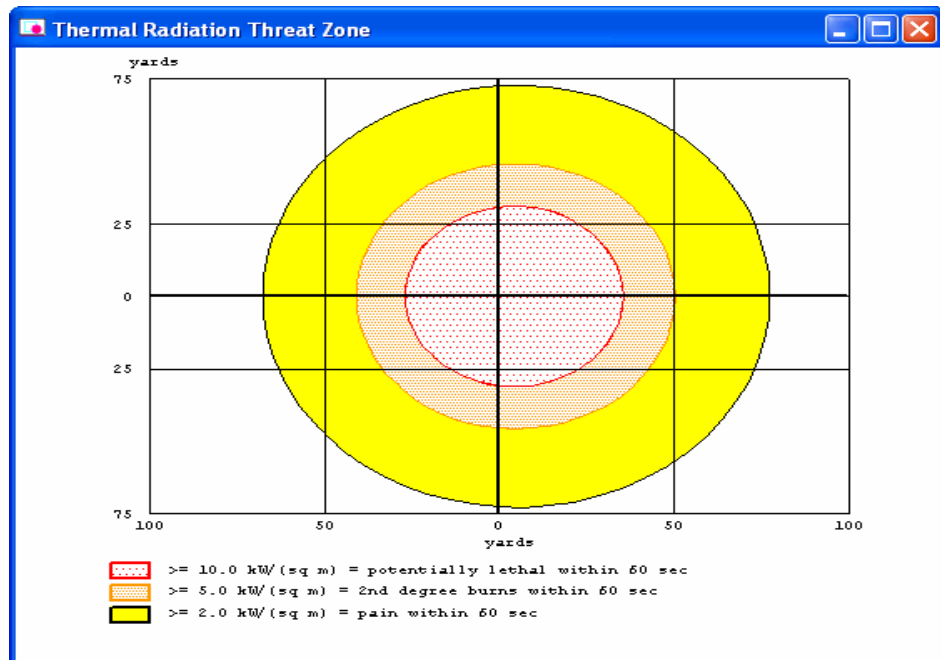


Figura N°V.15 Zona de Radiación Térmica [11]

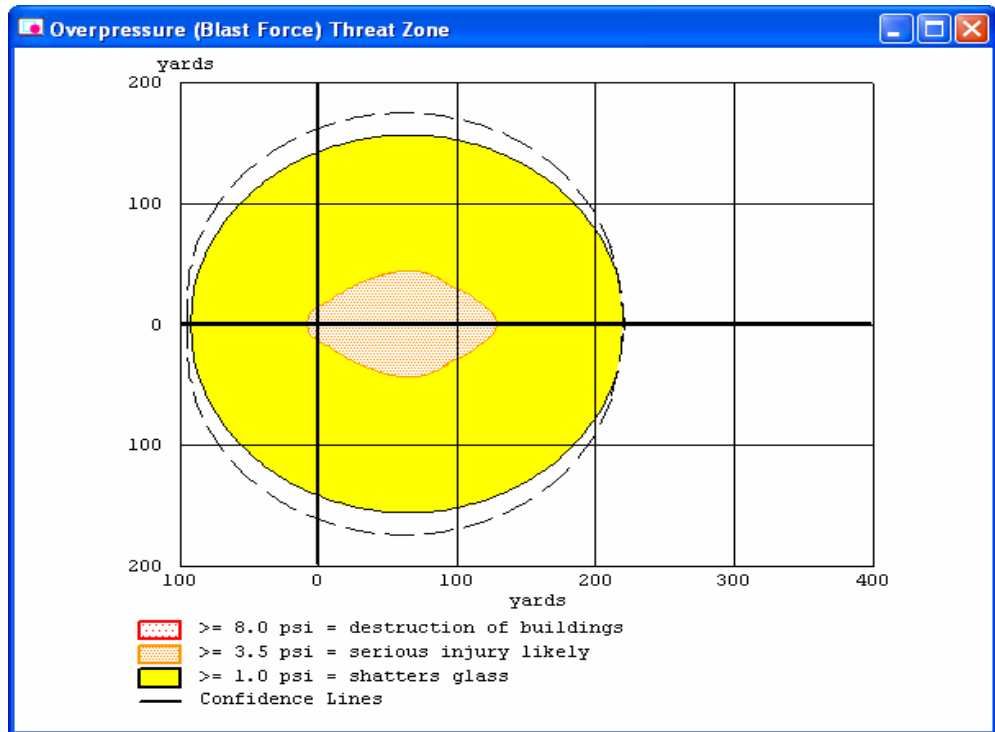


Figura N°V.16 Zona de Sobrepresión [11]

