



UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERIA QUÍMICA
POSTGRADO DE ESPECIALIZACIÓN
EN INGENIERÍA DE AMBIENTE, HIGIENE
Y SEGURIDAD



ESTRIBIL...
Julio Febrer (2002)

ANÁLISIS CUANTITATIVO DE RIESGOS DE LA PLANTA MOTATÁN II

www.bdigital.ula.ve

Trabajo Especial de Grado
presentado ante la Ilustre
Universidad de Los Andes
como credencial de Mérito
para optar al título de
"Especialistas en Ingeniería de
Ambiente, Higiene y Seguridad"

Tutor Académico:

Prof. José M. Anderz

Tutor Industrial:

Ing. Dennys Ravenstein

Realizado por:

Ing. Martínez R. Amy E.

Ing. Soler F. José Luis.

Mérida, Diciembre 2001

DEDICATORIA

Al Gran Crador
A mis Hijos
A mis Padres y Abuelos
A mi Esposa

Todos han sido mi inspiración....

José Luis.

www.bdigital.ula.ve

AGRADECIMIENTO

A todos mis compañeros de Post Grado, por la valiosa amistad y colaboración brindada, y a toda aquella persona que de una u otra manera ha contribuido a la feliz culminación de este proceso de aprendizaje.
En especial a mi compañera de tesis Amy, por el gran empeño.

José Luis Soler

www.bdigital.ula.ve

INDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
INDICE GENERAL	vii
INDICE DE TABLAS	xi
INDICE DE FIGURAS	xiii
RESUMEN	xv
INTRODUCCIÓN	16
CAPITULO I.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	
I.1 Justificación del Estudio	17
I.2 Objetivos del estudio	17
I.2.1 Objetivo General	17
I.2.2 Objetivos Específicos	17
I.3 Delimitación del Estudio	18
I.4 Descripción del Área de Estudio	18
I.4.1 Planta Compresora de Gas y Estación de Flujo Motatan II	18
I.4.2 Visión y Misión de la Unidad	19
CAPITULO II.- DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA	
II.1 Descripción de la Planta	20
II.2 Descripción y Finalidad de la Planta Compresora Motatan II	22
II.2.1 Funcionamiento de la Planta Compresora Motatan II	22
II.2.2 Componentes Básicos de la Planta Compresora Motatan II	23
II.2.2.1 Motocompresores Reciprocantes	24
II.2.2.2 Depuradores	25
II.2.2.2 Intercambiadores de Calor	28
II.3 Descripción y Finalidad de la Estación de Flujo Motatan II	30

	Pág.
II.3.1 Funcionamiento de la Estación de Flujo Motatan II	32
II.3.2 Componentes básicos de la Estación de Flujo Motatan II	33
II.3.2.1 Múltiple de Producción	33
II.3.2.2 Separador de Producción General y Separador de Prueba	34
II.3.2.3 Tanques de Almacenamientos	39
II.3.2.4 Bombas de Transferencia de Crudo	42
II.3.2.5 Sistema de protección Contra Incendio	44
CAPITULO III.- MARCO CONCEPTUAL	
III.1 Criterios Básicos para el Desarrollo del Análisis Cuantitativo de Riesgos	45
III.2 Etapas del Análisis Cuantitativo	47
III.2.1 Identificación de Peligros	47
III.2.1.1 Análisis Preliminar de Peligros	48
III.2.1.2 Análisis de Modo de Fallas y sus Efectos (AMFE/FMEA)	48
III.2.1.3 Análisis ¿ Que pasaría Si ? (What If)	49
III.2.1.4 Análisis Cualitativo mediante Árboles de Fallas (FTA)	50
III.2.1.5 Análisis Cualitativo mediante Árboles de Eventos	51
III.2.1.6 Estudios de Peligros y Operabilidad	51
III.2.2 Estimación de Frecuencias de Fallas	53
III.2.2.1 Árbol de Falla	53
III.2.2.2 Árboles de Eventos	56
III.2.3 Estimación de Consecuencias	58
III.2.4 Cuantificación del Riesgo	68
III.2.4.1 Riesgo Individual	69

III.2.4.2 Riesgo Social	70
III.3 Metodología a Utilizar	73
III.3.1 Etapa Preliminar	73
III.3.2 Etapa Intermedia	73
III.3.3 Etapa Final	73

CAPITULO IV.- ESTIMACIÓN DE CONSECUENCIAS

IV.1 Datos y Criterios Empleados para la Estimación de Consecuencias	75
IV.1.1 Datos Meteorológicos	76
IV.1.2 Tiempos de Respuesta	77
IV.1.3 Tamaño de Roturas	78
IV.1.4 Criterios de Daños	79
IV.2 Discusión de los Resultados de las Simulaciones	81
IV.2.1 Múltiple de Producción	82
IV.2.2 Separador de producción	89
IV.2.3 Tanques de Almacenamiento	92
IV.2.4 Bombas de Transferencia de Crudo	93
IV.2.5 Depurador 1(Gas de Succión hacia Compresores Cooper)	96
IV.2.5 Depurador 2(Gas de Succión hacia Compresores Dresser)	101
IV.2.6 Tren de Compresión	101
IV.2.7 Múltiple de Gas Lift	103

CAPITULO V.- CUANTIFICACIÓN DEL RIESGO

V.1 Criterios de Tolerancia	111
V.1.1 Criterios de Tolerancia de Riesgo Individual	111
V.1.2 Criterios de Tolerancia de Riesgo Social	118

CAPITULO VI.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

VI.1 Conclusiones	119
VI.2 Recomendaciones	121

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	123
-----------------------------------	-----

GLOSARIO DE TERMINOS	125
-----------------------------	-----

ANEXOS

Anexo A: Árboles de Demanda, Fallas y Eventos	129
Anexo B: Criterios para la Estimación de Consecuencias	154
Anexo C: Datos Meteorológicos	161
Anexo D: Resumen de las Simulaciones	165
Anexo E: Planos de Instalación	172
Anexo F: Corridas del Canary	181

www.bdigital.ula.ve

INDICE TABLAS

TABLAS	Pág.
II.1 Características de los Compresores	25
II.2.(a) Composición del Crudo 21°API proveniente de los campos de producción Motatan II y Motatan III	31
II.3 Dimensiones de los Separadores de la Estación de Flujo	35
II.4 Límites de Operación de los Separadores	37
II.5 Límites de Operación de los Tanques	40
III.1 Resultados de la Simulación en el Canary de una Dispersión de Vapor	61
III.2 Resultados de la Simulación en el Canary de una Piscina de Fuego	64
IV.1 Componentes del Fluido de Yacimiento introducidos al Canary	75
IV.2 Componentes del Gas introducidos al Canary	76
IV.3 Condiciones Meteorológicas promedio	77
IV.4 Tiempos de Respuesta	78
IV.5 Tamaños de Rotura	79
IV.6 Resumen de las simulaciones de los Eventos en el Múltiple de Producción	84
IV.7.(a) Resumen de las simulaciones de los Eventos en la Línea de Gas de los Separadores	90
IV.7.(b) Resumen de las simulaciones de los Eventos en la Línea de Crudo de los Separadores	91
IV.8 Resumen de las simulaciones de los Eventos en los Tanque	92

TABLAS	Pág.
IV.9. Resumen de las simulaciones de los Eventos en el Cabezal de descarga de las Bombas	94
IV.10. Resumen de las simulaciones de los Eventos en el Cabezal de succión de las Bombas	95
IV.11 Resumen de las Simulaciones de los Eventos en la línea de gas de salida del Depurador 1	97
IV.12 Resumen de las Simulaciones de los Eventos en la línea inferior del Depurador 1	98
IV.13 Resumen de las Simulaciones de los Eventos en la línea entrada del Depurador 1	99
IV.14 Resumen de las Simulaciones de los Eventos en la línea de Gas de Entrada al Depurador 2	100
IV.15(a) Resumen de las Simulaciones de los Eventos en el Tren de Compresión. Succión de primera etapa.	102
IV.15(b) Tabla de comparación de flujo para ignición inmediata en Tren de Compresión	103
IV.15(c) Tabla de comparación de distancias de afectación para radiación a 13,5 kW/m ²	103
IV.16 Resumen de las Simulaciones de los Eventos del Múltiple de Gas Lift	104
V.1 Criterios de PDVSA para Tolerancia de Riesgo Individual	112
V.2.(a) Valores de frecuencias en los puntos de cada eje de referencia	116
V.2.(b) Valores obtenidos a partir de la sumatoria acumulativa sobre cada eje de referencia	116

INDICE FIGURAS

FIGURAS	Pág.
I.1 Organigrama de la Gerencias de Plantas de Gas Occidente	19
II.1 Vista Aérea de la Planta Motatan II	20
II.2 Ubicación de la Planta Motatan II	21
II.3 Motocompresores Marca Cooper	24
II.4 Motor de los compresores	25
II.5 Depurador 1 Gas a Compresores Cooper	27
II. 6 Depurador 2 Gas a Compresores Dresser	27
II. 7 Depurador de Gas Combustible	28
II. 8 Enfriadores de aire tipo Fin-Fan	29
II. 9 Banco de tubos	29
II. 10 Detalle de las aletas de los tubos	27
II.11 Múltiple de producción	34
II.12 Separadores de Producción	38
II.13 Separador de Prueba	38
II.14 Tanques de Almacenamiento de Crudo	41
II.15 Bomba de Transferencia de Crudo	43
II.16 Cabezales de Succión y Descarga de Bombas de Transferencia	43
III.1 Proceso del Análisis Cuantitativo de Riesgos	47
III.2 Árbol de Demanda del Tren de Compresión	54
III.3 Árbol de Falla del Tren de Compresión	55
III.4 Árbol de Evento del Tren de Compresión	57
III.5 Primera ventana del Canary	59
III.6 Gráfica de la Dispersión de Vapor generada por el Canary	62
III.7 Grafica de la Piscina de Fuego generada por el Canary	65

FIGURAS	Pág.
III.8 Segunda Ventana del Canary. Selección del Material	66
III.9 Tercera Ventana del Canary. Condiciones Ambientales	67
III.10 Cuarta Ventana del Canary. Descripción de la Fuga	68
III.11 Ejemplo de Isocurvas. Contornos de Riesgo Individual	70
III.12 Criterio PDVSA de Tolerancia de Riesgo Social	71
III.13 Guía de Tolerancia de Riesgo Social propuesta por el Reino Unido	72
IV.1 Contorno de la dispersión de vapor para rotura total en función de la distancia	86
IV.2 Contorno de la dispersión de vapor para rotura de 1 plg en función de la distancia	87
IV.3 Variación del radio de la piscina y de la tasa de generación de vapor con respecto al tiempo	88
IV.4 Curvas de radiación del chorro de fuego	106
IV.5 Curvas de radiación del chorro de fuego	107
V.1 Curvas de isoriesgo para la instalación	115

RESUMEN

La Planta Motatán II, al igual que otras instalaciones de PDVSA, presenta la problemática de los asentamientos poblacionales en áreas vecinas a la planta. Debido a esta circunstancia se requiere realizar el Análisis Cuantitativo de Riesgos de la planta Motatán II, con objeto de determinar el grado de afectación a terceros en caso de un posible evento mayor en la instalación. El presente Análisis Cuantitativo de Riesgos se inicia con la identificación de peligros y posibles eventos iniciadores de un evento mayor. Para ello se realizaron los distintos árboles de falla y árboles de eventos de los sistemas que componen la planta.

Se estimaron posteriormente las consecuencias de estos eventos mediante el paquete computacional Canary, tomando como base 1 % de fatalidades, para posteriormente dibujar sobre el plano de ubicación de equipos estas consecuencias, graficar las curvas de isoriesgo y determinar el riesgo social a terceros y riesgo individual voluntario e involuntario.

Se concluyó posteriormente que la planta es segura respecto a los habitantes de la población pues las curvas de consecuencias no llegan a tocar al mismo. Sin embargo, se requiere declarar zona de máxima seguridad una franja de aproximadamente 30 metros de ancho por 120 metros de largo, en el lado sur de la planta, para evitar que en el futuro sean poblados terrenos vecinos, incrementando con ello el riesgo social a terceros, esto se determinó a partir de la curva de riesgo individual para terceros (curva de frecuencia de 10^{-6}) que resultó por fuera del límite de la instalación.

Como principal recomendación se plantea entonces la compra del terreno en el lado Sur y declararlo zona de máxima seguridad, así como el cierre de la vía secundaria que recorre la planta por el lado Oeste, solo para uso industrial. Este cierre no causa mayores problemas, pues solo se usa como vía alterna a la carretera principal que bordea la planta por el lado Este.

INTRODUCCIÓN

Una de las principales problemáticas que confronta la industria petrolera del país ha sido la proliferación de asentamientos de terceros alrededor de sus instalaciones, gasoductos y oleoductos, debido principalmente a la falta de políticas de ordenamiento territorial, al no acatamiento de los mismos en caso de existir, y al desplazamiento migratorio anárquico de la población que ve en las operaciones petroleras una oportunidad de trabajo.

Entre las instalaciones que presentan esta problemática se encuentra La Planta Motatán II, ubicada junto a la población de Santa Isabel, Municipio Andres Bello del Estado Trujillo. Dicha Planta fue puesta en operación en 1970, año para el cual sus zonas vecinas se encontraban deshabitadas, sin embargo, en la actualidad esas zonas han sido pobladas por terceros, quienes se han asentado de manera descontrolada, cada vez mas cerca de la instalación, pues ésta no cuenta con una zona de seguridad que regule nuevas construcciones a su alrededor.

Adicionalmente, en octubre del año 2000, Petróleos de Venezuela aprobó la guía para la determinación de zonas de seguridad en instalaciones industriales y áreas de protección de obras publicas; IR-S-16 del Manual de Ingeniería de Riesgos de PDVSA, por lo que se hace necesario evaluar esta instalación en base a esta nueva normativa.

Dada esta situación, se hace necesario realizar un Análisis Cuantitativo de Riesgos a la Planta compresora de gas Motatán II para determinar la afectación a terceros y con ello establecer la zona de seguridad de la misma.

CAPITULO I
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

I.1 JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

La planta Motatán II realiza operaciones que pudiesen desencadenar eventos que ocasionen daños tanto a los operadores, como a terceros ubicados alrededor de la planta, y puesto que la misma no cuenta con una zona de seguridad definida que permita delimitar el asentamiento de dichos terceros, se hace necesario realizar un Análisis Cuantitativo de Riesgos en la instalación con el cual se pueden identificar los eventos peligrosos y sus consecuencias, con el propósito de recomendar las mejores soluciones que permitan disminuir la afectación de dichos riesgos, logrando así minimizar o disminuir el impacto social en caso de un evento mayor al establecer la zona de seguridad de la planta.

I.2 OBJETIVOS DEL ESTUDIO

I.2.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar un Análisis Cuantitativo de Riesgos a la Planta Motatán II, con la finalidad de determinar los posibles eventos que puedan ocasionar daños a operadores, terceros y/o al ambiente en caso de la ocurrencia de al menos uno de ellos y poder establecer la zona de seguridad de la planta.

I.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Identificar las causas que puedan contribuir a la ocurrencia de eventos o sucesos de fallas que ocasionan daños a operadores, terceros y/o al ambiente, con el fin de jerarquizar la importancia relativa de cada evento.
- ✓ Determinar las probabilidades y frecuencias de ocurrencia de eventos o sucesos de falla que puedan ocasionar daños a terceros o al ambiente con la finalidad de calcular sus consecuencias y por ende determinar el alcance de las medidas de mitigación correspondientes.

- ✓ Construir el árbol de eventos para cada peligro identificado.
- ✓ Realizar simulaciones de los eventos identificados para determinar el efecto y alcance de los daños.
- ✓ Construir el mapa de isoriesgos para la instalación.
- ✓ Determinar la zona de seguridad de la planta, como medida preventiva de mitigación de daños.

I.3. DELIMITACIÓN DEL ESTUDIO

Se le realizará el Análisis Cuantitativo de Riesgos a la Planta Motatán II conformada por la Planta compresora de gas Motatán II y la Estación de Flujo Motatán II asociada a ella, encargada esta última de enviar a la primera el gas asociado al crudo proveniente de la producción de los pozos de los campos Motatán II y Motatán III.

I.4. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

I.4.1 PLANTA COMPRESORA DE GAS Y ESTACIÓN DE FLUJO MOTATÁN II

La Planta Compresora de Gas y Estación de Flujo Motatán II forma parte del Distrito de compresión Lagunillas de la Gerencia de plantas compresoras de Gas de Exploración y Producción Occidente de esta Gerencia se tiene representado en la Figura I.1

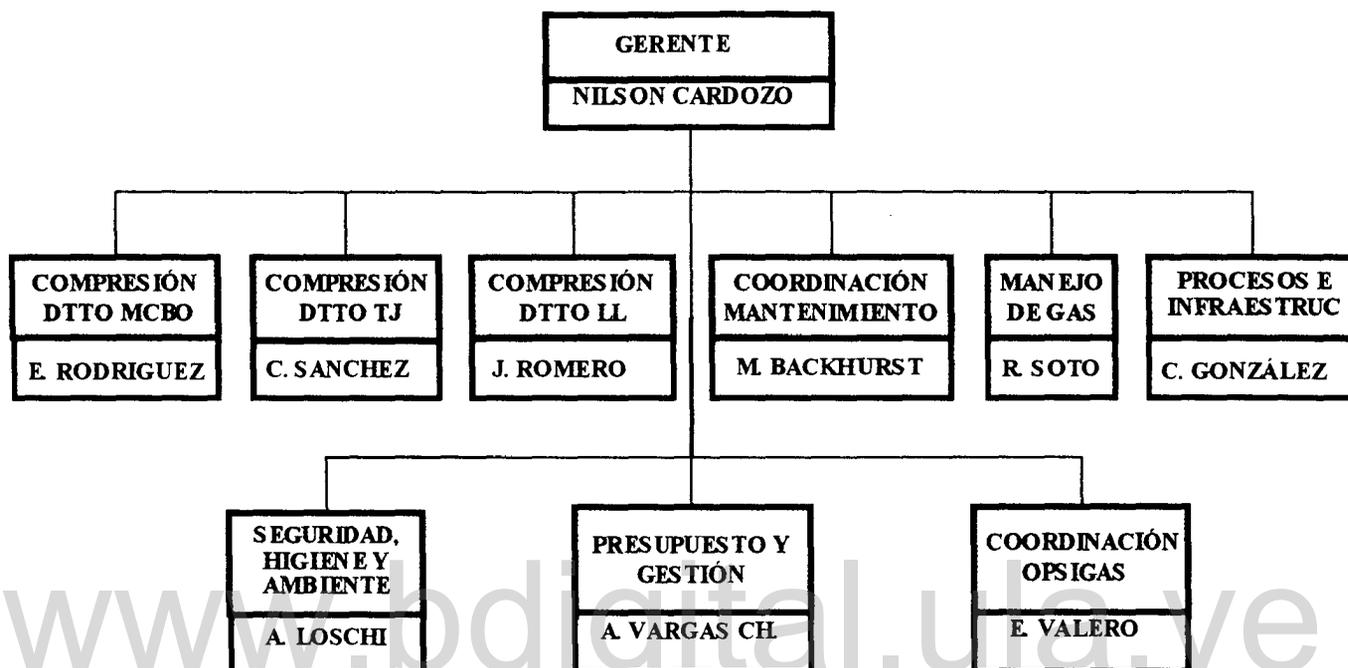


Figura I.1 Organigrama de la Gerencia de Plantas de Gas Occidente

I.4.2 VISIÓN Y MISIÓN DE LA UNIDAD

- ✓ **Visión:** Ser líderes en procesamiento de gas.
- ✓ **Misión:** Prestar el servicio de procesamiento de gas al costo óptimo.
- ✓ **Política de Calidad:** Mejorar continuamente nuestros procesos para cumplir los compromisos acordados con los clientes, operando en armonía con el entorno.

CAPÍTULO II
DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA

II.1. DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA

La Planta Motatán II se encuentra ubicada en el municipio Andrés Bello del estado Trujillo, a 500 metros de la población de Santa Isabel y a 31 kilómetros al sur-este de Mene Grande (ver figura II.2). Está compuesta por la Planta compresora de gas Motatán II y la Estación de flujo Motatán II. La figura II.1 muestra una vista aérea de la planta bajo construcción. En el Anexo E se puede observar la distribución de equipos de la planta en el Plano de Ubicación de Equipos.



Figura II.1 Vista aérea de la Planta Motatán II.