ANEXO VI

RIESGO QUÍMICO - ACCIDENTES GRAVES SULFURO DE HIDRÓGENO

1. IDENTIFICACIÓN DE LA SUSTANCIA

Nombre químico: Sulfuro de hidrógeno

Sinónimos: Ácido sulfhídrico

SÍMBOLOS; FRASES DE RIESGO	Nº CAS	Nº EC	Nº NU
F+, T+, N R: 12-26-50 S: 1/2-9-16-36-38-45-61	7783-06-4	231-977-3	1053

F+: Extremadamente inflamable

T+: Muy tóxico

N: Peligroso para el medio ambiente

R 12-26-50: Extremadamente inflamable. Muy tóxico por inhalación. Muy tóxico para los organismos acuáticos.

S 1/2-9-16-36-38-45-61: Consérvese bajo llave y manténgase fuera del alcance de los niños. Consérvese el recipiente en lugar bien ventilado. Conservar alejado de toda llama o fuente de chispas - No fumar. Úsese indumentaria protectora adecuada. En caso de ventilación insuficiente, úsese equipo respiratorio adecuado. En caso de accidente o malestar, acúdase inmediatamente al médico (si es posible, muéstresele la etiqueta). Evítese su liberación al medio ambiente. Recábense instrucciones específicas de la ficha de datos de seguridad.

Breve descripción de la sustancia

El sulfuro de hidrógeno, a temperatura ambiente, es un gas incoloro, inflamable con un olor a huevos podridos. Bajo presión o a temperaturas por debajo de -60°C es un líquido claro, incoloro. Es moderadamente soluble en agua.

Usos de la sustancia

El sulfuro de hidrógeno es usado o se encuentra en granjas (generalmente como desinfectante agrícola), en la elaboración de la cerveza, en curtidos, fabricación de pegamentos, vulcanizado de goma, procesos de recuperación de metales, exploración y procesamiento del petróleo y gas, en la fabricación de rayón o seda artificial, en litografía y fotograbado, en las plantas de preparación de las pieles y fabricación de fieltro, en hornos de fertilizantes, factorías de azúcar de remolacha, química analítica y producción de tintes.

2. IDENTIFICACIÓN DE LOS PELIGROS

Incendio: Extremadamente inflamable.

Explosión: Las mezclas gas/aire son explosivas.

Exposición:

- **Inhalación** La mayor parte de las exposiciones ocurren por inhalación. El olor del sulfuro de hidrógeno y sus propiedades irritantes se pueden percibir fácilmente; pero no proporcionan una alarma de concentraciones peligrosas. Los niveles moderados de exposición dan como resultado una pérdida olfatoria. El sulfuro de hidrógeno es más pesado que el aire y puede causar asfixia en espacios poco ventilados, situados a niveles bajos o cerrados.
- **Ingestión** La ingestión de sulfuro de hidrógeno no es probable, porque es un gas a temperatura ambiente.
- **Contacto con la piel** El contacto directo con sulfuro de hidrógeno líquido o gas sobre la piel mojada o húmeda puede causar irritación. El contacto directo con el líquido puede provocar congelación.
- **Contacto con los ojos** El contacto directo con sulfuro de hidrógeno líquido o gas sobre las membranas mucosas de los ojos puede causar irritación. Puede causar enrojecimiento, dolor y quemaduras profundas graves.

6 EFECTOS PARA LA SALUD

- **Aparato Respiratorio:** La exposición al sulfuro de hidrógeno produce generalmente dolor de cabeza, náuseas, vértigo, mareos, debilidad, desorientación, hipotensión e irritación respiratoria. La lesión pulmonar puede progresar a lo largo de algunas horas. La intoxicación grave con sulfuro de hidrógeno puede causar inconsciencia, fallo respiratorio y cardiovascular. Es característico el ataque rápido de inconsciencia, “caer al suelo”, de individuos gravemente expuestos. Los pacientes que vuelven a despertarse pueden experimentar un síndrome confusional agudo, con agitación y confusión.
- **Sistema ocular** La exposición a **bajas concentraciones** de sulfuro de hidrógeno gas causa molestias por quemadura, parpadeo espasmódico o cierre involuntario de los párpados, enrojecimiento y lagrimeo. Pueden aparecer opacidades en la córnea a **altas concentraciones** o exposición repetida.
- **Sistema dérmico** Si la piel está mojada o húmeda el contacto con gas de sulfuro de hidrógeno puede causar irritación. El contacto con sulfuro de hidrógeno líquido bajo presión puede dar lugar a congelación.