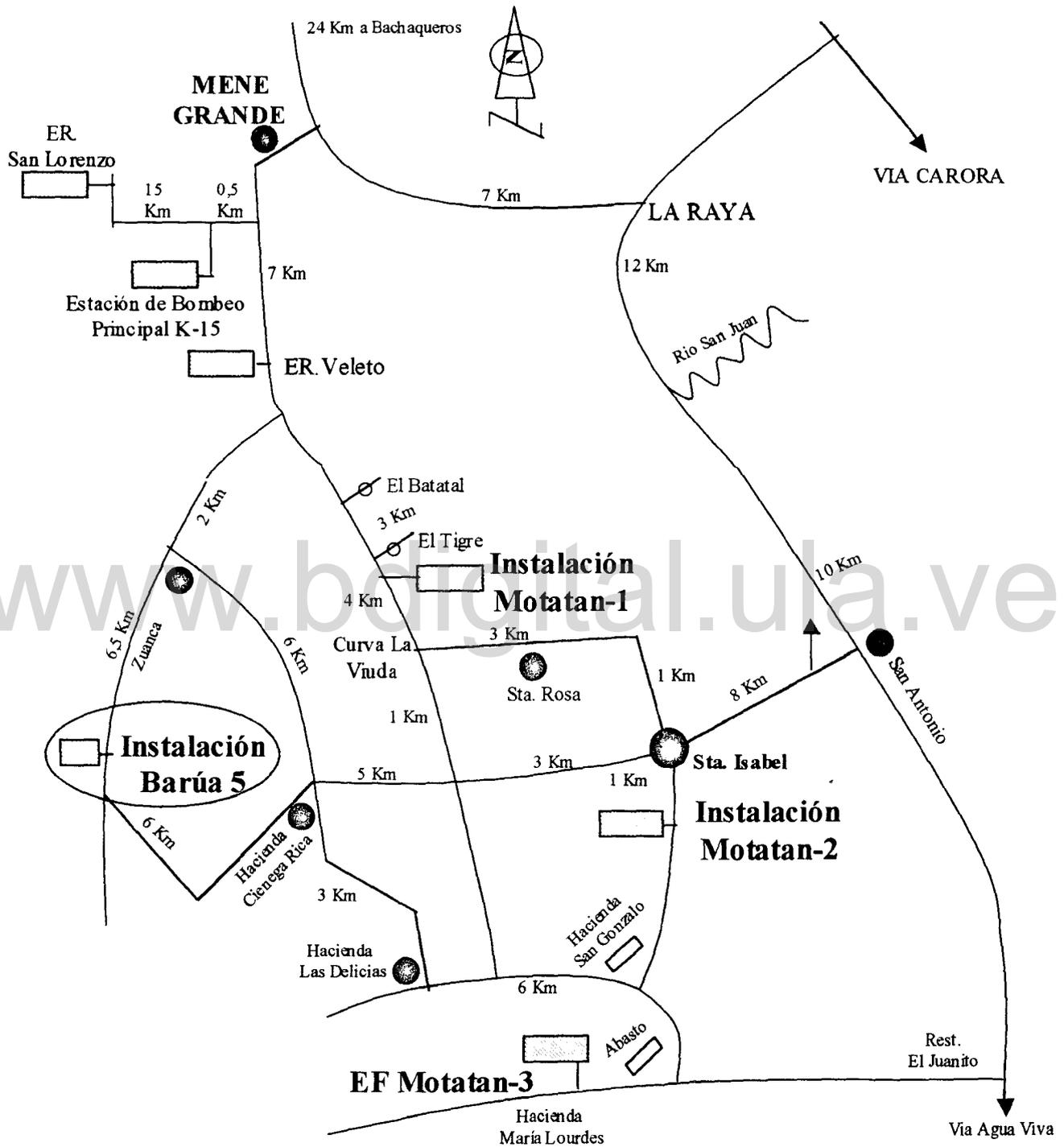


Figura II.2 Ubicación de la Planta Motatán II.

II.2 DESCRIPCIÓN Y FINALIDAD DE LA PLANTA COMPRESORA MOTATÁN II

La Planta compresora Motatán II se construyó debido a la necesidad de emplear gas natural como método de extracción de crudo mediante levantamiento artificial (recuperación secundaria) en los campos Motatán II y Motatán III. [11]

Esta planta tiene una capacidad de manejo de 70 MMPCND mediante 02 secciones de compresión, una de 40 MMPCND con 04 motocompresores reciprocantes de 10 MMPCND cada uno, marca Cooper y otra sección de 30 MMPCND mediante 03 motocompresores reciprocantes de 10 MMPCND cada uno, marca Dresser. [10]

II.2.1 FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA COMPRESORA MOTATÁN II

El proceso de compresión está compuesto por tres etapas que permiten elevar la presión del gas desde 50 psi hasta 250 psi en la primera etapa, en la segunda etapa la presión se eleva desde 250 psi hasta 750 psi y en la tercera etapa desde 750 psi hasta 2500 psi.

El gas que entra al proceso de compresión, proveniente de los separadores de la estación de flujo asociada a la planta, debe ser un gas limpio y seco para evitar que se produzcan daños a los cilindros de los compresores, por lo tanto, para lograr eliminar los líquidos y partículas sólidas que pudiera contener, el gas es conducido a través de varios procesos de depuración y filtrado antes y después de cada etapa de compresión. [10]

El condensado que se obtiene en los depuradores es enviado al múltiple de crudo de donde es conducido hacia los tanques de almacenamiento de crudo.

Después de cada etapa de compresión el gas es enfriado a través de intercambiadores de calor del tipo enfriadores de aire Fin-Fan. El gas que sale de la tercera etapa de compresión a 2500 psig una vez enfriado, es enviado al sistema de deshidratación con glicol a fin de remover el vapor de agua remanente, para evitar la corrosión y formación de hidratos en la línea. Posteriormente el gas pasa hacia el múltiple de gas de levantamiento artificial para ser inyectado en los mismos pozos de donde fue extraído. [10]

En caso de presentar alta presión en las líneas de proceso del sistema de compresión, existe una serie de válvulas de alivio instaladas en el mismo con el objeto de aliviar dicho exceso de presión; la descarga de las válvulas de alivio esta conectada, a un sistema de venteo o despresurización, tanto de baja como de alta presión.

Los motocompresores marca Cooper usan como combustible el gas rico proveniente del gasoducto, así como también el gas pobre proveniente de la planta deshidratadora de glicol; sin embargo, actualmente, dicho sistema de deshidratación no se encuentra en operación. En caso de una contingencia, el gas que sale de la descarga de la segunda etapa se usa como gas de arranque para los compresores (presión menor de 200 psig de arranque de máquina).

Los motocompresores marca Dresser solo pueden tener como fuente de alimentación de gas combustible el gas pobre que sale de la planta deshidratadora, no obstante, la fuente de alimentación de gas de arranque es gas rico proveniente del gasoducto. [10]

II.2.2 COMPONENTES BÁSICOS DE LA PLANTA COMPRESORA MOTATÁN II

Entre los componentes mas importantes podemos destacar:

√ Líneas de gas

√ Separadores y Depuradores de Gas

√ Motocompresores Reciprocantes √ Intercambiadores de Calor
√ Sistema de Protección

II.2.2.1 Motocompresores reciprocantes

El gas que es separado del crudo después de pasar por el depurador entra al proceso de compresión a una presión de 65 psig, para posteriormente ser comprimido hasta una presión de 2500 psig a través de las tres etapas de compresión que componen el sistema. En el Anexo E se puede observar el plano del Diagrama de Flujo de Proceso y el Diagrama de Tuberías e Instrumentación del Tren de Compresión.

Los motocompresores marca Cooper (ver figura II.3) están compuestos por un motor de gas GMBH de 12 cilindros (ver figura II.4), motores en V de dos (2) tiempos con carrera de 14", turboalimentados por un turboalimentador marca Cooper Bessemer modelo ET 18, con capacidad nominal de 2700 CFF a 333 rpm y a temperatura ambiente 80°F. La compresión de gas se realiza en un compresor recíprocante de relación de compresión 5 a 1.

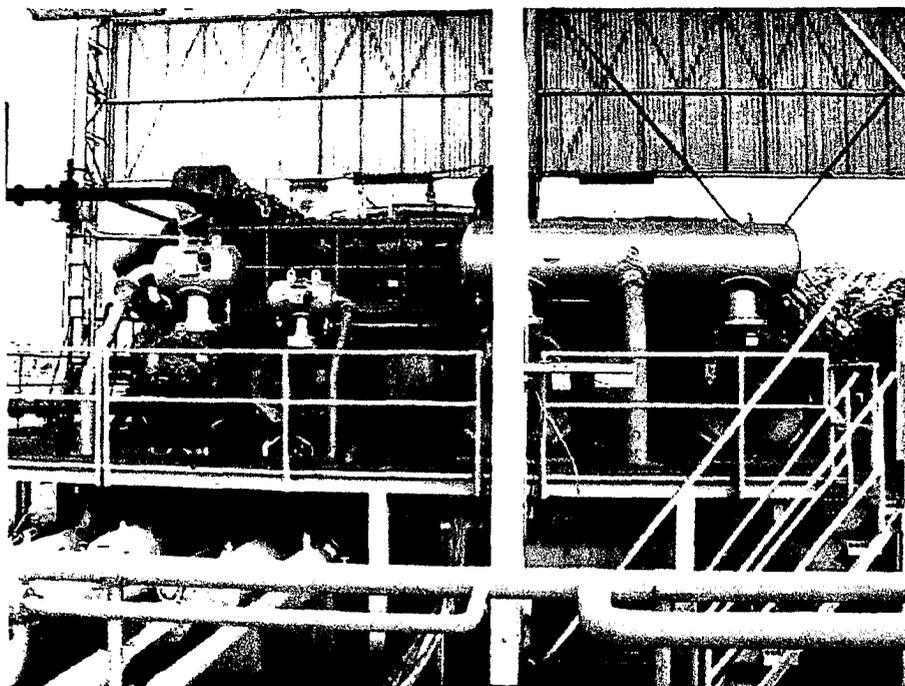


Figura II.3 Motocompresores Marca Cooper

En la tabla II.1 se encuentran resumidas las características mas importantes de los compresores Copper que se encuentran en la instalación .

Tabla II.1.- Características de los Compresores

Tamaño y Clase de Cilindros	Codos	Alce de Gas
20,5" diámetro, C7K-14	1 y 3	1ra etapa
12,5" diámetro, C7G-14	5	2da etapa
6,5" diámetro, C12C-14	6	3ra etapa

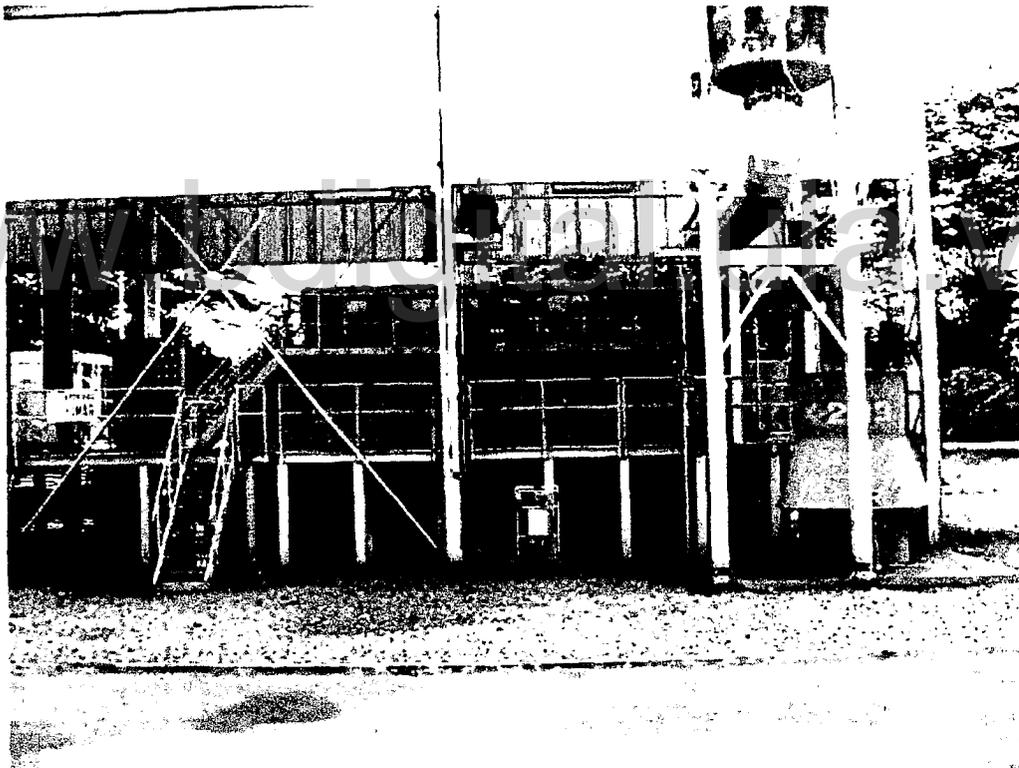


Figura II.4 Motor de los compresores

II.2.2.2 Depuradores

Los depuradores son recipientes cilíndricos verticales, muy similares a los separadores, con la diferencia que poseen una serie de elementos internos

adicionales, los cuales permiten purificar el gas proveniente de los separadores, eliminando las trazas de crudo o humedad que hayan podido quedar en el mismo, para poder ser enviado a la planta compresora sin ocasionarle daño a los compresores. El líquido recolectado en el depurador se une con el que viene de los separadores y se envía hacia los tanques de almacenamiento temporal, pertenecientes a la estación de flujo Motatán II.

El depurador de gas de succión (V-229) de los compresores Cooper, es de nueve (9) metros de altura y 1,64 metros de diámetro (ver figura II.5 y el Diagrama de Tuberías e Instrumentación del Depurador Gas Succión Copper). El depurador de gas de succión (V-230) de los compresores Dresser, es de 5,5 metros de altura y 1,84 metros de diámetro (ver figura II.6). Ambos están provistos de los siguientes sistemas de control:

- ✓ Control de Nivel, el cual evita el paso de líquidos al sistema de gas de la instalación.
- ✓ Control de Presión, que fija la presión de operación de la estación y transfiere el gas al sistema de recolección de gas.

El sistema de protección del depurador está compuesto por un control de nivel que actúa como respaldo al sistema de control, y envía una señal para abrir la válvula automática de descarga y drenar los líquidos que se acumulan, y una válvula de seguridad calibrada a 150 psig.

Los límites de presión de operación del depurador son los siguientes: presión mínima 0 psig, presión máxima 120 psig y presión de operación 60 psig.

Como se mencionó en la sección anterior, los compresores son accionados por motores que trabajan con gas combustible. Dicho gas es introducido en los motores después de pasar a través de un depurador, el cual posee una altura de 3,05 metros y un diámetro de 0,914 metros (ver figura II. 7). En el Anexo E se puede observar el Diagrama de Tuberías e Instrumentación del Sistema de Gas Combustible y Arranque.

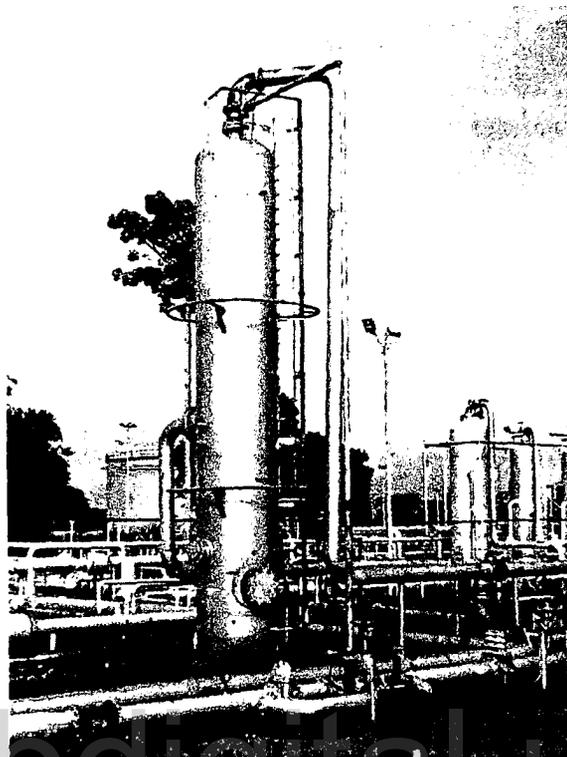


Figura II. 5 Depurador 1, a Compresores Copper

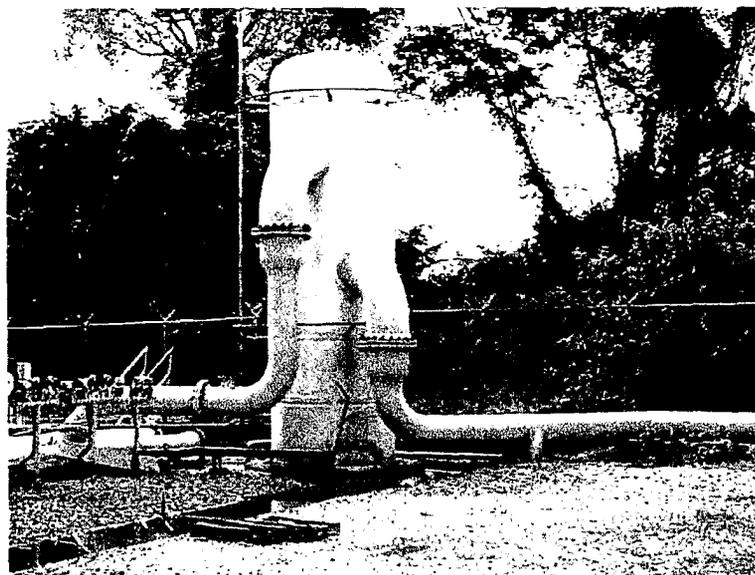


Figura II. 6 Depurador 2, a Compresores Dresser

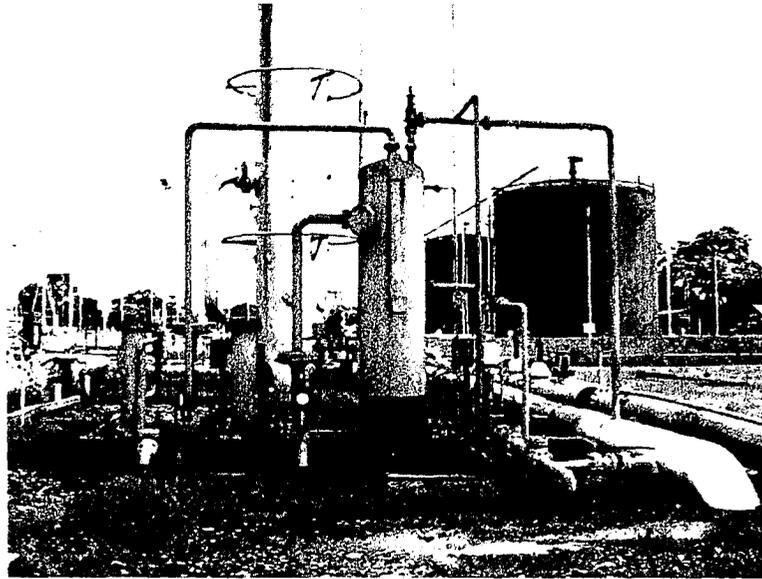


Figura II. 7 Depurador de Gas Combustible

II.2.2.3 Intercambiadores de Calor

Los intercambiadores de calor que se encuentran en la planta son enfriadores de aire tipo Fin-Fan (ver figura II.8), cuya función es de enfriar la corriente de proceso que pasa por los tubos mediante el flujo de aire, sin que ocurra cambio de fase. [12]

En los trenes de compresión conformados por los compresores marca Cooper, existen seis (6) enfriadores de aire, tres enfriadores para cada tren que se encargan de enfriar el gas que sale a través de cada etapa de compresión, y tres para enfriar el aceite y el agua de enfriamiento de los motores de combustión interna de los compresores.

Cada enfriador consiste de un ventilador por bahía situado debajo del haz de tubos, por lo que son de tipo forzado. Los tubos son de $\frac{3}{4}$ pulg dispuestos en arreglo triangular, 3 metros de largo y aletados en su superficie externa como se observa en las figuras II.9 y II. 10, respectivamente.