Concentración de sulfuro de hidrógeno	Efecto
0,03-0,28 mg/m ³ (0,02-0,2 ppm)	Detección de olor (desarrolla alguna tolerancia)
70-209 mg/m ³ (50-150 ppm)	Irritación de los ojos y respiratoria, parálisis olfatoria
279-697 mg/m ³ (200-500 ppm)	Bronquitis, dolor de cabeza, mareo, tambaleos
697-1395 mg/m ³ (500-1000 ppm)	Edema pulmonar, depresión respiratoria, inconsciencia
1395-2092 mg/m ³ (1000-1500 ppm)	Colapso rápido, parálisis respiratoria, mortal en algunos minutos
2510-6973 mg/m ³ (1800-5000 ppm)	Mortal inmediatamente

Si el paciente sobrevive las primeras 48 horas después de la exposición, es probable la recuperación. Después de una exposición aguda, la función pulmonar vuelve a su estado normal en 7 a 14 días. Es habitual la recuperación completa; sin embargo, los síntomas y deficiencias pulmonares pueden mantenerse. La hiperactividad de las vías respiratorias a irritantes no específicos pueden persistir, resultando en broncospasmos e inflamación crónica de los bronquios. El síndrome de disfunción de las vías respiratorias reactivas puede persistir durante años. Las secuelas de cicatrices y destrucción en el tejido pulmonar pueden conducir a una dilatación crónica de los bronquios y a una gran susceptibilidad de infección. Pueden producirse secuelas neurológicas como resultado de la insuficiencia respiratoria.

7 ACCIONES

Instrucciones Generales

- Antes de aproximarse al paciente, los asistentes técnicos sanitarios y médicos deben asegurarse que no se exponen ellos mismos al riesgo del sulfuro de hidrógeno.
- Los pacientes expuestos sólo al gas de sulfuro de hidrógeno no suponen un riesgo significativo de contaminación secundaria. Los pacientes cuya ropa o piel estén contaminadas con sulfuro de hidrógeno líquido (punto de ebullición -60°C) pueden contaminar secundariamente al personal de rescate y médico por contacto directo o a través de la evaporación del sulfuro de hidrógeno.
- El gas de sulfuro de hidrógeno es irritante cuando entra en contacto con tejido húmedo, tal como los ojos, piel, y tracto respiratorio superior, y causa dolor de cabeza, náuseas, vértigo, mareos, debilidad, hipotensión y desorientación. Puede producirse laringoespasmos, indicios de edema pulmonar (falta de respiración, cianosis, expectoración, tos), inconsciencia y apnea. Suele ser característico ataques rápidos de inconsciencia, “caer al suelo” de individuos gravemente expuestos.

- No usar el método boca a boca si la víctima a inhalado o ingerido la sustancia

Autoprotección del Socorrista

En situaciones de respuesta que incluyan la exposición a niveles potencialmente insanos de sulfuro de hidrógeno, deberá llevarse puesto un aparato de respiración autónomo y ropa de protección contra productos químicos.

Los pacientes expuestos sólo a gas de sulfuro de hidrógeno no suponen un riesgo significativo de contaminación secundaria. Los pacientes cuya ropa o piel estén contaminadas con sulfuro de hidrógeno líquido, pueden contaminar secundariamente a otras personas por contacto directo o por gasificación del sulfuro de hidrógeno.

Rescate de pacientes

Los pacientes deben ser trasladados inmediatamente de la zona contaminada. Si los pacientes pueden andar, deberían trasladarse por ellos mismos. Los pacientes que no puedan andar, pueden ser trasladados sobre tableros o parihuelas. Si éstas no están disponibles, llevar o arrastrar con cuidado a los pacientes a lugar seguro.

Las prioridades inmediatas deben seguir el “A,B,C” (Vía de aire, Respiración, Circulación) de reanimación.