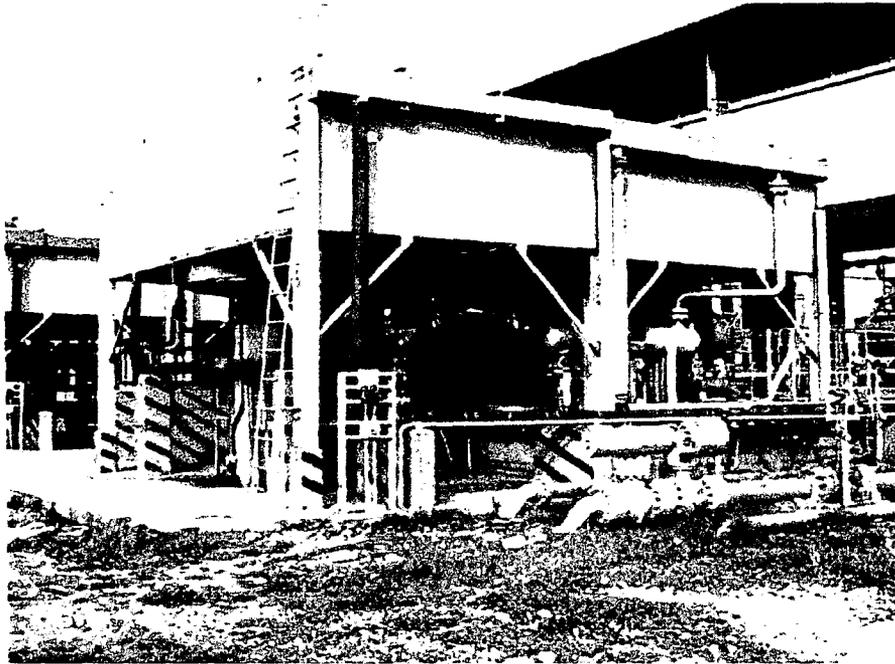


Figura II. 8 Enfriadores de aire tipo Fin-Fan

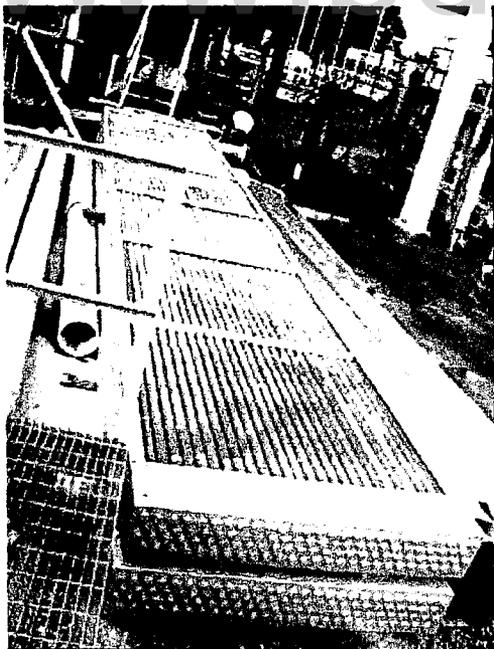


Figura II. 9 Banco de tubos

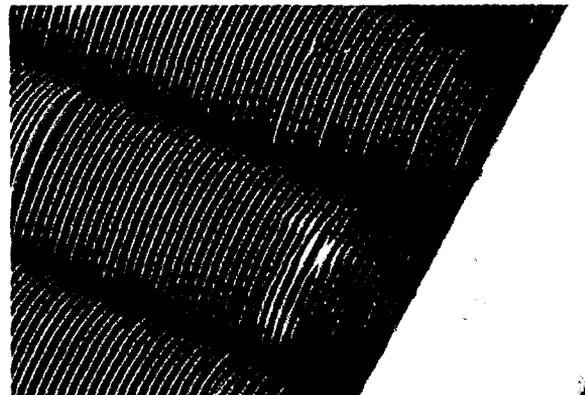


Figura II. 10 Detalle de las aletas de los tubos

II.3 DESCRIPCIÓN Y FINALIDAD DE LA ESTACIÓN DE FLUJO MOTATÁN II

Una estación de flujo es una estructura de mediana complejidad que tiene como objeto recibir la mezcla crudo y gas, separar el crudo del gas para enviarlo a la planta compresora, almacenar temporalmente y bombear la producción de crudo y agua provenientes de los pozos ubicados en su vecindad, ó del múltiple de producción. [1]

La estación de flujo Motatán II está formada por un sistema de separación de crudo y gas, múltiple de gas lift, múltiple de crudo, tanques de almacenamiento y sistema de bombeo de crudo. Dicha estación esta automatizada mediante un control lógico programable y supervisada a control remoto por sistema SCADA. El crudo manejado en la estación proviene de 16 pozos de los campos de producción Motatán II y Motatán III y es de 21 ° API, con una producción aproximada de 28 MBPD. La caracterización del crudo está explicada en la tabla II.2.

En la estación, el gas asociado al crudo es separado a una presión de 57 psi. El crudo separado (28.0 MBPD) es bombeado a 550 psi a la Planta K-15 y de allí al patio de tanques Bachaquero, y el gas es enviado a la succión de los compresores de la Planta Motatán II.

Tabla II.2 Composición del crudo de 21°API proveniente de los campos de producción Motatán II y Motatán III. [13]

Componente	Líquido de flash %molar	Gas de flash %molar	Fluido de yacimiento %molar
N ₂	0,00	0,42	0,13
CO ₂	0,04	3,64	1,14
H ₂ S	0,00	0,00	0,00
CH ₄	0,43	57,87	17,88
C ₂ H ₆	0,31	13,01	4,17
C ₃ H ₈	0,68	9,73	3,43
i-C ₄ H ₁₀	0,39	2,48	1,03
n-C ₄ H ₁₀	1,27	5,07	2,43
i-C ₅ H ₁₂	1,40	2,24	1,66
n-C ₅ H ₁₂	1,87	2,15	1,95
Pseudo C ₆ H ₁₄	4,92	1,99	4,03
Pseudo C ₇ H ₁₆	8,45	1,07	6,21
Pseudo C ₈ H ₁₈	10,88	0,30	7,66
Pseudo C ₈ H ₁₈	10,88	0,30	7,66
Pseudo C ₉ H ₂₀	9,86	0,02	6,87
Pseudo C ₁₀ H ₂₂	9,15	0,00	6,37
Pseudo C ₁₁ H ₂₄	6,16	0,00	4,29
Pseudo C ₁₂ H ₂₆	4,32	0,00	3,01
Pseudo C ₁₃ H ₂₈	3,63	0,00	2,53
Pseudo C ₁₄ H ₃₀	2,89	0,00	2,01
Pseudo C ₁₅ H ₃₂	2,65	0,00	1,85
Pseudo C ₁₆ H ₃₄	2,12	0,00	1,48
Pseudo C ₁₇ H ₃₆	1,33	0,00	0,93
Pseudo C ₁₈ H ₃₈	0,76	0,00	0,53
Pseudo C ₁₉ H ₄₀	0,68	0,00	0,47
C ₂₀₊	25,79	0,00	17,95
Total	100,00	100,00	100,00
Fracción Molar	0,6962	0,3038	1,0000

II.3.1 FUNCIONAMIENTO DE LA ESTACIÓN DE FLUJO MOTATÁN II

La primera función que cumple la estación de flujo es la recolección de la producción que proviene de los distintos pozos a la cual está asociada, para luego separar la fase líquida y la fase gaseosa del fluido multifásico entrante como se explica a continuación: el crudo mezclado con agua y gas asociado, llega al múltiple de producción de la estación de flujo; de allí, es conducido hacia los separadores de producción y prueba donde el crudo y el gas son separados. El gas que sale por el tope de los separadores es enviado al depurador con la finalidad de eliminar los residuos de crudo que pudiesen haber quedado. Este gas (limpio) es el que va hacia la planta de compresión Motatán II a través del sistema de recolección, y el crudo se une al crudo procedente de los separadores.

El crudo que sale de los separadores es enviado por diferencia de presión a los tanques de recolección de 5000 barriles de capacidad, donde es almacenado temporalmente para luego ser bombeado hacia el patio de tanques de Bachaquero (Ver en el Anexo E el Diagrama de Flujo de Proceso).

Otra de las funciones importantes de la estación de flujo es la de medir y cuantificar la producción de petróleo, agua y gas de cada pozo productor. Esta función se realiza mediante un separador de prueba. El gas y el crudo que sale de este separador se unen a las descargas respectivas de los demás separadores.

Para mantener estable la presión de operación de la Estación de Flujo, en caso de existir problemas en el sistema de recolección de gas, se utiliza un controlador de presión que abre una válvula en la descarga de gas de la estación (venteo) con la finalidad de evitar la sobrepresión en los equipos.

II.3.2 COMPONENTES BÁSICOS DE LA ESTACIÓN DE FLUJO MOTATÁN II

- ✓ Múltiple de producción y de prueba
- ✓ Líneas de flujo
- ✓ Separadores de producción
- ✓ Separador de prueba
- ✓ Tanques de recolección
- ✓ Bombas de crudo
- ✓ Múltiple de gas lift
- ✓ Fosa de Crudo
- ✓ Bomba de Fosa de Crudo.

II.3.2.1 Múltiple de Producción

El fluido bifásico (crudo, agua + gas) que se extrae de los distintos pozos de producción de los Campos Motatán II y Motatán III es conducido a través de una red de tuberías hasta la estación de flujo donde es recolectado en el múltiple de producción (figura II.11), el cual está compuesto por una serie de válvulas, piezas prefabricadas y tuberías que se encargan de enviar el crudo hacia los separadores de producción general o de prueba, garantizando la dirección de flujo mediante un conjunto de válvulas.

Al múltiple entran dieciocho (18) tuberías de producción, y posee dos (2) tuberías de descarga paralelas, instaladas en posición horizontal. Entre las válvulas que posee el múltiple se encuentran [2]:

- ✓ 1 válvula para tomar muestras de crudo
- ✓ 1 válvula de retención (check) para evitar el retorno del fluido en caso de rotura en la línea de flujo
- ✓ válvulas de bola para cerrar o dejar pasar el fluido

- ✓ válvulas de alivio para descargar presiones e impedir que la presión de operación sobrepase la de diseño.

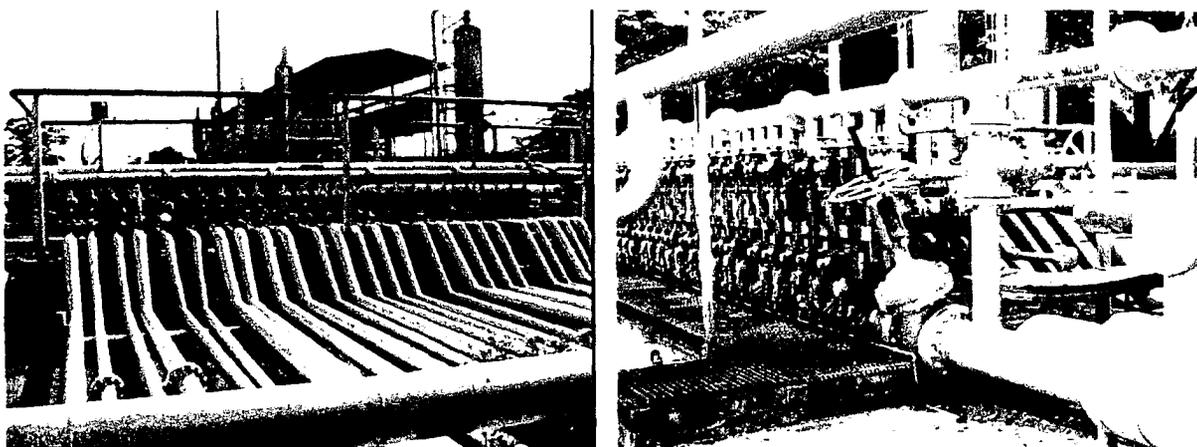


Figura II.11 Múltiple de producción.

II.3.2.2 Separador de Producción General y Separador de Prueba

Un separador es un recipiente de forma cilíndrica o esférica colocado en forma vertical u horizontal, cuyo objetivo es el de separar la fase gaseosa (gas) de la fase líquida (crudo + agua) de una mezcla entrante (proveniente del múltiple de producción).

En el caso de esta estación de flujo, los separadores son cilíndricos y se encuentran colocados en forma vertical, pues esto permite manejar mayores cantidades de mezcla entrante con un menor porcentaje de formación de espuma y un espacio mayor para la liberación del gas por la parte de arriba del recipiente, donde se encuentra ubicado el demister o malla de retención de líquido.

La estación consta de cuatro (4) separadores de producción y un (1) separador de prueba. En la tabla II.3 se encuentran resumidos las dimensiones de los separadores. (Ver el Diagrama de Tuberías e Instrumentación en el Anexo E)

Tabla II.3 Dimensiones de los separadores de la estación de flujo.

Separador	Diámetro (pies)	Altura (pies)	Nivel de Líquido (pies)
V201 y V204	6	20	9,25
V202 y V203	5	19	5,2
V205 (Sep. de Puebla)	5	15	5

La separación dentro del recipiente se logra debido a la diferencia existente entre el peso específico del gas y del crudo, que constituye el principio de separación gravitacional. Dicho proceso es mejorado a través una agitación mecánica generada por una serie de láminas deflectoras colocadas en la entrada del recipiente, que ocasionan un cambio abrupto en la dirección de la mezcla entrante y cuyo choque aumenta el desprendimiento de gas. Por otro lado, el recipiente posee un tamiz o extractor de niebla que se encarga de separar las trazas de líquido que pueden haber quedado en el gas.

Los separadores de la estación de flujo Motatán II constan de los siguientes componentes:

- ✓ Válvulas:
 - ♦ De descarga de líquido, situada en la parte inferior de los separadores.
 - ♦ De entrada de líquido, situada aproximadamente en la mitad del recipiente.
 - ♦ Válvula de control de presión de gas.
 - ♦ Válvula de drenaje, situada en la parte inferior del recipiente.
- ✓ Transmisores:
 - ♦ De Presión (PT), ubicado en el cabezal de salida de gas e indica a nivel de sala de control, la presión de operación del separador.
 - ♦ De Flujo, ubicado en el cabezal de salida de gas e indica a nivel de sala de control, el flujo de gas que sale del separador.

- ✓ Sistema de Seguridad:
 - ♦ Válvula de alivio, ubicada en la parte superior del recipiente y calibrada para abrir a una presión igual a 150 psig.

- ✓ Sistema de Protección:
 - ♦ Interruptor de Alto Nivel, es un magnetrol que controla la válvula automática de entrada de flujo al separador, y genera una alarma visual y sonora en la sala de control.
 - ♦ Interruptor de Bajo Nivel, es un magnetrol que controla la válvula automática de salida de flujo al separador, y genera una alarma visual y sonora en la sala de control.
 - ♦ Interruptor de Muy Alto Nivel, es un magnetrol que activa el paro automático del separador, y genera una alarma de paro visual y sonora en la sala de control.
 - ♦ Interruptor de Alta Presión, es un interruptor colocado en la parte superior del separador, el cual se encuentra calibrado a 80 psig para los separadores de producción y 90 psig para el separador de prueba, y genera una alarma visual y sonora en la sala de control.
 - ♦ Interruptor de Muy Alta Presión, es un interruptor calibrado a 90 psig que activa el paro automático del separador, y genera una alarma de paro visual y sonora en la sala de control.

- ✓ Detectores (ver en el Anexo E el Plano de la Planta General Ubicación Sistema de Detección de Gas, Fuego y Parada de Emergencia):
 - ♦ De temperatura, el cual se activa en presencia de alta temperatura, generando una alarma visual y sonora (local y remota), que para de emergencia la estación y activa el sistema de extinción con agua.

- ✓ Extintores de Incendio (ver en el Anexo E el Plano de la Planta General Ubicación Sistema de Detección de Gas, Fuego y Parada de Emergencia):
 - ♦ Sistema de Diluvio con agua, conducida por tuberías y aplicada con dispersores, pudiendo ser activado en forma manual o automático.

Los límites de operación de los separadores se encuentran tabulados a continuación:

Tabla II.4.- Límites de Operación de los Separadores

PARÁMETRO	CONDICIÓN MINIMA		CONDICIÓN MAXIMA		CONDICIÓN OPERACIÓN	
	SN	S de P	SN	S de P	SN	S de P
Flujo en el Sep.						
Gas (MMPCND)	2,5	2,5	10,6	22	8,9	
Crudo (MBBD)	2,2	2,2	7,6	9,2	6,3	
Presión en el Sep.						
Gas (Psig)	50	50	100	100	60	70
Crudo (Psig)	50	50	100	100	60	70
Temp. en el Sep.						
Gas (°F)	-	-	-	-	113	95
Crudo (°F)	-	-	-	-	113	95

Nota: Las siglas SN significan separador normal, y las siglas S de P, separador de prueba.

Las consecuencias de la desviación en el nivel de flujo y en la presión en el separador son los siguientes:

- ♦ Alto Nivel de Flujo: daño a los otros equipos, principalmente en los compresores de gas.
- ♦ Bajo Nivel de Flujo: presencia de gas en tanques.
- ♦ Alta Presión: daños al equipo.

El separador de prueba posee el mismo funcionamiento de los separadores de producción, con la diferencia que es utilizado por un pozo a la vez en un periodo preestablecido, y está provisto de una cámara de separación en la cual se mide el gas mediante placas orificio a la salida del separador, y una cámara con dispositivos para cuantificar el volumen de crudo y agua que produce el pozo.

En las figuras II.12 y II.13 se muestran un separador de producción y uno de prueba respectivamente.

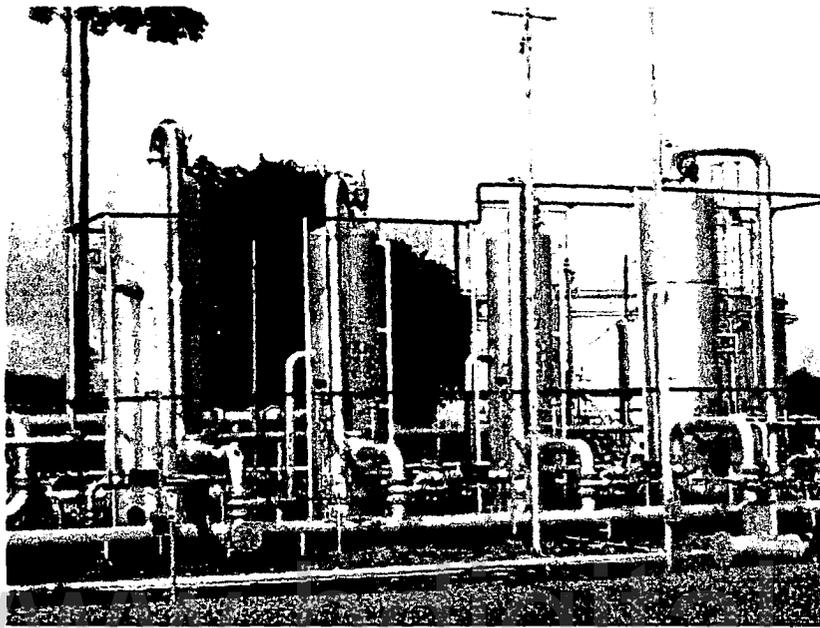
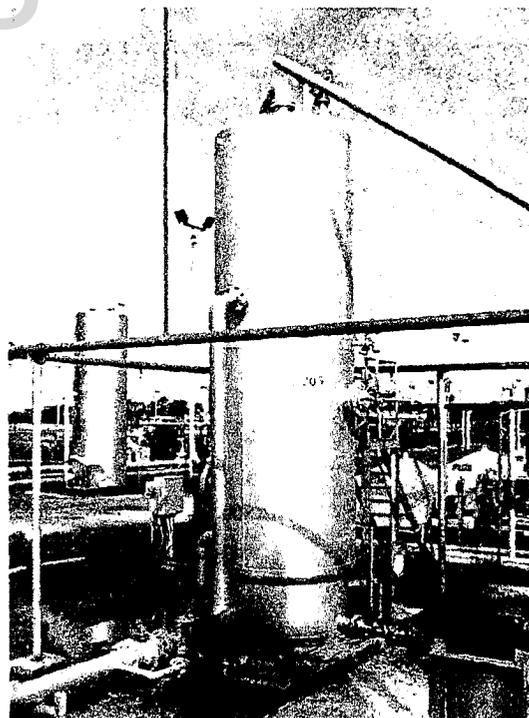


Figura II.12
Separadores de
Producción

Figura II.13
Separador de
Prueba



II.3.2.3 Tanques de Almacenamiento

Los tanques que se encuentran dentro de la estación de flujo son recipientes destinados al almacenamiento temporal del crudo proveniente de los separadores y del depurador, y garantizar el caudal de crudo necesario para el bombeo hacia el patio de tanques Bachaquero.

Por otro lado, dentro de los tanques se lleva a cabo un proceso de separación espontánea a presión atmosférica, siendo el tiempo de retención y la superficie del líquido factores que influyen directamente en la separación del gas del petróleo. Este proceso de separación que se lleva a cabo dentro de los tanques tiene especial importancia, pues mientras menor sea el contenido de gas en el crudo, mayor será la eficiencia de las bombas.

Los tres tanques que posee la estación (T-201, T202 y T-203) son de techo cónico y sus dimensiones son: 35 pies de diámetro, 32 pies de altura y capacidad de 5000 barriles, están provistos de un sistema de venteo, con líneas y separador, y constan de los siguientes componentes :

- ✓ Válvulas:
 - ♦ De entrada de líquido
 - ♦ De descarga de líquido
 - ♦ Válvula de drenaje, conectada a la línea de drenaje del tanque.

- ✓ Transmisores:
 - ♦ De Nivel, ubicado en la parte inferior del tanque, e indica el nivel de flujo de forma local y remota a nivel de sala de control.

- ✓ Sistema de Seguridad:
 - ♦ Válvula de seguridad, ubicada en el techo del recipiente y calibrada para abrir a una presión igual a 0,5 pulg H₂O.

- ✓ Sistema de Protección:
 - ♦ Interruptor de Alto Nivel, es un magnetrol que a 7,5 m de altura de nivel de crudo activa la alarma visual y sonora en la sala de control y el paro de emergencia de la estación.
 - ♦ Interruptor de Bajo Nivel, es un magnetrol que a 1,5 m de altura de nivel de crudo activa alarma visual y sonora en la sala de control remota.
 - ♦ Muro de contención y diques.

- ✓ Detectores:
 - ♦ 4 detectores de fuego UV, los cuales activan una alarma visual y sonora (local y remota), paran de emergencia la planta y activan el sistema de extinción con agua (diluvio) y el sistema de espuma.

- ✓ Extintores de Incendio:
 - ♦ Sistema de Diluvio con agua situado alrededor del tanque y provisto con un sistema de aplicación mediante rociadores o dispersores. El mismo puede ser activado en forma manual o automático.
 - ♦ Hidrantes y monitores direccionales, que se encuentran ubicados en el área externa del muro.
 - ♦ Sistema de espuma, situado en el techo del tanque e introducido por la parte inferior del mismo.

Los límites de operación de los tanques se encuentran tabulados a continuación:

Tabla II.5.- Límites de Operación de los Tanques

PARAMETRO EN EL TANQUE	CONDICIÓN MINIMA	CONDICIÓN MAXIMA	CONDICIÓN OPERACIÓN
Nivel de Crudo	2,5 m	7,5 m	2,5 m
Presión Interna	-	3,0 pulg H ₂ O	-

Las consecuencias de la desviación en el nivel de flujo y en la presión en el separador son los siguientes:

- ♦ Alto Nivel: Paro de emergencia de la estación, daño a los otros equipos, principalmente en los compresores de gas.
- ♦ Bajo Nivel de Flujo: presencia de gas en tanques.
- ♦ Alta Presión: daños al equipo.



Figura II.14 Tanques de almacenamiento de crudo

II.3.2.4 Bombas de Transferencia de Crudo

El sistema de bombeo tiene como función transferir el crudo almacenado temporalmente en la estación de flujo hasta la planta K-15, para posteriormente ser enviado llegar por oleoducto a los tanques de almacenamiento de Bachaquero.

El sistema de bombeo comprende las bombas (ver figura II.15) y los motores eléctricos para accionarlas. Las bombas empleadas son de tipo reciprocante, las cuales son bombas de desplazamiento positivo donde un émbolo o pistón desplaza un volumen dado de fluido en cada carrera.

La estación consta de siete (7) bombas de transferencia de crudo, de las cuales cinco (P-200/P-201/P-202/P-203/P-204) poseen una capacidad de 211GPM y una máxima presión de diseño de 1594psi, y las otras dos (P-205/ P-206) poseen una capacidad de 652 GPM con un presión máxima de diseño de 575 psi.

Estas bombas están controladas por una serie de interruptores (uno para cada bomba) instalados en un tablero, que abren o cierran un contacto eléctrico el cual permite la acción automática y manual de las bombas.

El sistemas de bombeo, está constituido por:

- Sistemas de tubería de descarga y succión (ver figura II.16).
- Válvulas de compuerta, de seguridad y de retención.
- Amortiguadores de succión y descarga.
- Reductor excéntrico.
- Bombas reciprocantes.

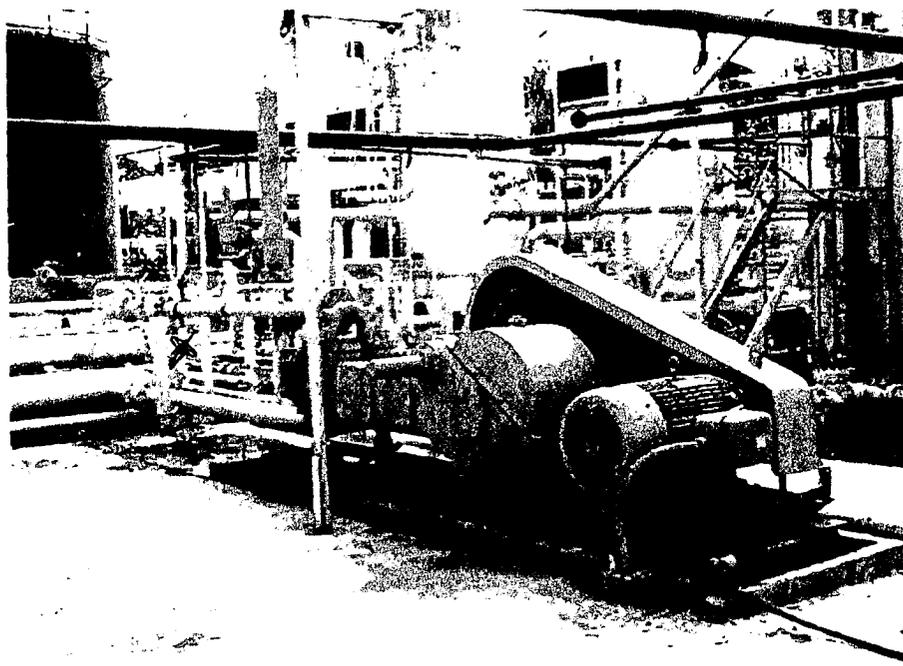


Figura II.15 Bomba de transferencia de crudo

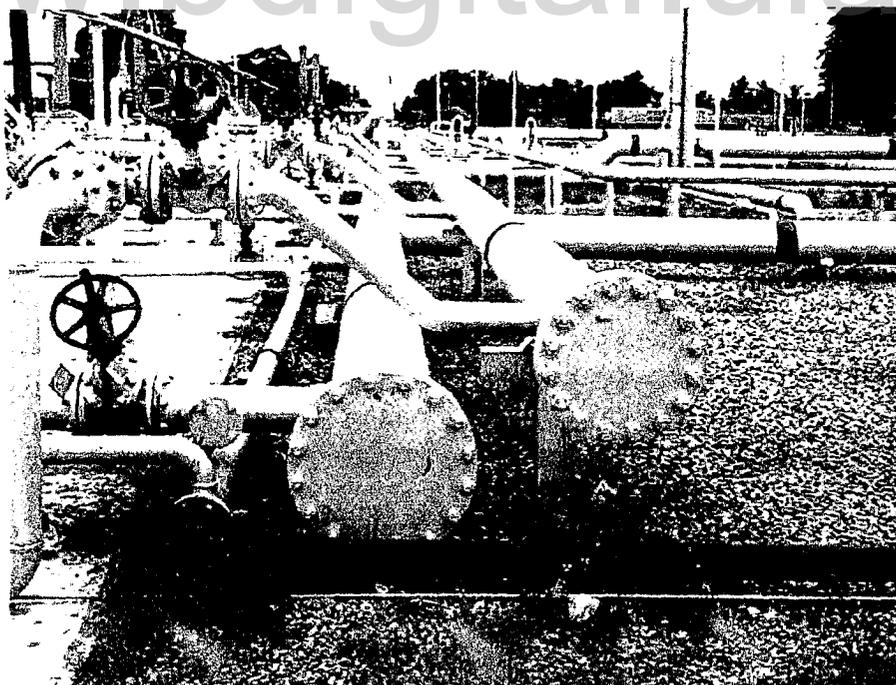


Figura II.16 Cabezal de succión y descarga de bombas de transferencia

II.3.2.5 Sistema de Protección Contra Incendios

El sistema de protección contra incendios consta de los siguientes elementos:

- ✓ **Sistema de Extinción:** Integrado por un red de tuberías instaladas alrededor de la planta y mediante el cual se provee los diferentes sistemas: el Sistema de Diluvio, el Sistema de Espuma y los Hidrantes.
- ✓ **Detectores de Temperatura:** Son los que generan una alarma visual y sonora (remota y local) al activarse en presencia de altas temperaturas, y paran de emergencia la planta activando el sistema de extinción con agua. Existen 9 detectores dispuestos de la siguiente forma:
 - ♦ 3 detectores de temperatura en el área de Bombas.
 - ♦ 2 detectores de temperatura en el área de Separadores.
 - ♦ 2 detectores de temperatura en el Múltiple de Producción.
 - ♦ 2 detectores de temperatura en el Múltiple de Gas Lift.
- ✓ **Detectores de Fuego (UV):** Se encuentran instalados en los tanque de almacenamiento de crudo, los cuales se activan enviando una señal visual y sonora (local y remota) la cual genera el paro de emergencia y activa el sistema de diluvio hacia los tanques y el sistema de suministro de espuma hacia los tanques. Existen 4 detectores de fuego (UV) ubicados en el área de los tanques y dividido en 24 zonas de detección para cada tanque.
- ✓ **Detectores de Gas:** Se activan cuando hay gas en el área, enviando una señal visual y sonora (local y remota) indicando el porcentaje de gas existente. Existen detectores dispuestos en el área del múltiple de Gas Lift y en el área de motocompresores.
- ✓ **Extintores Portátiles:** Existen dos extintores portátiles de polvo químico seco (150 psig) de tipo carreta ubicados estratégicamente en el área de la estación.

CAPITULO III
MARCO CONCEPTUAL Y
METODOLÓGICO

III.1 CRITERIOS BÁSICOS PARA EL DESARROLLO DEL ANÁLISIS CUANTITATIVO DE RIESGOS:

En la actualidad los aspectos de seguridad en la industria petrolera son abordados como un punto más del trabajo, de manera integral, a través de diferentes etapas del diseño, construcción y arranque de la instalación; continuando en la etapa operativa, incluyendo mantenimiento, desmantelamiento y clausura. En este sentido PDVSA ha desarrollado el Manual de Ingeniería de Riesgos, el cual incluye los principios básicos, métodos y criterios para desarrollar las metodologías del Análisis Cuantitativo de Riesgos (ACR).

El Análisis Cuantitativo de Riesgos es una metodología relativamente nueva que ha demostrado ser una herramienta de gestión muy eficaz para el manejo de decisiones gerenciales que permitan incrementar el comportamiento seguro de las instalaciones.

Esta técnica provee medios cuantitativos que complementan los demás métodos de análisis e identificación de peligros; pues ha sido desarrollada para estudiar procesos, sistemas y operaciones en forma sistemática, lo cual reduce la subjetividad en la identificación de áreas críticas y permite jerarquizar la importancia relativa de cada evento, identificando y cuantificando su potencial y además, brindando la posibilidad de garantizar la inversión racional de los recursos para fines de seguridad, con la mayor asignación concentrada en el área que ocasione el mayor riesgo. [4,6,7]

Los Análisis Cuantitativos de Riesgos resultan ser una herramienta muy útil para la gestión del riesgo por cuanto permite:

- ✓ Conocer los factores que determinan el nivel de riesgo de las instalaciones.
- ✓ Determinar los equipos, procesos o situaciones que contribuyen más decisivamente al riesgo.

- ✓ Dotar a los responsables de los establecimientos industriales de elementos y criterios suficientes para la evaluación del riesgo, aplicables tanto al diseño como al funcionamiento de las instalaciones.
- ✓ Fijar normas de seguridad, cuyo cumplimiento constituye un código de prevención de accidentes.
- ✓ Valorar la eficacia de las medidas reductoras del riesgo adoptadas o que se puedan adoptar, para garantizar un nivel de seguridad adecuado a la actividad.

A través del Análisis Cuantitativo de Riesgos, las diferentes técnicas de Identificación de Peligros, la Estimación de Consecuencias, así como su Frecuencia de Ocurrencia se convierten en el eje principal de control de riesgos, permitiendo cuantificar el Riesgo y establecer Criterios de Tolerancia para la toma de decisiones en materia de seguridad.

Es entonces claro que la identificación de peligros constituye el primer paso en el ACR, seguido por la cuantificación del nivel del riesgo basado tanto en la estimación de frecuencia de ocurrencia de accidentes, como en el cálculo de sus consecuencias. La figura III.1 muestra en forma esquemática los pasos a seguir en un análisis cuantitativo de riesgos. [6]

Existen otros métodos cuantitativos para el análisis de riesgos entre los cuales se pueden mencionar, el Análisis Cuantitativo de Causas y Consecuencias (ACCC) y el Análisis Causa-Raíz. El primero, es un método en el cual se realiza el análisis cuantitativo de los sucesos de falla en sistemas complejos, partiendo de sucesos capitales que pueden ser básicos iniciadores, complejos, intermedios y/o factores condicionantes. El segundo, es una metodología que persigue identificar las causas reales de los problemas repetitivos y crónicos, con la finalidad de proponer, implantar y evaluar las acciones correctivas pertinentes que eliminen el problema, garantizando de esta manera la continuidad operacional y mejorar la eficiencia, confiabilidad y rentabilidad de los procesos.

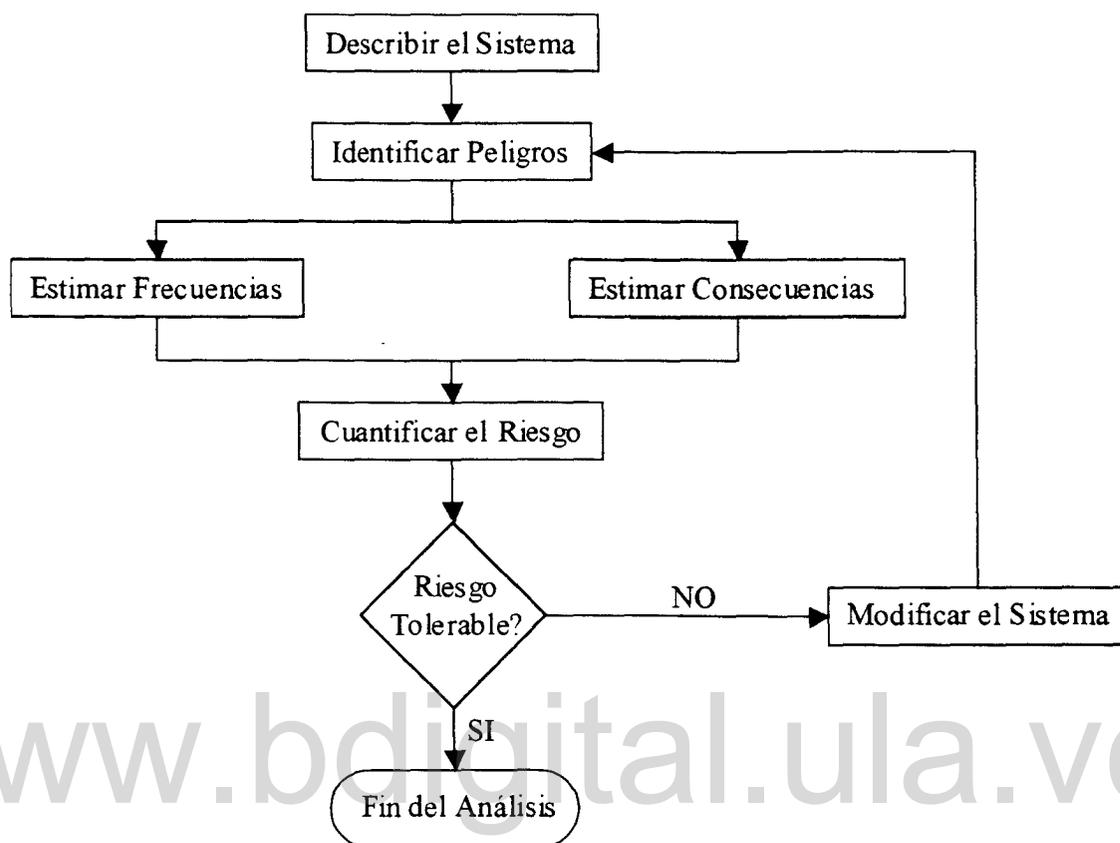


Figura III.1 Proceso del Análisis Cuantitativo de Riesgos.

III.2 ETAPAS DEL ANÁLISIS CUANTITATIVO DE RIESGOS:

III.2.1 IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS

Es la identificación de fuentes de accidentes significativos y las formas en que podrían ocurrir, inherentes al proceso y/o instalación. [7]

Algunos de los métodos y técnicas empleados para la identificación de peligros son:

- Análisis Preliminar de Peligros (APP)
- Estudio de Peligros y Operabilidad (HAZOP)
- Análisis de Modo de Falla y sus Efectos (AMFE/FMEA)
- Análisis ¿qué pasaría sí? (What if?)
- Análisis Cualitativo mediante Árboles de Fallas (FTA)
- Análisis Cualitativo Mediante Árboles de Eventos (ETA)
- Análisis de Error Humano
- Índices Dow-Mond
- Evaluación Técnica de Seguridad Industrial

III.2.1.1 Análisis Preliminar de Peligros (APP)

Este método de identificación de peligros tiene como objetivo detectar directamente y de manera detallada aquellos elementos de las instalaciones y de las operaciones de los que se sospecha la posibilidad de originar riesgos y accidentes, con el fin de proponer medidas concretas que mitiguen los riesgos asociados a estos elementos y aumenten su confiabilidad. [3]

Por lo general, este método es utilizado en el desarrollo de proyectos nuevos después de la etapa conceptual pues permite una temprana identificación de los peligros de manera económica y sencilla.

El análisis preliminar de riesgos no es un método sistemático ni estructurado, por lo que en algunos casos se pueden pasar por alto algunas causas importantes pero poco aparentes. Por otro lado, depende mucho de los conocimientos y experiencias de los que lo realizan y sus resultados son solamente cualitativos. [3]

III.2.1.2 Análisis de Modo de Falla y sus Efectos (AMFE/FMEA)

El método busca establecer los posible fallas en cada uno de los elementos de proceso y de control de una instalación, analizar las consecuencias de los

mismos y detectar si pueden ser origen de un accidente, con el objeto de establecer las medidas de protección pertinentes que eviten dichos fallas.

Este método cualitativo puede ser aplicado en las distintas etapas de un proyecto o en plantas ya existentes, resulta bastante económico y requiere de una documentación básica sencilla. Sin embargo, es un método no sistemático, por lo que pueden pasarse por alto fallas y consecuencias, por otro lado, no considera combinaciones de fallas coincidentes o en secuencia y solo toma en cuenta fallas por disyuntivas operacionales entre extremos, es por estas razones, que es recomendable emplearlo como base de análisis mas profundos y no como método definitivo de identificación de peligros.

III.2.1.3 Análisis ¿qué pasaría sí? (What if?)

Es un método de análisis cualitativo que tiene como objeto identificar las posibles desviaciones de los procesos y sus variables con respecto a su comportamiento normal o diseño original, los cuales darían lugar a sucesos indeseables. El método también identifica las consecuencias y los medios destinados a neutralizar o reducir el riesgo que implicarían dichas desviaciones. [3]

Este tipo de estudio es muy eficaz como método de análisis cualitativo preliminar, es muy variado pues considera riesgos de orígenes varios y es económico en tiempo y medios, ya que considera de manera directa las causas/consecuencias/remedio mas importantes.