Descontaminación/Primeros Auxilios

Los pacientes expuestos sólo a gas de sulfuro de hidrógeno que no tienen evidencia de irritación de la piel o de los ojos, no necesitan descontaminación. Todos los demás requieren descontaminación.

Los pacientes que están capacitados y quieren cooperar pueden ayudar a realizar su propia descontaminación. Si la exposición incluía sulfuro de hidrógeno líquido y si la ropa está contaminada, quitar la ropa y ponerla en una bolsa doble.

- **Inhalación:** Aire limpio, reposo. Posición de semiincorporado. Respiración artificial si estuviera indicada. Proporcionar asistencia médica.
- **Ingestión:** EN CASO DE CONGELACION: aclarar con agua abundante, NO quitar la ropa. Proporcionar asistencia médica.

- **Contacto con la piel:** Asegurarse que la piel y pelo expuestos han sido lavados con agua, como mínimo, durante 15 minutos. Secar sin frotar. Proteger los ojos durante el lavado de la piel y del pelo.
- **Contacto con los ojos:** Asegurarse que los ojos expuestos o irritados han sido irrigados con agua o suero fisiológico, como mínimo, durante 20 minutos. Quitar las lentes de contacto, si existen, y extraerlas sin trauma adicional para los ojos.

Tratamiento inicial

En casos de sospecha de una intoxicación por sulfuro de hidrógeno, es crucial la ventilación y administración de oxígeno 100% humectado.

En todos los pacientes inconscientes se recomienda realizar intubación endotraqueal inmediata, si es necesario bajo sedación con benzodiazepina y derivados de la morfina. Debería iniciarse una ventilación mecánica con un FiO₂ de 1.0 (100% de oxígeno), independientemente del análisis del gas en la sangre. Puede ser tolerado durante varias horas un PaO₂ muy alto, tal como 200 mmHg. La administración de oxígeno puede ser considerada como tratamiento de antídoto.

La administración inmediata y muy rápida de antídotos de sulfuro de hidrógeno (pero NO tiosulfato de sodio) puede ser beneficiosa para prevenir una anoxia grave, pero puede ser peligrosa después de un ataque de edema pulmonar, porque el transporte de oxígeno ha disminuido hasta crear una metahemoglobinemia (véase Antídotos más abajo).

Las medidas siguientes son recomendadas si la exposición es **70-209 mg/m³ (50-150 ppm)** (dependiendo del tiempo de exposición), si se han desarrollado los síntomas, p. ej., irritación de los ojos o síntomas pulmonares, o si no puede ser estimada la concentración pero posiblemente se ha producido una exposición: Si no se ha hecho todavía, inicialmente, administrar 8 inhalaciones de beclometasona (800 µg de beclometasona dipropionato) de un inhalador de dosis

calibrada. Después, deberían administrarse 4 inhalaciones cada 2 horas durante 24 horas.

Establecer acceso intravenoso: Si la concentración de la exposición es **279-697 mg/m³ (200-500 ppm)** (dependiendo del tiempo de exposición), se recomienda administrar por vía intravenosa 1.0 g de metilprednisolona (o una dosis equivalente de esteroide).

Nota: La eficacia de la administración de corticosteroides todavía no ha sido probada en estudios clínicos controlados.

Debería considerarse la intubación de la traquea en casos de compromiso respiratorio. Si la condición del paciente impide la intubación endotraqueal, realizar una traqueotomía si se está equipado y formado para hacerlo.

Los pacientes que tienen broncospasmos deberían ser tratados de la forma siguiente:

- a) Agonista adrenérgico β_2 - selectivo aerolizado, p. ej. 4 inhalaciones de salbutamol, o terbutalina, o fenoterol de un inhalador de dosis calibrada (1 inhalación contiene usualmente 0,25 mg de sulfato de terbutalina, ó 0,1 mg de salbutamol, 0,2 mg de fenoterol, respectivamente); puede repetirse una vez cada 10 minutos (son de efecto rápido pero de corta duración). Si la inhalación no es posible, aplicar sulfato de terbutalina (0,25 – 0,5 mg) por vía subcutánea o salbutamol (0,2 – 0,4 mg durante 15 minutos) por vía intravenosa.
- b) Si a) no es efectivo o es insuficiente: teofilina (5 mg/kg de peso del cuerpo por vía intravenosa durante 20 – 30 minutos).
- c) Si a) y b) no son efectivos o son insuficientes: 2 inhalaciones de epinefrina (0,4 mg por inhalación) de un inhalador de dosis calibrada; puede ser repetido después de 5 minutos.