El método debe ser realizado por un grupo multidisciplinario de profesionales con buenos conocimientos del proceso, del equipo y de las operaciones que se llevan a cabo en la instalación en estudio, por lo que el éxito del mismo dependerá en gran parte de la experiencia y conocimientos del grupo. [3]

La metodología se aplica planteando y anotando todas las preguntas QPS (Que Pasaría Si?) que se les ocurra a los integrantes a lo largo de todo el recorrido del proceso, lo cual generalmente se hace sobre el Diagrama de Proceso e Instrumentación (DP&I). Una vez generadas y revisadas todas las preguntas se procede a responderlas una por una, considerando las medidas que se deben tomar para prevenir el riesgo, anulándolo o disminuyéndolo, en su origen. [3]

III.2.1.4 Análisis Cualitativo mediante Árboles de Fallas (FTA)

Es un método cualitativo que analiza los eventos o sucesos de falla en sistemas complejos, descomponiendo los sucesos complejos hasta llegar a sucesos básicos mas sencillos que pueden considerarse como causas iniciadoras. La descomposición se hace dejando establecida la estructura (árbol de falla) que representa las relaciones causa-efecto y las interacciones (concomitaciones “y”, así como alternativas “o”) entre sucesos. [3]

El árbol de falla brinda una visión grafica de la combinación entre las fallas de los equipos y los errores humanos que pueden traducirse en eventos no deseados. Sin embargo, puede haber errores en la lógica del árbol y por ser una técnica binaria, no tiene en cuenta la velocidad en la que pueden producirse los acontecimientos, y es esta velocidad la que puede determinar que un evento sea peligroso o no.

A pesar de que los resultados de este método son cualitativos, el mismo deja preparado el marco estructural que sirve para realizar análisis cualitativos, semicuantitativos y cuantitativos de las relaciones e interacciones citadas, empleando los datos estadísticos de falla de los diferentes equipos analizados. En tal sentido fue utilizado este método, para determinar la frecuencia de falla de los equipos que conforman la Planta compresora Motatán II. El procedimiento seguido y una explicación mas detallada del mismo se encuentra en la sección III.3.2 de la presente tesis.

III.2.1.5 Análisis Cualitativo Mediante Árboles de Eventos (ETA)

Este método es muy similar al anterior, pero parte de los sucesos básicos que pueden considerarse como causas iniciadoras, y de allí se deducen los eventos complejos que pueden ser accidentes provenientes de dichos sucesos básicos.

Las predicción se hace por etapas, analizando por lo general, las dos alternativas de ocurrencia (si/no) de cada evento. El análisis deja establecida la estructura (árbol de eventos) que representa la relación causa-efecto entre los mismos, la cual sirve como base para efectuar un análisis cuantitativo de riesgos al colocarle las probabilidades de ocurrencia en cada rama del árbol y combinarlo con los resultados del método antes explicado (la frecuencia de falla). [3] Dicho procedimiento se encuentra explicado en mayor detalle en el sección III.3.2 de este mismo trabajo.

Al igual que el método anterior, éste requiere de mucho tiempo para su ejecución, sin embargo, es mas sencillo de establecer y analizar que los árboles de falla.

III.2.1.6 Estudio de Peligros y Operabilidad (HAZOP)

El HAZOP (que deriva su nombre de sus siglas en inglés), es un procedimiento que revisa sistemáticamente los parámetros de procesos para identificar los peligros y problemas potenciales de operabilidad, sus orígenes, sus consecuencias y sus remedios, a través de una serie de reuniones, durante las cuales un equipo multidisciplinario hace sistemáticamente un análisis exhaustivo del diseño de la planta, guiándose por la estructura proporcionada por las palabras claves que estudian la desviación del proceso y donde la experiencia del líder del grupo juega un papel determinante. [3,4,7]

Entre las ventajas que presenta el método se pueden citar:

- Es uno de los métodos cualitativos mas empleados para la identificación de riesgos. Sirve para detectar y corregir riesgos de importancia menor o media.
- Proporciona un marco formal y sistemático para el análisis cualitativo de riesgos.
- Sirve para instalaciones de procesos complejos, ya sean instalaciones existentes o proyectos nuevos.
- Facilita la concurrencia de juicios por profesionales implicados en el proyecto y operación de la planta.
- Facilita el discernimiento relativo a causa/desviación/efectos que deben ser objeto de análisis mediante métodos mas afinados y/o cuantitativos.
- Permite volver atrás, de forma sistemática y controlada, si en un momento dado, se descubren nuevas desviaciones que puedan afectar a sistemas analizados con anterioridad.
- Considera los elementos de equipo integrados en conjunto, no aislados, que es como van a operar realmente.

Para objeto de esta tesis, éste fue el método empleado para la identificación de peligros de la Planta Motatán II. Es necesario acotar que los HAZOPs ya existentes, tanto de la Planta Compresora, como de la Estación de Flujo, fueron consultados para obtener de los mismos los siguientes peligros potenciales asociados a la instalación:

- ✓ Rotura de tuberías de gas, resultando una fuga de gas
- ✓ Rotura de tuberías de crudo, resultando una fuga de crudo
- ✓ Fugas de gas en las válvulas, bridas y accesorios
- ✓ Fugas de crudo en las válvulas, bridas y accesorios
- ✓ Fugas de gas y/o crudo en los separadores y depuradores
- ✓ Fugas de crudo en las bombas
- ✓ Fugas de gas en los compresores
- ✓ Derrame de crudo por sobrenivel en los tanques.

III.2.2 ESTIMACIÓN DE FRECUENCIA DE FALLA

Una vez completada la identificación de los peligros, es necesario estimar cuantitativamente la frecuencia de ocurrencia de los eventos peligrosos y la magnitud de sus consecuencias, para poder cuantificar los riesgos.

Las técnicas utilizadas en la estimación de las frecuencias de falla fueron: los árboles de falla y los árboles de evento.

III.2.2.1 Árboles de Falla

Es una técnica deductiva que enfoca un evento o accidente en particular y construye un diagrama lógico de todas las secuencias de hechos posibles, tanto mecánicos como humanos, que pueden resultar en un accidente.[5]

El primer paso fue la elaboración de los árboles de demanda como etapa previa a la construcción de los árboles de falla. Para la construcción de los árboles de falla se utilizaron las compuertas “Y” y “O” . La primera representada por un triángulo, el cual muestra que los eventos que a él llegan tienen que ocurrir simultáneamente para que se produzca el evento tope u otro evento, y la segunda compuerta está representada por un rectángulo, y cualquier evento que llegue a él, con que ocurra por separado, dará lugar a la falla especificada.

Para determinar la frecuencia de los eventos peligrosos, y por ende cuantificar los árboles de falla, se utilizaron los valores de falla de la base de datos estadísticos contenidos en la guía IR-S-02 “Criterios para el Análisis Cuantitativo de Riesgos” de PDVSA”. [6]

A continuación se muestra como ejemplo el árbol de demanda y el árbol de falla del tren de compresión (figuras III.2 y III.3), los demás árboles de demanda y falla se pueden apreciar en el Anexo A.

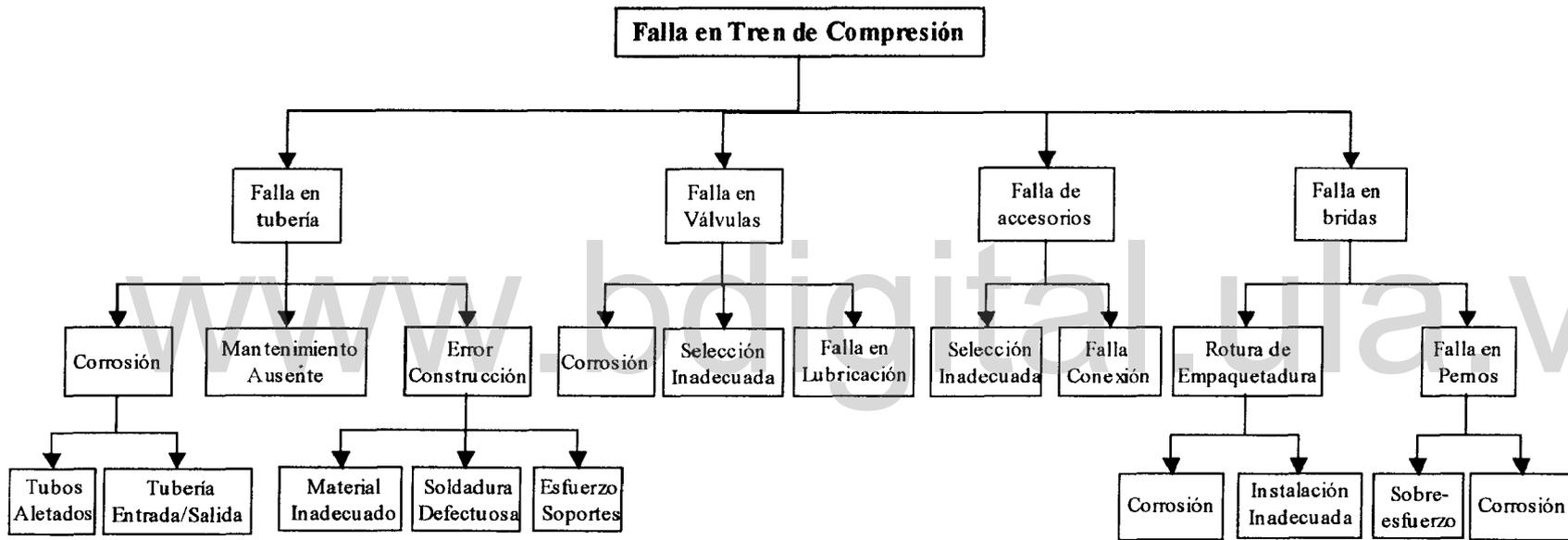


Figura III.2 Árbol de Demanda del Tren de Compresión

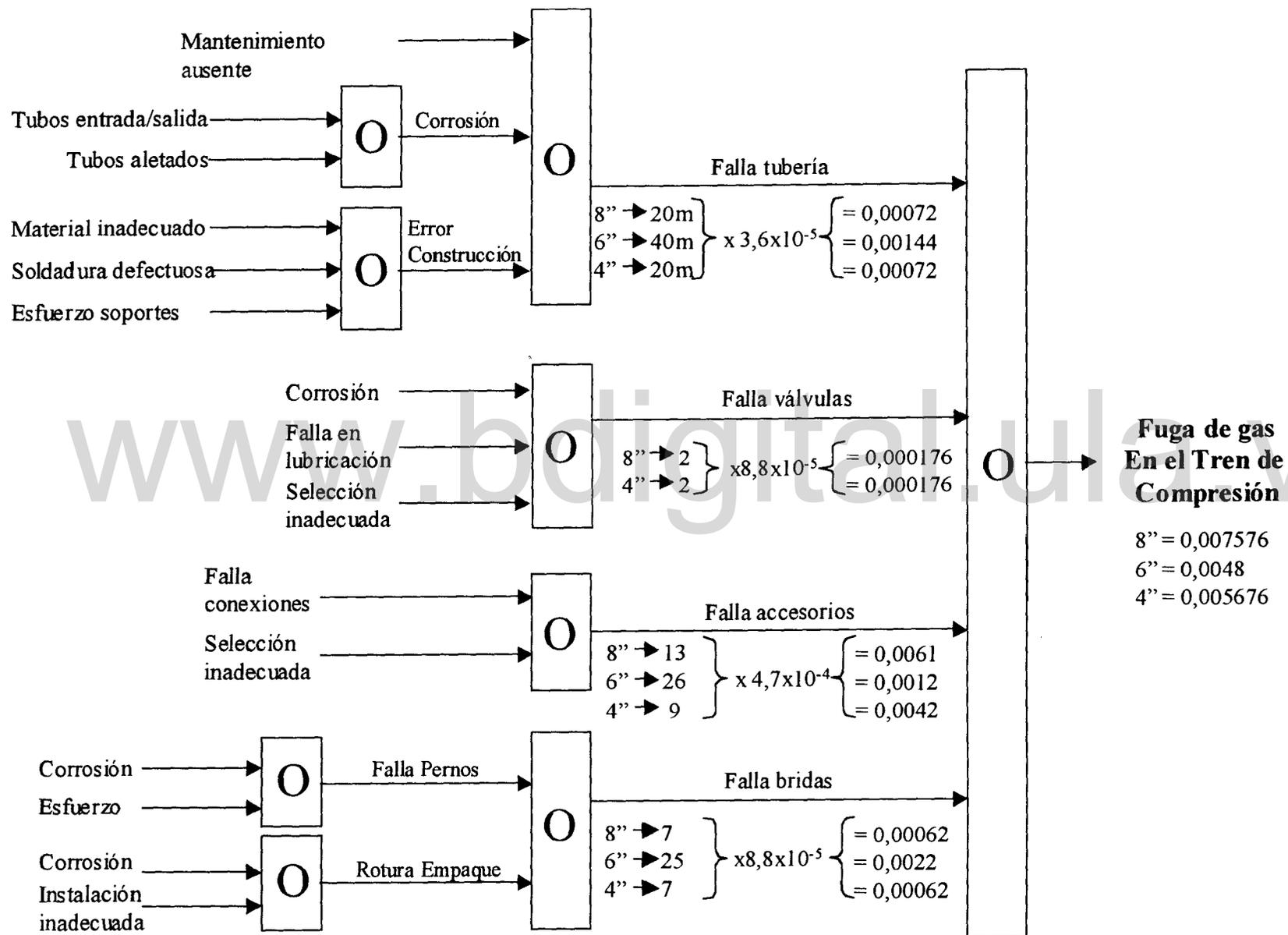


Figura III.3 Árbol de Falla en el Tren de Compresión

III.2.2.2 Árboles de Eventos

Es un modelo binario, gráfico y lógico que identifica y cuantifica los posibles escenarios resultantes de un evento iniciador, dando una cobertura sistemática de la secuencia de propagación del accidente. [7]

Mediante los árboles de eventos se identificaron los posibles escenarios que siguen al evento iniciador. Los mismos se construyeron de izquierda a derecha (modo convencional) y los títulos de eventos se indicaron en la parte superior del árbol, para los cuales se analizaron dos alternativas, la de ocurrencia "SI" y la de no ocurrencia "NO"; por lo tanto las probabilidades asociadas con cada rama del árbol sumaron 1 para cada título. La fuente de la data de probabilidad condicional empleada fue la guía IR-S-02 "Criterios para el Análisis Cuantitativo de Riesgos" de PDVSA". [6]

La frecuencia de cada escenario se determinó multiplicando la frecuencia del evento iniciador por la probabilidad condicional a lo largo del desarrollo del árbol para ese escenario.

Es importante mencionar que para la construcción de los árboles de eventos se emplearon tres tamaños de rotura tomadas del criterio de PDVSA, lo cual se encuentra explicado en el capítulo IV.

A continuación se muestra el árbol de eventos del tren de compresión (figura III.4). Los árboles de eventos de los demás equipos analizados se encuentran recopilados en el Anexo A.

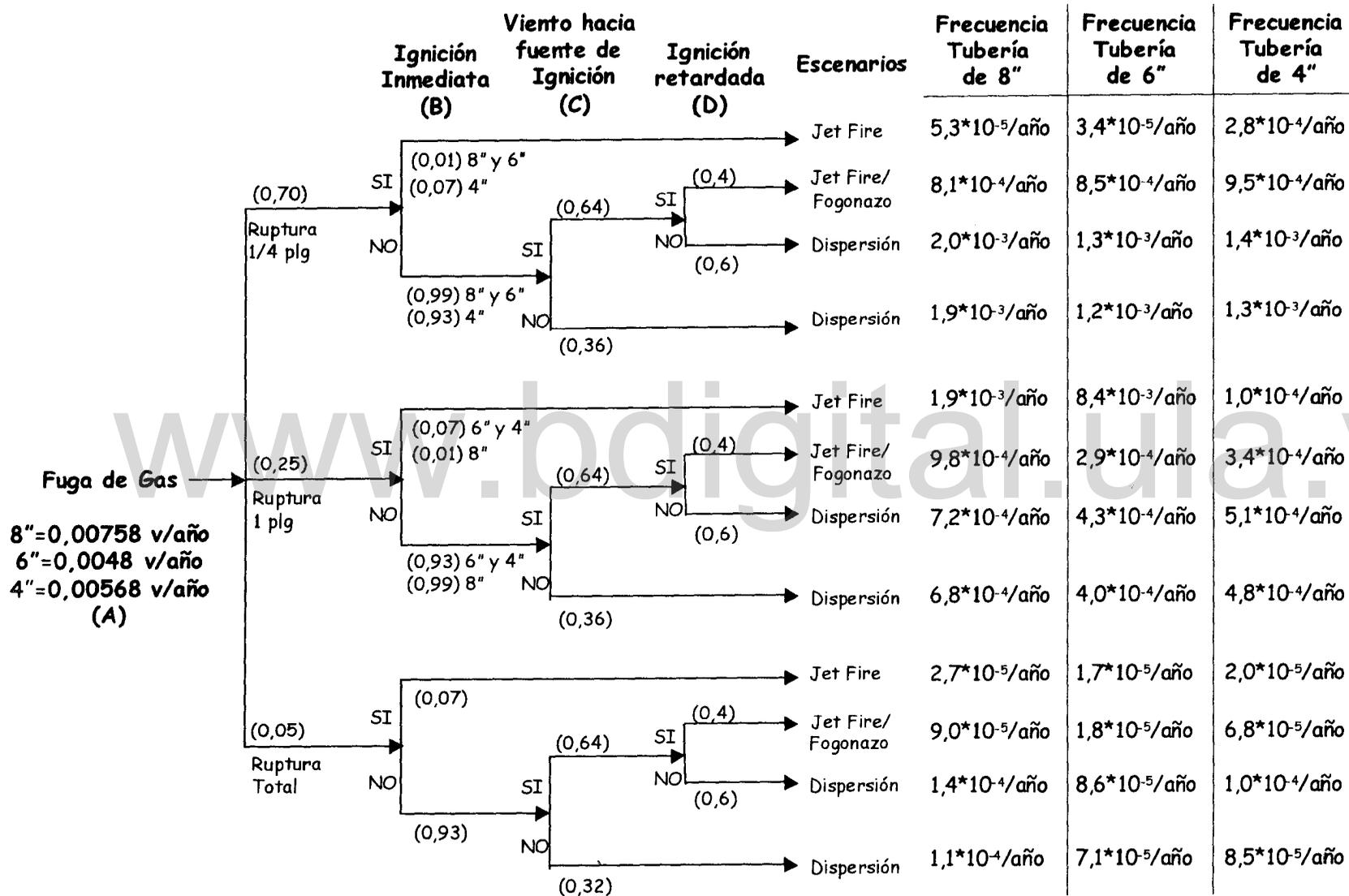


Figura III.4 Árbol de Eventos del Tren de Compresión

III.2.3 ESTIMACIÓN DE CONSECUENCIAS

Es la estimación cuantitativa de las consecuencias potenciales del accidente, en la que se intenta estimar el área afectada y por ende la probabilidad de que las personas ubicadas en diferentes ambientes, a diferentes distancias del sitio del evento no deseado, puedan resultar muertas o seriamente lesionadas. [6,7]

Los posibles escenarios asociados a los accidentes determinados a través de la identificación de peligros y los árboles de eventos son:

- Chorro de Fuego (JET FIRE)
- Explosión de nube de vapor (VCE)
- Fogonazo (FLASH FIRE)
- Piscina de fuego (POOL FIRE)
- Dispersión de gas
- Derrame de crudo

La definición de los eventos antes mencionados se encuentra en el glosario. El evento nube tóxica no fue considerado pues la cantidad de H₂S presente en el crudo es prácticamente insignificante.

Las consecuencias originadas por los peligros de los escenarios de accidentes anteriormente mencionados son, la exposición a la radiación térmica de operadores, terceros, equipos y propiedades, y la exposición de personas, equipos y propiedades a ondas de sobrepresión o proyecciones de fragmentos de material producto de la rotura de recipientes.

Los modelos de estimación de consecuencias se basan en el principio general de que la severidad de una consecuencia es función de la distancia a la fuente de descarga.

Dado que los modelos matemáticos para la estimación de consecuencias implican una gran cantidad de operaciones complejas, para la realización de esta tesis se utilizó como herramienta de cálculo el paquete computarizado Canary elaborado por la empresa Quest Consultant Inc.

La manera en que está diseñado el Canary hace que los datos necesarios a introducir para los modelos de consecuencias sean los mínimos, pues el mismo contiene una extensa base de datos de propiedades físicas y termodinámicas, o éstas son generadas por programas ingenieriles específicos contenidos dentro del Canary. El paquete permite definir el evento iniciador, el tipo de peligro, y el alcance del peligro que el modelo utilizará para definir los límites, el tamaño y la forma de la zona de afectación.