Los pacientes expuestos a una concentración de 70-209 mg/m³ (50-150 ppm) o mayor (dependiendo del tiempo de exposición) y los pacientes sin mediciones disponibles de exposición pero sospechosos de haber estado expuestos a concentraciones de 70-209 mg/m³ (50-150 ppm) o mayores (dependiendo del tiempo de exposición) deberían ser trasladados a un hospital/departamento de emergencias.

Si el sulfuro de hidrógeno ha estado en contacto con la piel húmeda, puede resultar irritación; tratarla como quemadura térmica. Si se ha escapado gas comprimido licuado y entra en contacto con la piel, puede producirse una congelación.

Después de la exposición de los ojos puede resultar irritación; tratarla como quemadura térmica. Consultar a un oftalmólogo.

Nota: Cualquier exposición facial al sulfuro de hidrógeno líquido debería ser considerada como una exposición seria.

Antídotos:

El tratamiento siguiente, con antídotos, debería administrarse bajo supervisión médica a pacientes inconscientes de los que se conoce o sospecha intoxicación por sulfuro de hidrógeno. La administración inmediata y muy rápida de antídotos del sulfuro de hidrógeno (pero NO tiosulfato de sodio) puede ser beneficiosa para prevenir una anoxia grave, pero puede ser peligrosa después de un ataque de edema pulmonar, porque el transporte de oxígeno ha disminuido hasta crear metahemoglobinemia. La efectividad no está probada por ensayos clínicos. La disponibilidad de antídotos puede variar debido a las diferencias legales y reglamentarias entre diferentes países.

Nota: En algunos países se recomienda la administración de 0.2 –0.4 ml de nitrito de amilo vía bolsa Ambu antes del tratamiento siguiente. Si va a ser usado el nitrito de amilo, debería ser administrada una ampolla durante 30 segundos por cada minuto hasta que esté establecido el acceso intravenoso para tratamiento posterior; debería ser omitida cuando exista una buena oxigenación y no haya signos de molestias pulmonares.

Si se dispone de 4-dimetil aminofenol (4-DMAP), debería ser considerado el siguiente método de tratamiento: Administrar inmediatamente 4-DMAP por vía intravenosa, generalmente en una dosis de 3 a 5 mg/Kg de peso del cuerpo (es decir, 1 ampolla de 250 mg de 4-DMAP en un adulto).

Si no se dispone de 4-DMAP, proporcionar una infusión de nitrito de sodio por vía intravenosa lo más rápidamente posible. La dosis usual de un adulto es de 10 a 20 ml de una solución al 3% durante 4 minutos. Observar la presión sanguínea durante la administración de nitrito de sodio, y ralentizar el ritmo de administración de la infusión si se desarrolla hipotensión.

¡ATENCIÓN! En el caso de intoxicación por sulfuro de hidrógeno no debe administrarse tiosulfato de sodio. No tratar la metahemoglobinemia, a no ser que se diera una sobredosis de 4-DMAP o sea revisado el diagnóstico inicial de intoxicación de sulfuro de hidrógeno.

Los pacientes conscientes no deberían recibir ni 4-DMAP ni nitrito de sodio.

8 MEDIDAS EN CASO DE VERTIDO ACCIDENTAL

Precauciones Personales : Traje hermético de protección química incluyendo equipo autónomo de respiración.

Protección del Medio Ambiente: Prevenga la entrada hacia vías navegables o alcantarillas.

Métodos de limpieza Use rocío de agua para reducir los vapores; o desviar la nube de vapor a la deriva. Evite que flujos de agua entren en contacto con el material derramado.