A continuación se presenta una breve explicación del funcionamiento del paquete. En la primera ventana se introduce el nombre que identificará el caso en estudio y mediante el cual quedará grabada (Case name) la información introducida (y las modificaciones, si ese fuese el caso), y los resultados arrojados por la corrida.

Project Directory: usr\canary\results\compreso\
Case Title: dispersion en compresores lineas de succion rotura 0.25
Case Name: discom6
User ID: tesis
Project Number: 1
Case Type:
 Vapor Dispersion/VCE
 Explosions
 Pool Fire
 Flare/Torch Fire
 Fireball (BLEVE)
Units:
 Metric English
Cancel Next ->

Figura III.5 Primera ventana del Canary

De igual forma, es en esta ventana donde se escoge el sistema métrico a emplear y el evento que se va a simular (Case Type) los cuales son:

- ✓ **Dispersión de vapor (Vapor Dispersion/VCE):** éste al ser seleccionado podrá generar tres tipos de información [14]:
 - **Cálculos de Fuga:** La tasa de fuga de fluido del proceso será calculada en base a los datos que le sean introducidos (input). El estado del fluido después de la fuga será calculado en función del tiempo de fuga, así como la rata de vaporización en el caso de fuga de líquido acumulado como una piscina.
 - **Dispersión de Vapor:** Que calculará el tamaño y la forma de la nube de vapor resultante, basado en la tasa de fuga calculada o de los datos introducidos de la descripción de la fuga. También son calculados el tamaño y la forma de la nube a diferentes niveles de concentración determinados por el usuario, para diferentes tiempos a medida que va creciendo la nube y cuando alcanza su máxima dimensión.
 - **Explosión de Nube de Vapor:** Basado en los resultados del modelado de dispersión, el Canary calcula la máxima cantidad de vapor que se encuentra dentro de los límites de inflamabilidad. El paquete utiliza esta información y los datos introducidos por el usuario para calcular, por medio del modelo de explosión Baker-Strehlow, el alcance de los niveles de sobrepresión que se producirían si se explotase la nube.

A continuación se muestra como ejemplo, una lista de resultados que genera la opción dispersión de vapor, en la cual se puede observar como el paquete va calculando al transcurrir el tiempo, la variación del flujo de vapor por la fuga. En este caso no hay formación de aerosol y tampoco fuga de líquido. De igual manera se encuentra indicado que la razón por la que finalizan los cálculos es debido a que se alcanzó el tiempo introducido como tiempo de fuga.

Al final de la tabla se encuentran las tasas de flujos calculados para chorro de fuego con ignición inmediata y el valor para ignición retardada.

La figura III.6 es una de las gráficas resultante de la corrida antes mencionada en la cual se puede observar la forma que toma la dispersión de gas y la distancia a la cual llega desde el punto de origen tanto en sentido vertical como en sentido horizontal. Las dos diferentes curvas que se observan en la gráfica representan los límites de inflamabilidad.

Tabla III.1 Resultados de la simulación en el Canary de una Dispersión de vapor

Time (sec)	Vapor (kg/sec)	Aerosol Rate (kg/sec)	Liquid Rate (kg/sec)	Total Rate (kg/sec)
.0000000	18.3551	.000000	.000000	18.3551
.1000000E-01	17.9391	.000000	.000000	17.9391
.3000000E-01	17.1062	.000000	.000000	17.1062
.5000000E-01	16.3250	.000000	.000000	16.3250
.7000000E-01	15.5922	.000000	.000000	15.5922
.1000000	14.5782	.000000	.000000	14.5782
.3000000	9.85965	.000000	.000000	9.85965
.5000000	6.42012	.000000	.000000	6.42012
.7000000	5.35356	.000000	.000000	5.35356
1.000000	5.22372	.000000	.000000	5.22372
3.000000	5.22326	.000000	.000000	5.22326
5.000000	5.22326	.000000	.000000	5.22326
7.000000	5.22326	.000000	.000000	5.22326
10.00000	5.22326	.000000	.000000	5.22326
30.00000	5.22326	.000000	.000000	5.22326
50.00000	5.22326	.000000	.000000	5.22326
70.00000	5.22326	.000000	.000000	5.22326
100.0000	5.22326	.000000	.000000	5.22326
300.0000	5.22326	.000000	.000000	5.22326
500.0000	5.22326	.000000	.000000	5.22326
600.0000	5.22326	.000000	.000000	5.22326

Flowrate for Torch Fire [immediate ignition] = 5.3 kg/sec.

Torch Fire [delayed ignition] = 5.2 kg/sec.

Reason for Ending: Reached Stop Time

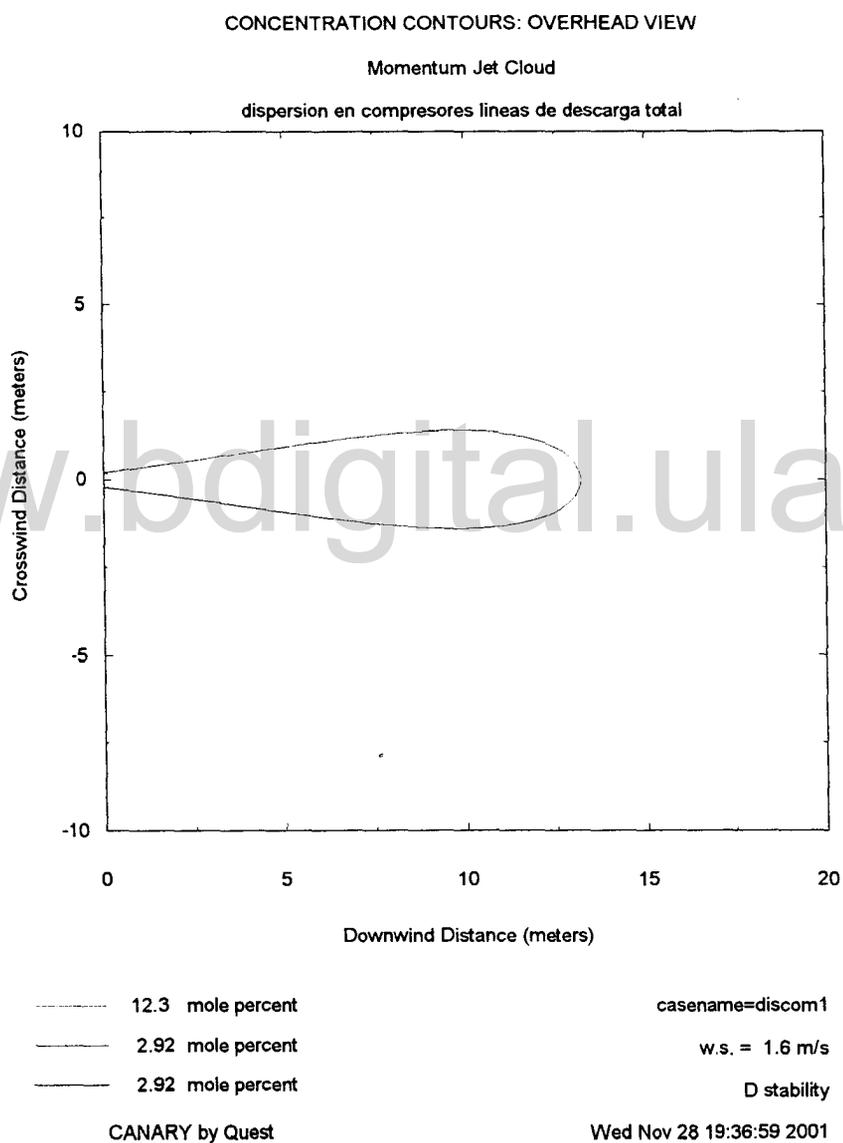


Figura III.6 Grafica de la Dispersión de Vapor generada por el Canary

- ✓ Explosión (Explosions): esta opción ofrece dos métodos distintos de cálculo. El modelo de explosión Baker-Strehlow ofrece un método de cuatro parámetros para describir un área semi-confinada. El usuario debe definir el material y la masa o el volumen a ser confinado, y luego escoger en los cuatro parámetros (reactividad del combustible, densidad de obstáculo, expansión de la llama y factor de reflexión) las opciones que mejor describan el volumen de confinamiento. El segundo método, el del modelo TNT, que se emplea para calcular el alcance de las ondas de sobrepresión resultante de una explosión de una nube de vapor y en el se deben introducir los mismos datos antes mencionados. En ambos modelos, el Canary calcula los niveles de sobrepresión como función de la distancia de donde se origina la explosión. [14]

- ✓ Piscina de Fuego (Pool Fire): este escenario describe una piscina de líquido incendiada en estado estable, cuya forma rectangular o circular es predeterminada por el usuario. Para este caso se deberá introducir la elevación de la base de la llama, la elevación del objetivo y los niveles de flujo de radiación incidente para los cuales se determinará la distancia de afectación. [14]

A continuación se muestra la forma en que el Canary presenta los resultados tabulados (tabla III.2) y graficados (figura III.7) de la piscina de fuego. La gráfica muestra la forma y el tamaño de la piscina incendiada, así como la distancia a la cual llegan las radiaciones predeterminadas por el usuario.

Tabla III.2 Resultados de la simulación en el Canary de una Piscina de Fuego

—Distance from Center of Pool—			Vertical	Horizontal	Maximum
Downwind	Crosswind	Line of Sight	Flux	Flux	Flux
(meters)	(meters)	(meters)	(kW/sq.m)	(kW/sq.m)	(kW/sq.m)
12.9	0.0	12.9	5.3	15.7	16.9
13.9	0.0	13.9	5.8	14.7	16.1
14.9	0.0	14.9	6.2	13.4	15.1
16.1	0.0	16.1	6.4	12.1	14.0
17.3	0.0	17.3	6.4	10.7	12.7
18.5	0.0	18.5	6.2	9.4	11.4
19.9	0.0	19.9	5.9	8.1	10.1
21.4	0.0	21.4	5.5	6.9	8.9
23.0	0.0	23.0	5.1	5.8	7.8
24.8	0.0	24.8	4.6	4.8	6.7
26.6	0.0	26.6	4.2	3.9	5.7
28.6	0.0	28.6	3.7	3.1	4.9
30.7	0.0	30.7	3.2	2.4	4.1
33.0	0.0	33.0	2.8	1.9	3.4
35.5	0.0	35.5	2.4	1.4	2.8
38.2	0.0	38.2	2.0	1.1	2.3
41.0	0.0	41.0	1.7	0.8	1.8
44.1	0.0	44.1	1.4	0.6	1.5
47.4	0.0	47.4	1.1	0.4	1.2
51.0	0.0	51.0	0.9	0.3	1.0

Downwind Distances to Endpoints:

Distance (meters)	Maximum Flux (kW/sq.m)
16.5	13.5
22.7	8.0
28.3	5.0

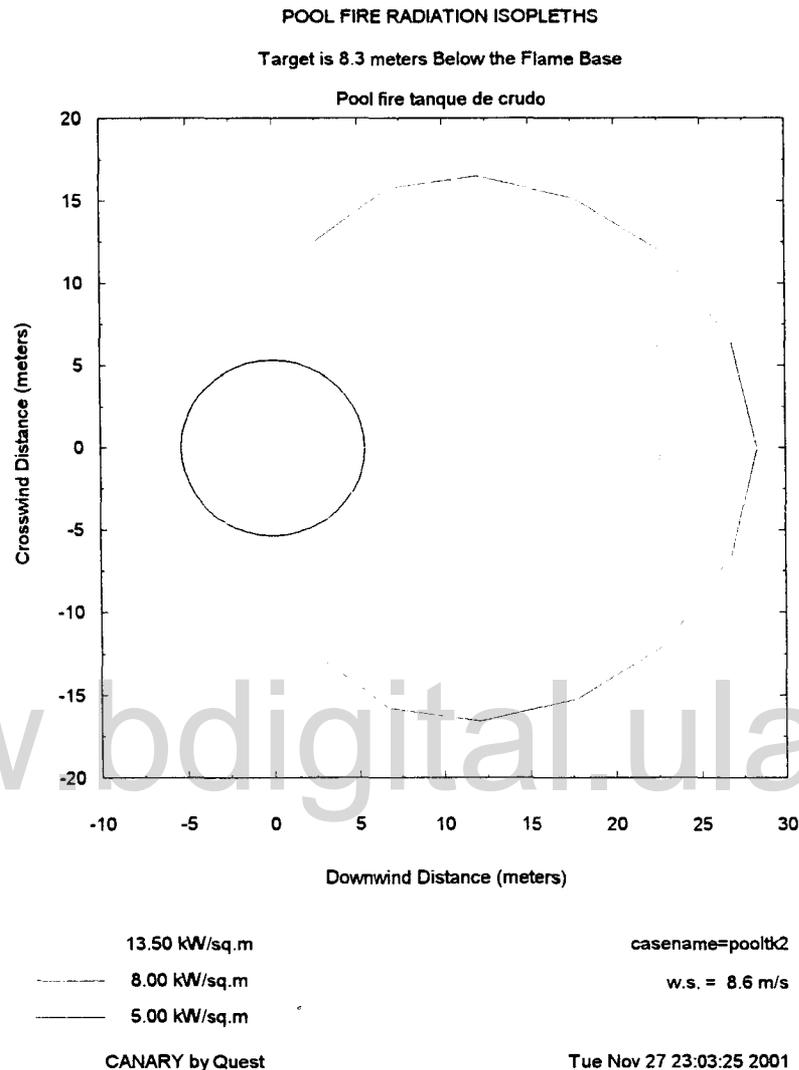


Figura III.7 Gráfica de la Piscina de Fuego generada por el Canary

- ✓ Chorro de fuego (Flare/Torch Fire): esta opción permite calcular un chorro de fuego tipo jet a cualquier elevación y con generación de radiación vertical u horizontal. El usuario deberá definir la elevación de la base de la llama, la elevación del objetivo, el ángulo de la fuga con respecto a la horizontal, la tasa de flujo que supe el chorro de fuego y los niveles de flujo de radiación incidente para los cuales se determinará la distancia de afectación. Los resultados de este tipo de evento son presentados en forma similar a los de la piscina de fuego. [14]

- ✓ Bola de Fuego (BLEVE): Este modelo realiza cálculos dinámicos para describir el tamaño y la ubicación de la bola de fuego y la exposición esperada de calor a las áreas circundantes. Este modelo puede ser utilizado para describir los peligros asociados con una explosión de vapor de líquido en ebullición (BLEVE), o de un escape instantáneo de un fluido inflamable. [14]

En la piscina incendiada, chorro de fuego y bola de fuego, el Canary calcula el flujo de radiación de calor como función de la distancia desde el origen de fuego, basado en el tamaño y la ubicación del incendio y las condiciones atmosféricas.

La segunda pantalla es donde se introducen la composición del fluido así como las condiciones de temperatura y presión de almacenamiento antes de la fuga, con los cuales el paquete calculará las propiedades del material.

discom5: Material Selection

ID #	Component Name	Mole Fraction
1	1 = CH4 Methane	0.139836
2	2 = C2H6 Ethane	0.324002
3	3 = C3H8 Propane	0.284462
5	5 = C4H10 n-Butane	0.0341174
4	4 = C4H10 Isobutane	0.0549041
7	7 = C5H12 n-Pentane	0.0133306
8	8 = C6H14 n-Hexane	0.0151382
17	17 = CO2 Carbon Dioxide	0.123139
16	16 = N2 Nitrogen	0.0097155
18	18 = H2S Hydrogen Sulfide	0.0013556

Initial Phase
 Vapor Liquid 2-Phase

Sum of Mole Fractions: 1

Temperature: 45.00 C

Pressure: 310.264 kPa

Verify Phase/Renormalize Bubble/Dew Points

< Previous Cancel Next >

Figura III.8 Segunda Ventana del Canary. Selección del Material.

La tercera pantalla es donde se introducen los datos de las condiciones ambientales donde se incluyen: temperatura y presión atmosférica, velocidad de viento, humedad relativa y estabilidad de Pasquill, tipo y temperatura de la superficie del derrame y tipo de terrenos circundantes.

Reference wind speed:	5.111	m/s
Wind speed measurement height	12	m
Stability class (Pasquill-Gifford, A-F)	F	
Relative humidity	77	%
Air temperature	27.7	C
Spill surface temperature	30	C
Spill surface	Dike material - high density concrete	
Surrounding terrain (Zr)	Forest, dense urban, or process area, [1.0 m]	
Surrounding surface roughness	1	m

< Previous Cancel Next >

Figura III.9 Tercera Ventana del Canary. Condiciones Ambientales.

En la cuarta pantalla se introduce la descripción de la fuga en donde se incluye: el tipo de fuga (instantáneo o continuo), masa fugada (solo para instantáneo), tiempo de duración de la fuga, fuga regulada o no regulada. Cuando la fuga es no regulada el paquete pide la información del sistema (diámetro y longitud de la tubería, tamaño del recipiente y porcentaje de líquido, tasa de flujo normal antes de la fuga, área de fuga, altura de la fuga, etc.) para determinar la tasa de fuga.

discom6. Release Description

Type of Release

Instantaneous Release Mass Released kg

Continuous Release Release Duration minutes

Regulated Unregulated

Regulated flow	<input type="text" value="5.22326"/>	kg/s
Normal flow rate	<input type="text" value="5.22326"/>	kg/s
Duration of normal flow	<input type="text" value="35"/>	min
Volume of vessel	<input type="text" value="1.18"/>	cu. m
Percent of vessel filled with liquid	<input type="text" value="5"/>	%
Liquid head above release point	<input type="text" value="0"/>	m
Pipe diameter	<input type="text" value="0.2027"/>	m
Release area (hole size)	<input type="text" value="3.15695e-005"/>	sq. m
Pipe length upstream of break	<input type="text" value="1"/>	m
Pipe length downstream of break	<input type="text" value="0"/>	m
Height of release point	<input type="text" value="1"/>	m
Angle of release from horizontal	<input type="text" value="0"/>	deg.

< Previous Cancel Next >

Figura III.10 Cuarta Ventana del Canary. Descripción de la Fuga.

Los criterios empleados en las corridas de los eventos se encuentran explicados en el siguiente capítulo junto con los resultados obtenidos para dichas corridas.

III.2.4 CUANTIFICACIÓN DEL RIESGO

En la percepción y aceptación de los riesgos por parte del público en general existen diversos factores objetivos y subjetivos que crean tensión con respecto a la presencia de plantas industriales. Uno de los objetivos perseguidos por el desarrollo de un Análisis Cuantitativo de Riesgos está precisamente en medir los riesgos, con el fin de conducir a una racionalización que facilite un peso mayor de criterios objetivos en la

percepción y aceptación de los riesgos, al comparar los valores obtenidos de riesgo con los criterios de tolerancia establecidos por el país u organización.

[3]

Las medidas mas comunes de cuantificación del riesgo son las llamadas Riesgo individual y Riesgo social, que combinan la información de posibilidad y magnitud de las perdidas o lesiones provenientes de un peligro. [6]

III.2.4.1 Riesgo Individual

Se entiende por riesgos individuales los que corre una persona que pueda estar en cualquier punto de la zona de efectos del accidente, de allí que se toma como riesgo a los operadores de la instalación, considerando la posibilidad de que ocurra y el periodo de tiempo en que puede ocurrir, y la naturaleza de la lesión que sufra la persona. Por lo general, el grado de lesiones que se consideran para un Análisis Cuantitativo de Riesgos son lesiones irreversibles o fatalidades, pues de ellas se tiene más estadísticas registradas. [3,4,6]

El riesgo individual para un nivel específico de daños se calcula tomando en consideración las siguientes variables: [6]

- ✓ La frecuencia del evento.
- ✓ 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.
- ✓ La probabilidad de que una persona esté en ese lugar.
- ✓ La probabilidad de que una persona llegue a un refugio o escape de una atmósfera peligrosa.

Este tipo de riesgo se calcula en base al método de contornos de riesgos, denominados curvas de isorriesgo, pues son curvas de contorno graficadas alrededor de la fuente origen del riesgo, que representan situaciones en el

espacio, con igual valor de riesgo, es decir con igual frecuencia de ocurrencia. Las mismas proceden de establecer la variación del riesgo individual en función de la distancia y tomar valores concretos y particulares. En la figura III.11 se puede observar un ejemplo de contornos de riesgo individual en un punto específico (ubicación de una planta petroquímica) sobre un mapa.

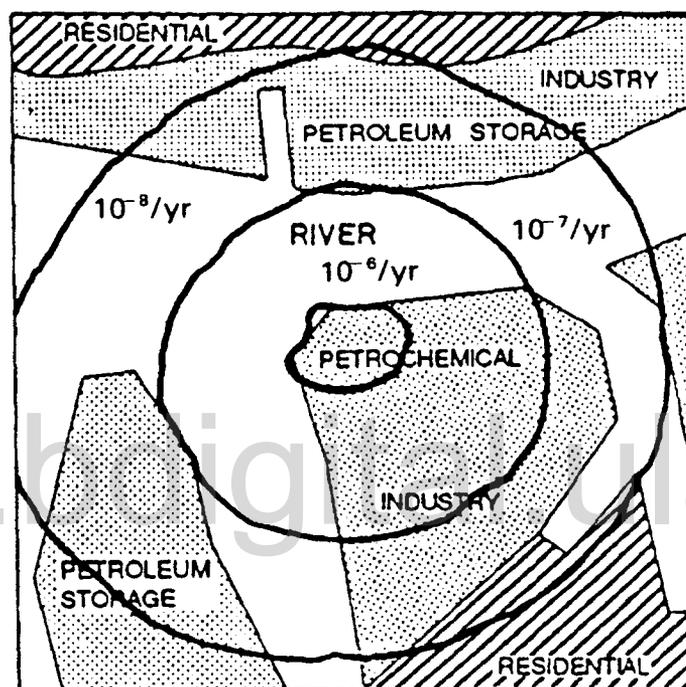


Figura III.11 Ejemplo de Isocurvas. Contornos de Riesgo Individual

En el capítulo V se encuentra explicado el procedimiento empleado para el cálculo del riesgo individual de la Planta Motatán II, así como los criterios de PDVSA contra los cuales se compararon los resultados obtenidos.

III.2.4.2 Riesgo Social

Algunos incidentes tienen el potencial de afectar a muchas personas, de allí que el riesgo social es la medida del riesgo sobre un grupo de personas. El riesgo social por lo general viene expresado como la relación entre la frecuencia de ocurrencia de un accidente y el número de personas de una

población sometidos a un nivel específico de daño. Es por ello, que para el cálculo, es necesario la información de las frecuencias y consecuencias, así como los datos poblacionales de los asentamientos alrededor de la instalación.
[6]

Para el calculo del riesgo social de un nivel específico de daño, es necesario tomar en consideración los mismos factores resaltados en el riesgo individual incluyendo el número de personas afectadas por el evento.

El riesgo social se representa gráficamente mediante la curva de Frecuencia acumulada versus Número de Fatalidades o consecuencias (F vs N), la cual se compara con la curva de tolerancia de riesgo social F- N establecida por PDVSA, la cual se muestra a continuación:

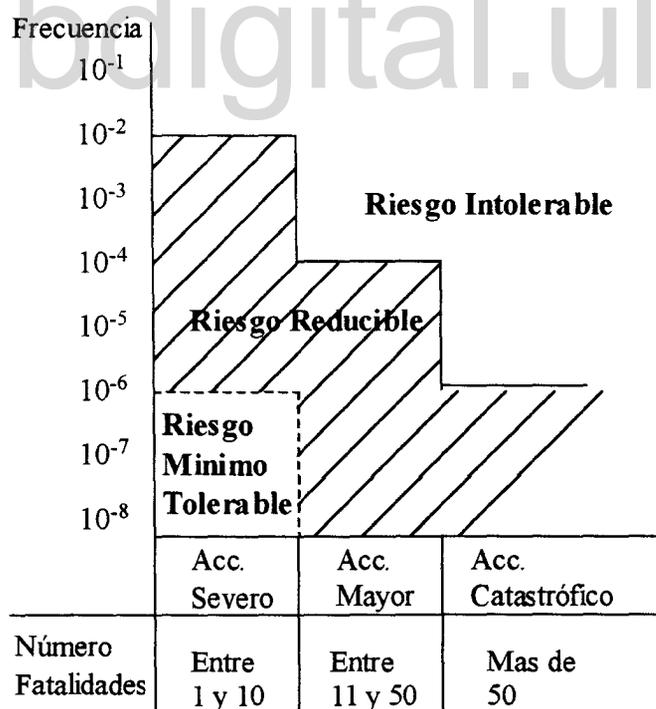


Figura III.12 Criterio PDVSA de Tolerancia de Riesgo Social

Es importante acotar que la curva antes mencionada, presenta incongruencias al momento de analizar los números de muertos sobre una misma frecuencia debido a su carácter escalonado, pues como se puede observar, por ejemplo, para una frecuencia de 10^{-4} se cae en la interrogante de que si un número de muertos de 10 y de 50 según esta gráfica son equivalentes y aceptables. De hecho, a nivel mundial existen diferentes criterios para estas curvas pero todas en forma lineal, definiendo tres (3) zonas diferentes, tal como se puede observar en la siguiente figura donde se representa la guía propuesta por el Reino Unido para criterios de tolerancia de Riesgo Social [15].

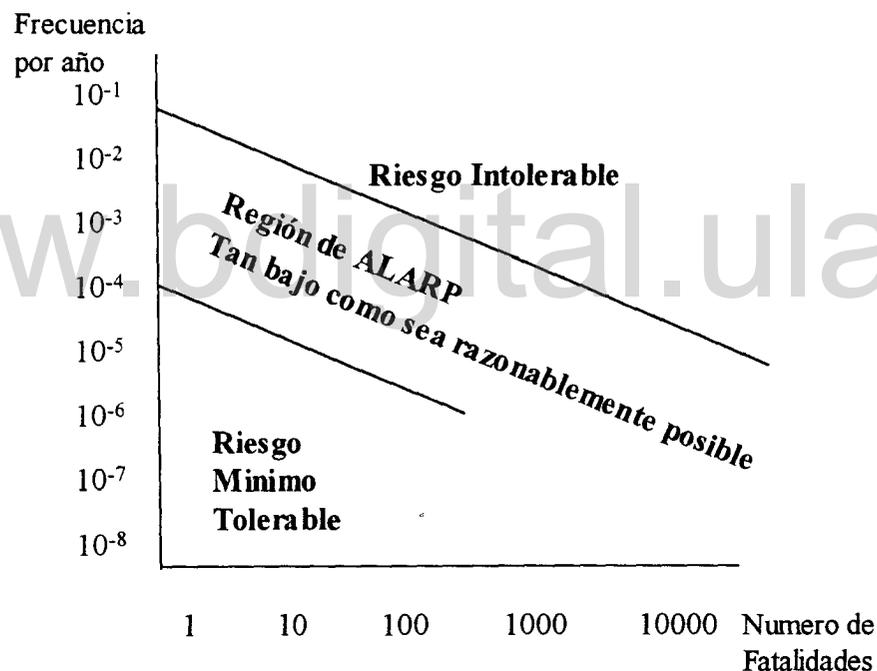


Figura III.13 Guía de Tolerancia de Riesgo Social propuesta por el Reino Unido

Hacia esta tendencia debería moverse PDVSA para actualizar y mejorar los criterios sobre tolerancia de Riesgo Social, con el objeto de eliminar las incongruencias explicadas respecto a la figura II.12. El Riesgo Individual y el Riesgo Social de la planta en estudio se encuentran explicados e interpretados en el capítulo V.

III.3. METODOLOGÍA A UTILIZAR

La metodología empleada para llevar a cabo el Análisis Cuantitativo de Riesgos de la planta Motatán II se encuentra dividida en tres etapas como se explica a continuación:

III.3.1 ETAPA PRELIMINAR

Esta etapa consta de la recopilación y revisión de información concerniente a:

- ✓ Aspectos generales de la planta
- ✓ Características de sus procesos
- ✓ Planos
- ✓ Informes de inspecciones
- ✓ Modificaciones realizadas
- ✓ HAZOP

III.3.2 ETAPA INTERMEDIA

- ✓ Verificación en campo de los planos: Se verificaron las dimensiones de los equipos y tuberías, la distancia entre equipos, tuberías, etc.
- ✓ Identificación de los Riesgos.
- ✓ Determinación de la Frecuencia de Falla de los componentes.
- ✓ Realización de cálculos de consecuencias, mediante paquete de computación “Canary”.
- ✓ Construcción de curvas de iso-riesgo.
- ✓ Determinación de riesgo social e individual.
- ✓ Determinación de la zona de seguridad.

III.3.3 ETAPA FINAL

- ✓ Análisis y Discusión de Resultados
- ✓ Elaboración de Conclusiones y Recomendaciones.

CAPÍTULO IV

ESTIMACIÓN DE CONSECUENCIAS

www.bdigital.ura.ve

IV.1. DATOS Y CRITERIOS EMPLEADOS PARA LA ESTIMACIÓN DE CONSECUENCIAS

Como se mencionó en el capítulo anterior, la estimación de consecuencias se realizó mediante la simulación en el paquete computacional Canary, para los posibles eventos no deseados en cada equipo. Para ello fue necesario tomar en cuenta ciertos criterios que a continuación se presentan.

En primer lugar, el simulador Canary solo admite la introducción de 10 componentes, por lo tanto, fue necesario asumir una agrupación de componentes representativa para el fluido. Dicha agrupación se realiza en base a la similitud de propiedades de ciertos componentes.

En el caso de este trabajo, se tomó como referencia la lista de materiales simuladas para el Análisis de Riesgos Basado en Inspección (ver anexo B). [8] La siguiente tabla presenta los valores resultantes de la agrupación, los cuales se identificaron según el componente que presentase mayor porcentaje en la suma, tomados de la tabla II.2.

Tabla IV.1.- Componentes del fluido de yacimiento introducidos al Canary.

Material Representativo	Componente en mayor %	Líquido de flash %molar	Fluido de yacimiento %molar
N ₂	N ₂	0,00	0,13
CO ₂	CO ₂	0,04	1,14
C1 - C2	CH ₄	0,74	22,05
C3 - C4	n-C ₄ H ₁₀	2,34	6,89
C5	n-C ₅ H ₁₂	3,27	3,61
C6 - C8	C ₈ H ₁₈	24,25	17,9
C9 - C12	C ₁₀ H ₂₂	29,48	20,54
C13 - C16	C ₁₄ H ₃₀	11,29	7,87
C17 - C25	C ₂₂	28,56	19,88

En cuanto a la composición del gas no fue necesario agrupar ningún componente. Dicha composición se obtuvo de la cromatografía de una muestra gas de la entrada a los compresores (succión).

Tabla IV.2.- Componentes del Gas introducidos al Canary.

Componente en mayor %	Gas de flash Fracción molar
N ₂	0,43
CO ₂	0,0545
CH ₄	0,6189
C ₂ H ₆	0,1434
C ₃ H ₈	0,1259
n-C ₄ H ₁₀	0,01510
i-C ₄ H ₁₀	0,0243
n-C ₅ H ₁₂	0,0059
C ₆ H ₁₄	0,0056
C ₇ H ₁₆	0,0011

IV.1.1 DATOS METEOROLÓGICOS

Los datos meteorológicos de la zona requeridos por el simulador, fueron obtenidos a través del Servicio de Meteorología de las Fuerzas Aéreas de Venezuela. Dichos datos son medidos en la estación meteorológica de Mene Grande a 27 metros sobre el nivel del mar, a una elevación de 12 metros; la cual se encuentra aproximadamente a 31 km de la planta.

Todos los eventos se simularon para dos velocidades de viento y dos estabilidades, según la combinación que se presenta a continuación, pues los mismos son los que representan las condiciones mas probables que se pueden dar en ésta área del país, tomando en cuenta que las estabilidades A, B y C para condiciones de clima inestable, por lo general no se dan en Venezuela.

- ✓ Velocidad promedio con estabilidad F, ya que esta estabilidad representa condiciones estables.
- ✓ Velocidad máxima con estabilidad D, condiciones que presentan la situación mas desfavorable. Ver tabla C.1 del anexo C para la tabla de estabilidad de Pasquill.

Se tomó la velocidad máxima mas representativa de los tres años, siendo la misma 31 Km/h.

A continuación se encuentran tabulados los datos para las condiciones del clima promedio de los años 1999, 2000 y 2001, obtenidos a partir de las tablas en el anexo C.

Tabla IV.3.- Condiciones meteorológicas promedio.

ELEMENTO	1999	2000	2001	Promedio
Temperatura (°C)	27.3	27.1	28.6	27.67
Humedad (%)	81	79	74	78
Velocidad del Viento (Km/h)	5.4	5.8	6,2	5.8
Dirección del viento (preval)	NE	NE	NE	NE

Nota: Los valores promedio para el año 2001 fueron obtenidos con los datos climatológicos de los meses que van desde enero hasta julio.

IV.1.2 TIEMPOS DE RESPUESTA

Para el cálculo de consecuencias a través del Canary es necesario introducir el tiempo de fuga del producto el cual afectará la magnitud del evento. Dicho tiempo está directamente relacionado con el tiempo de respuesta del personal de la instalación quien toma las acciones necesarias para detener la fuga, o parar el proceso.

El tiempo de respuesta en parte depende de la manera en que es detectada la fuga, ya sea desde sala de control, o directamente por el operador en la planta. Por otro lado también se ve afectado por el tiempo empleado por el operador en confirmar la fuga, el tiempo empleado para aislar el equipo y el tiempo para desalojar el producto fugado.

Para propósitos del cálculo de consecuencias se emplearon los tiempos estimados (ver tabla IV.4), para la detección y aislamiento de fugas sin presencia de operadores, obtenidos de la refinería el Palito a partir de preplanteamientos y simulacros [9]. Estos valores coinciden con lo establecido en el Manual de la Metodología de Análisis de Riesgos Basado en Inspección [8], en el cual se determina el tiempo estimado de duración de fuga o tiempo de detección según la presencia o no de sistemas de detección y de sistemas de aislamiento. De esta forma, se obtuvo una clasificación de sistema de detección A y una clasificación de sistema de aislamiento B para el cual los tiempos de duración de fuga son: 30 minutos para fugas de 1/4 plg, 20 minutos para fugas de 1 plg y 10 minutos para fugas de 4 plg. (ver tablas B.4 y B.5 del Anexo B)

Tabla IV.4.- Tiempos de Respuesta. [9]

	Fuga Pequeña (1/4 plg)	Fuga Mediana (1/4 - 1 plg)	Fuga Grande Ruptura total
Detección	30 min	10 min	5 min
Aislamiento	5 min	5 min	5min
Total	35 min	15 min	10 min

IV.1.3 Tamaño de Roturas

Para los propósitos del estudio, se consideraron tres tamaños de roturas ¼ plg, 1 plg y rotura total, que representasen casos pequeños, medianos y rotura total respectivamente (ver tabla IV.5). Estos valores de roturas fueron

seleccionados para cubrir el potencial de las consecuencias tanto a nivel de planta como en sus alrededores. En tal sentido, los casos de roturas pequeñas y medianas generalmente dominan los efectos causados dentro de la planta, siendo la rotura total la que domina el riesgo en las afueras de la instalación.

Tabla IV.5.- Tamaño de Roturas [8].

TAMAÑO DE ROTURA	RANGO	VALOR REPRESENTATIVO
Pequeño	0 - 1/4 plg	1/4 plg
Mediano	1/4 - 2 plg	1 plg
Grande	2 - 6 plg	4 plg
Rotura total	> 6 plg	Diámetro entero hasta un máximo de 16 plg

IV.1.4 CRITERIOS DE DAÑOS

Las consecuencias de un evento dependen directamente de la distancia a la fuente de descarga y del objeto que se esté considerando. En el caso de seres humanos las consecuencias se consideran como fatalidades, mientras que si el objeto son las propiedades de la instalación, las consecuencias se consideran como pérdidas económicas.

Por otro lado, para obtener resultados significativos al usar la técnica del Análisis Cuantitativo de Riesgos, es necesario establecer criterios de daño relacionados con un cierto nivel conocido de consecuencias para una determinada exposición y duración. Los criterios de daño sobre personas y equipos están referidos a los efectos de productos tóxicos, incendios y explosiones generados por los escenarios de accidentes que podrían desarrollarse en cada una de las unidades de proceso bajo estudio. [6]

Un método estadístico para evaluar una consecuencia es el Método Probit, el cual combina la frecuencia y la severidad de los accidentes, generalmente expresando los resultados como un número esperado de fatalidades, para cuantificar el riesgo.

Para efectos del Análisis Cuantitativo de Riesgos en la industria se considera como dosis peligrosa la que representa un nivel de daño equivalente al 1% de fatalidades, valor para el cual se calculó el criterio de daño de los efectos de radiación térmica para terceros, mediante la siguiente ecuación Probit [6]:

$$Pr = -14,9 + 2,56 \ln \left(\frac{t I^{4/3}}{10^4} \right) \quad \text{IV.1}$$

Donde:

Pr= Probit, siendo su valor 2,67 para 1% de población afectada.

t= duración de la exposición, el cual se consideró como 30 seg para que una persona reaccione y busque refugio.

I= Intensidad de Radiación Térmica (W/m^2), $13,5 \text{ kW}/\text{m}^2$ valor que se obtuvo a partir de la ecuación IV.1.

Los criterios de daños por efecto de la radiación térmica utilizados para la estimación de consecuencias a través del Canary fueron:

- ✓ **5 Kw/m²** : Energía suficiente para causar dolor al personal que no pueda protegerse en 20s. Valor que considera los efectos de la radiación solar de aproximadamente $1\text{Kw}/\text{m}^2$. Ver tabla B.2 del Anexo B.
- ✓ **8 Kw/m²** : Valor empleado para afectación a operadores.
- ✓ **13.5 Kw/m²**: Valor obtenido mediante la aplicación de la ecuación Probit para 1% de fatalidades. Ver tabla B.3 del anexo B.

IV.2. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES

En primer lugar, a cada equipo se le realizó la simulación del evento dispersión en caso de una fuga, tomando en cuenta todos los criterios antes expuestos. Dicha dispersión confirmaba el hecho de la posible existencia o no de un chorro de fuego (Torch Fire), un fogonazo (Flash Fire), o una piscina incendiada (Pool Fire), y como era de esperarse, los equipos que manejan flujos bifásicos presentaban ambos eventos. Las dispersiones generan los datos de tasa de flujo en el caso de chorro de fuego y fogonazo con su respectiva composición de gas, y radio del derrame en el caso de piscina incendiada con su respectiva composición de líquido, valores para los cuales se realizaron las respectivas corridas.

En el anexo D se encuentran resumidos los resultados obtenidos a partir de las corridas en el Canary de los eventos posibles (Dispersión, Torch Fire y Pool Fire) de cada equipo que conforma la Planta MotatánII.

Los términos que identifican los eventos no pueden ser nombrados en su totalidad, debido a que en el Canary es limitado el número de caracteres que pueden introducirse para nombrar los eventos, por ello se seleccionó una nomenclatura que a continuación se describe:

- ✓ **Eventos de dispersión:** estos eventos serán nombrados con las primeras letras de la palabra dispersión (dis), posteriormente se adiciona las primeras letras del equipo que se analiza, por ejemplo: múltiple (mul), finalmente se agrega un número, usado para diferenciar las corridas de este evento. Ejemplo: **dismul2**, representaría la segunda corrida de una dispersión en el múltiple.
- ✓ **Eventos de Chorro de Fuego (Torch Fire):** este evento será nombrado con las primeras letras de la palabra Torch (tor), posteriormente se

adiciona las primeras letras del equipo que se analiza, por ejemplo: múltiple (mul), finalmente se agrega un numero, usado para diferenciar las corridas de este evento. Ejemplo: **torcmul1**

- ✓ **Eventos de Piscina de Fuego (Pool Fire)**: este evento será nombrado con las primeras letras de la palabra Pool (Pool), posteriormente se adiciona las primeras letras del equipo que se analiza, por ejemplo: múltiple (mul), finalmente se agrega un numero, usado para diferenciar las corridas de este evento. Ejemplo: **poolmul1**

IV.2.1 MULTIPLE DE PRODUCCIÓN

Como se puede observar en la tabla IV.6, la tasa de flujo para el chorro de fuego obtenida a partir de la dispersión, no se ve afectada por la variación en las condiciones de velocidad de viento y estabilidad, obteniendo por ejemplo tanto en **dismul2** (velocidad promedio y estabilidad F) y en **dismul6** (velocidad máxima y estabilidad D), un valor 15,4 kg/s para flujo inmediato y 14,8 kg/s para flujo retardado. Este comportamiento se debe a que el evento dispersión depende exclusivamente de las condiciones que posee el flujo en el interior de la línea (velocidad, presión, temperatura) antes del evento, así como del tamaño de la fuga.