9 INFORMACIÓN ECOLÓGICA

a) Ecotoxicidad : Peces (*Carassius auratus*) LC50 = 0,09 mg/l (96 horas);

b) Persistencia y Degradabilidad : El ácido sulfhídrico es liberado principalmente en forma de gas y se dispersa al aire. Sin embargo, en algunas ocasiones, puede ser liberado en el residuo líquido de una industria o como resultado de un evento natural. Cuando se libera en forma de gas, permanece en la atmósfera durante un promedio de 18 horas. En este período, el ácido sulfhídrico puede transformarse en anhídrido sulfuroso y en

ácido sulfúrico. El ácido sulfhídrico es soluble en agua. En agua forma un ácido débil.

c) **Bioacumulación:** No tiene potencial de bioacumulación

10 CONTROLES DE LA EXPOSICIÓN/PROTECCIÓN PERSONAL

a) Valores Límite De La Exposición

	mg/m ³	ppm
TLV-TWA (ACGIH)		10
TLV-STEL (ACGIH)		15
VLA-ED (España)	14	10
VLA-EC (España)	21	15

b) Controles De La Exposición Profesional

- **Protección Respiratoria:** Ventilación, extracción localizada o protección respiratoria (Véase glosario).
- **Protección Cutánea:** Guantes aislantes del frío.
- **Protección de los Ojos:** Gafas ajustadas de seguridad, o protección ocular combinada con la protección respiratoria.

8. INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

Los AEGLs y ERPGs que se presentan a continuación corresponden a la actualización de EPA de abril de 2007.

	10 min	30 min	60 min	4 horas	8 horas
AEGL₁ (mg/m³)	1,1	0,84	0,71	0,5	0,46
AEGL₂ (mg/m³)	57	45	38	28	24
AEGL₃ (mg/m³)	106	82	70	52	43

	10 min	30 min	60 min	4 horas	8 horas
AEGL₁ (ppm)	0,75	0,60	0,51	0,36	0,33
AEGL₂ (ppm)	41	32	27	20	17
AEGL₃ (ppm)	76	59	50	37	31

Nivel al que se percibe un olor definido (LOA) = 0,01 mg/m³ (0,01 ppm)

	ERPG ₁ (mg/m ³)	ERPG ₂ (mg/m ³)	ERPG ₃ (mg/m ³)
60 min	0,14	42	139

	ERPG ₁ (ppm)	ERPG ₂ (ppm)	ERPG ₃ (ppm)
60 min	0,1	30	100

IDLH: 139 mg/m³ (100 ppm) para 30 minutos.

9. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

a) Información general

Aspecto: Gas licuado comprimido

Olor: Olor característico a huevos podridos

b) Propiedades




Punto/intervalo de ebullición, °C	-60
Punto de inflamación, °C	Gas inflamable
Límite inferior de explosividad, % vol.	4,3
Límite superior de explosividad, % vol.	46
Solubilidad en agua a 20 °C, g/100ml	0,5
Densidad relativa de vapor (aire=1)	1,19
Punto/intervalo de fusión, °C	-85
Temperatura de ignición espontánea, °C	260
Fórmula molecular	SH ₂
Peso molecular	34,1

10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

- El gas es más denso que el aire y puede extenderse a ras del suelo; posible ignición en punto distante.
- Como resultado del flujo, agitación, etc., se pueden generar cargas electrostáticas.
- Al producirse una pérdida de gas se alcanza muy rápidamente una concentración nociva de éste en el aire.
- El calentamiento intenso puede originar combustión violenta o explosión.

- **Condiciones que deben evitarse:** No generar ninguna fuente de ignición.
- **Materias que deben evitarse:** Reacciona violentamente con oxidantes fuertes, originando peligro de incendio y explosión. Ataca metales y algunos plásticos.
- **Productos de descomposición peligrosos** La sustancia se descompone al arder, produciendo gas tóxico (óxidos de azufre).

11. INFORMACIÓN REGLAMENTARIA

Símbolos	F+  T+  N 	F+: Extremadamente inflamable T+: Muy tóxico N: Peligroso para el medio ambiente
Frases R	12-26-50:	Extremadamente inflamable. Muy tóxico por inhalación. Muy tóxico para los organismos acuáticos.
Frases S	1/2-9-16-36-38-45-61	Consérvese bajo llave y manténgase fuera del alcance de los niños. Consérvese el recipiente en lugar bien ventilado. Conservar alejado de toda llama o fuente de chispas – No fumar. Úsese indumentaria protectora adecuada. En caso de ventilación insuficiente, úsese equipo respiratorio adecuado. En caso de accidente o malestar, acúdase inmediatamente al médico (si es posible, muéstresele la etiqueta). Evítese su liberación al medio ambiente. Recábense instrucciones específicas de la ficha de datos de seguridad.