Sin embargo, al simular los chorros de fuego para rotura total con velocidad promedio y velocidad máxima, la variación en las distancias de afectación a los diferentes niveles de radiación, es considerable, obteniendo en el caso de 13,5 kw/m² una distancia de 41,3 m para velocidad promedio y 55,2 m para velocidad máxima. Este comportamiento se debe básicamente a que la presión en el múltiple es baja (60 psi) y a la gran cantidad de flujo que se tiene en una rotura total, permitiendo que la velocidad del viento influya sobre sus consecuencias arrastrando la radiación. Este comportamiento no se observa en las roturas menores pues la cantidad de flujo es menor y no se ve afectado por la velocidad de viento, obteniendo para una rotura de 1 plg y 13,5 kw/m²

una distancia de afectación de 17,4 m en el caso de velocidad promedio y 17,5 m en el caso de velocidad máxima.

A partir de la tabla, se puede percibir como a mayor diámetro de fuga, mayor es la tasa de flujo, de esta manera se obtiene una tasa de flujo de 15,4 kg/s para una rotura total, 1 kg/s para una rotura de 1 plg, y 0,1 kg/s para una rotura de 1/4 de plg; por ende al simular sus chorros de fuego respectivos, las distancias de afectación obtenidas para los distintos niveles de radiación son menores con la disminución del diámetro de rotura, así para un nivel de radiación de 13,5 kw/m² se obtiene una distancia de afectación de 41,3 metros para rotura total, 17,4 metros para 1 plg y 7,7 metros para 1/4 plg. No obstante, al realizar el análisis del tamaño de rotura, es necesario considerar el evento desde el punto de vista de ocurrencia, en donde la probabilidad de que se de una fuga por rotura total (probabilidad = 0.05) es mucho menor que en el caso de roturas menores, como son las de 1 plg (probabilidad = 0.25) y las de 1/4 plg (probabilidad = 0.70) de rotura.

En la corrida "dismul8" del múltiple de producción, se pudo observar que la humedad no afecta los valores de tasa de flujo (15,4 kg/s en rotura total tanto para humedad promedio como para humedad máxima), ni de radio de piscina (11,14 m de radio en ambos casos) , y la variación en las corridas de los eventos chorro de fuego y piscina incendiada es tan baja (de aproximadamente 1%) que podría considerarse irrelevante. Es por esta razón que en los demás equipos no se realizaron las corridas con humedad máxima.

En el múltiple de producción, al generarse una rotura existe fuga de fluido bifásico, crudo y gas, por lo cual se pueden generar 2 eventos de manera simultanea, siendo éstos el chorro de fuego y la piscina de crudo incendiada. En este caso, el evento de mayor afectación fue el chorro de fuego, pues presenta mayor área de influencia que cualquier otro evento, en el cual, para rotura total y radiación de 13,5 Kw/m², el radio del área afectada es de 55,2 metros, y para 8 Kw/m², el radio del área es de 60,7 metros.

Tabla IV.6 Simulaciones de los Eventos en el Múltiple de Producción

Evento	Consideraciones para las simulaciones			Dispersión			Distancia de Afectación (m) Jet Fire y Pool Fire		
	Condiciones Ambientales	Estabilidad	Tamaño de Rotura	Tasa de Flujo inmed. (kg/s)	Tasa de Flujo retard. (kg/s)	Radio de Piscina (m)	13,5 (Kw/m ²)	8 (Kw/m ²)	5 (Kw/m ²)
dismul2	Promedio	F	Total	15,4	14,8	11,14	-	-	-
torcmul1	Promedio	-	Total	15,4	-	-	41,3	53,3	63,8
tormul11	Promedio	-	Total	-	14,8	-	40,4	52,1	62,5
poolmul1	Promedio	-	Total	-	-	11,14	22,1	29	36,8
dismul3	Promedio	F	1 plg	1	1	2,56	-	-	-
torcmul3	Promedio	-	1 plg	1	-	-	17,4	17,4	18,9
poolmul3	Promedio	-	1 plg	-	-	2,56	9,7	12,3	15
dismul4	Promedio	F	1/4 plg	0,1	0,1	1,27	-	-	-
torcmul4	Promedio	-	1/4 plg	0,1	-	-	7,7	7,8	7,8
poolmul4	Promedio	-	1/4 plg	-	-	1,27	6,4	7,8	9,3
dismul6	Vel. máx	D	Total	15,4	14,8	11,04	-	-	-
torcmul2	Vel. máx	-	Total	15,4	-	-	55,2	60,7	67,4
tormul21	Vel. máx	-	Total	-	14,8	-	54	59,6	66,2
poolmul6	Vel. máx	-	Total	-	-	11,04	38,8	45,9	52,1
dismul8	Humed. máx	F	Total	15,4	14,8	11,14	-	-	-
torcmul8	Humed. máx	-	Total	15,4	-	-	40,9	52,8	63,2
poolmul8	Humed. máx	-	Total	-	-	11,14	21,9	28,7	36,4
dismul9	Vel. máx	D	1 plg	1	1	2,42	-	-	-
torcmul5	Vel. máx	-	1 plg	1	-	-	17,5	17,6	19
poolmul5	Vel. máx	-	1 plg	-	-	2,42	14,7	15,9	17,2
dismul12	Veloc. máx	D	1/4 plg	0,1	0,1	0,963	-	-	-
torcmul6	Veloc. máx	-	1/4 plg	0,1	-	-	7,7	7,8	7,8
poolmul7	Veloc. máx	-	-	-	-	0,963	**	**	**

En el caso del radio de la piscina, sí existe una variación para cambios en las condiciones de viento y estabilidad, así por ejemplo, para rotura total y 13,5 Kw/m² de radiación se obtiene 22,1 m para velocidad promedio y 38,8 m para velocidad máxima, esto debido a que el viento con mayor velocidad tiende a arrastrar parte del líquido que conformaría la piscina, provocando variación en su tamaño. Dicha variación se hace mas notable a medida que disminuye el diámetro de la fuga, pues la velocidad de viento afectará en mayor medida un flujo pequeño de líquido que uno grande. Para el múltiple de producción, la variación entre el tamaño del radio para velocidad promedio y tamaño del radio para velocidad máxima, cuando la fuga es de 1/4 plg es del 24%, mientras que para 1 plg la variación es de 5,5% y para rotura total de 0,89%.

En la figura IV.1 se presenta una de las gráficas obtenidas a partir de la simulación del evento dispersión por una rotura total en el múltiple de producción, bajo condiciones promedio y estabilidad F. En la misma se puede apreciar la forma y el tamaño del contorno (140 x 180 metros) que presenta la nube de gas fugada, y la distancia a la cual se pueden encontrar los límites de inflamabilidad de la nube, siendo la línea verde la que representa el límite superior de inflamabilidad (14,4%) mientras que la línea azul representa el contorno a la cual se encuentra el límite inferior de inflamabilidad (2,44 %). La zona que se encuentra delimitada dentro de los dos contornos de los límites de inflamabilidad, representa el área donde la nube puede incendiarse al encontrar un punto de ignición, es decir, el rango de inflamabilidad de la nube.

La figura IV.2 representa la gráfica obtenida a partir de la simulación del evento dispersión por una rotura de 1 plg en el múltiple de producción, bajo condiciones promedio y estabilidad F, y en la misma se puede apreciar lo mismo que se expuso anteriormente, siendo esto la forma y el tamaño de la nube (50 x 80 metros) y la distancia a la cual se encuentra los límites de inflamabilidad (límite superior de inflamabilidad de 12,8% a los 28 metros del

punto de origen de la nube y límite inferior de inflamabilidad de 1,95% a los 80 metros del punto de origen del evento).

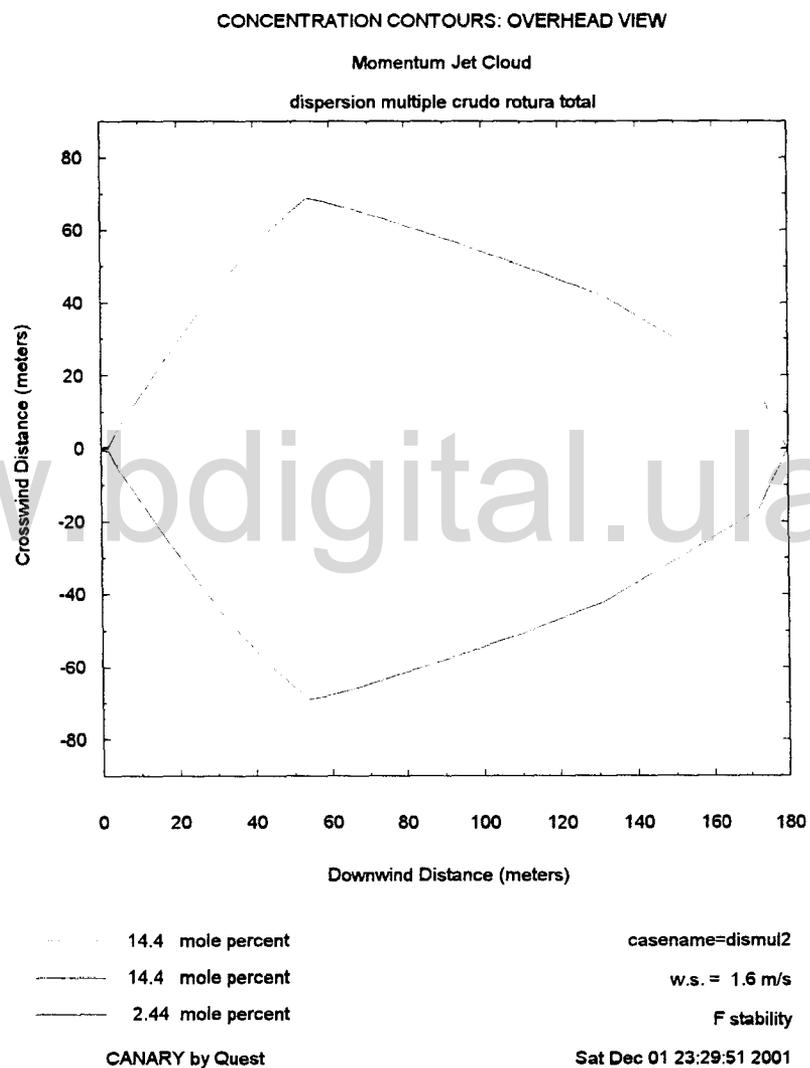


Figura IV.1 Contorno de la dispersión de vapor para rotura total en función de la distancia

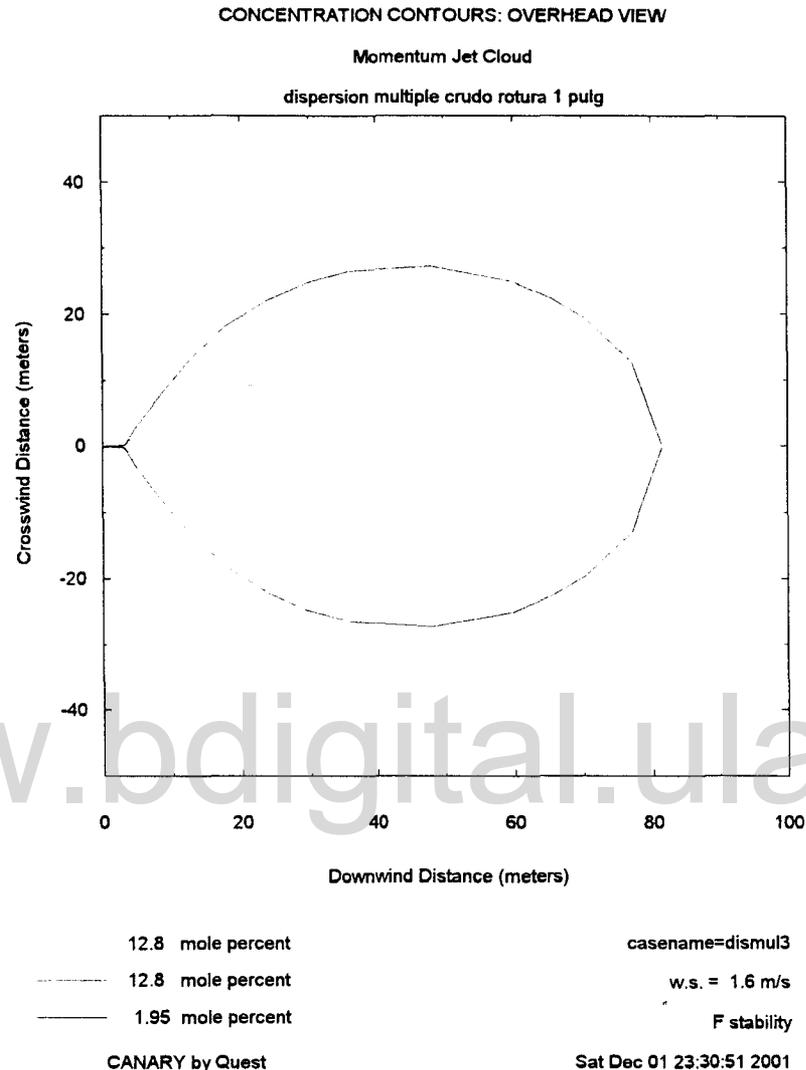


Figura IV.2 Contorno de la dispersión de vapor para rotura de 1 plg en función de la distancia

Al comparar las figuras IV.1 y IV.2 de dispersión en el múltiple de producción generadas por roturas de 1 plg (dismul3) y total (dismul2), se puede observar en primer lugar, como el área ocupada por la nube que se forma a partir de la rotura total de la línea (140 x 180 metros en sus lados mas anchos), es mayor que en el caso de la rotura de 1 plg (50 x 80 metros en sus lados mas anchos). También se percibe como el rango de inflamabilidad que

va desde el límite superior de inflamabilidad (línea verde) hasta el límite inferior de inflamabilidad (línea azul), es mucho mayor en el caso de rotura total que en el caso de rotura de 1 plg, por lo tanto como es lógico, en una fuga de gas generada a partir de una rotura total, la probabilidad de que se encienda es mayor que en el caso de roturas menores.

En la figura IV.3 se puede observar la formación de la piscina de líquido y como su diámetro va creciendo en función del tiempo hasta alcanzar su máximo diámetro de 11,14 metros a partir del cual disminuye levemente debido a la evaporación del líquido. También se puede observar como va aumentando la tasa de flujo de vapor que al igual que en el caso anterior, llega hasta un máximo de 1,45 kg/s para luego disminuir debido a falta de fluido desde la tubería.

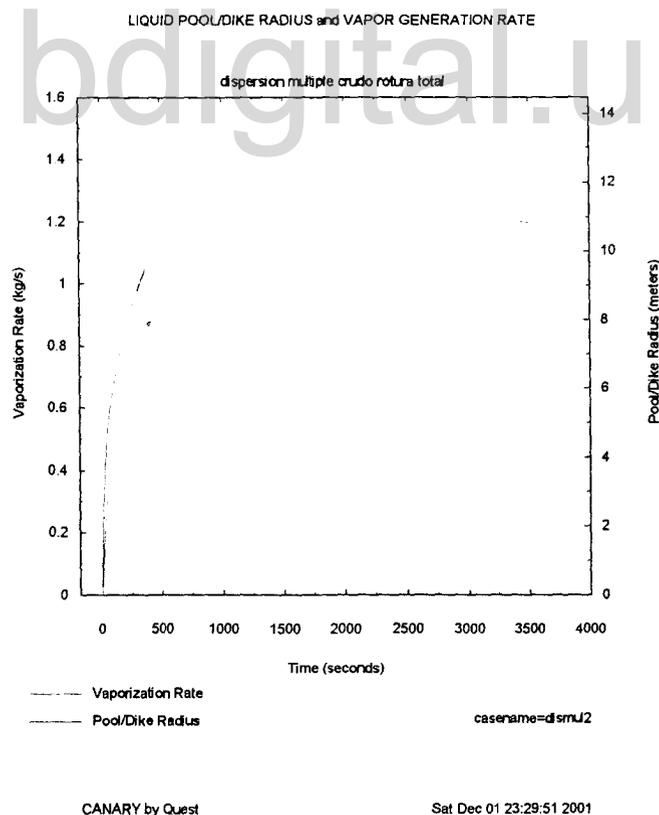


Figura IV.3 Variación del radio de la piscina y de la tasa de generación de vapor con respecto al tiempo

IV.2.2 SEPARADORES DE PRODUCCIÓN

En este equipo se analizaron fugas en la línea de salida de gas y en la línea de salida de crudo ocasionadas por roturas de 1/4 plg, 1 plg y rotura total, con la cual se simularon los eventos de dispersión, chorro de fuego en la línea de salida de gas, y chorro de fuego y piscina incendiada en la línea de salida de crudo, ya que el equipo maneja flujo bifásico generándose estos eventos simultáneamente.

Al observar los resultados de las simulaciones contenidas en la tabla IV.7 (a), se puede notar que el evento que genera mayores consecuencias es el chorro de fuego **torfsep4** (con velocidad de viento máxima y estabilidad D) para rotura total en la línea de salida de gas. Este evento presenta la siguiente afectación 26,4 m para un nivel de radiación de 13,5 Kw/m², sin embargo, la diferencia en la distancia de afectación es pequeña cuando se simula el mismo evento (**torfsep1**, chorro de fuego para rotura total) pero con velocidad promedio y estabilidad F, obteniendo en este caso una afectación desde el punto de rotura de 24,1 m para la misma radiación (13,5 Kw/m²).

Al comparar las distancias anteriormente mencionadas con las obtenidas para el evento chorro de fuego en la línea de crudo (Tabla IV.7 (b)), se puede notar como la afectación es menor (para rotura total **torcsep2** y 13,5 Kw/m² una distancia de 18,7 m) pues la cantidad de gas por esta línea es mucho menor y sale junto con ella mayor cantidad de líquido.

Las piscinas de fuego aumentan de tamaño a medida que aumenta el diámetro de rotura, así para velocidad promedio y rotura de 1/4 plg el radio de la piscina es de 2,23 m; mientras que para rotura total se obtiene un radio de 4,93 m. Por otro lado, a mayor velocidad de viento, mayor es la afectación de la piscina de fuego como se puede notar para rotura total en donde se obtuvo para 13,5 Kw/m² una distancia de afectación de 13,8 m con velocidad promedio y 22,8 m con velocidad máxima.

Tabla IV.7 (a) Simulaciones de los Eventos en la línea de gas de los Separadores

Evento	Consideraciones para las simulaciones			Dispersión			Distancia de Afectación (m) Jet Fire y Pool Fire		
	Condiciones Ambientales	Estabilidad	Tamaño de Rotura	Tasa de Flujo inmed. (kg/s)	Tasa de Flujo retard. (kg/s)	Radio de Piscina (m)	13,5 (Kw/m ²)	8 (Kw/m ²)	5 (Kw/m ²)
dispsep1	Promedio	F	Total	5,8	5,3	-	-	-	-
torcsep1	Promedio	-	Total	5,8	-	-	24,1	29,4	34,6
torfsep3	Promedio	-	Total	-	5,3	-	23,1	28,1	33,2
dispsep2	Promedio	F	1 plg	0,3	0,3	-	-	-	-
torfsep2	Promedio	-	1 plg	0,3	-	-	**	6,6	8,2
dispsep3	Promedio	F	1/4 plg	0	0	-	-	-	-
dispsep4	Vel. máx	D	Total	5,7	5,3	-	-	-	-
torfsep4	Vel. máx	-	Total	5,7	-	-	26,4	29,5	32,9
torsep41	Vel. máx	-	Total	-	5,3	-	25,5	28,5	31,8
dispsep8	Vel. máx	D	1 plg	0,3	0,3	-	-	-	-
torfsep6	Vel. máx	-	1 plg	0,3	-	-	9,7	10,1	10,7
dispsp11	Vel. máx	D	1/4 plg	0	0	-	-	-	-

Tabla IV.7 (b) Simulaciones de los Eventos en la línea de Crudo los Separadores

Evento	Consideraciones para las simulaciones			Dispersión			Distancia de Afectación (m) Jet Fire y Pool Fire		
	Condiciones Ambientales	Estabilidad	Tamaño de Rotura	Tasa de Flujo inmed. (kg/s)	Tasa de Flujo retard. (kg/s)	Radio de Piscina (m)	13,5 (Kw/m ²)	8 (Kw/m ²)	5 (Kw/m ²)
dispsep1	Promedio	F	Total	20,7	2,2	4,93	-	-	-
torcsep2	Promedio	-	Total	20,7	-	-	18,7	21,2	24
torcsep1	Promedio	-	Total	-	2,2	-	8,8	9,8	11,1
poolsep1	Promedio	-	Total	-	-	4,93	13,8	17,8	22,1
dispsep2	Promedio	F	1 plg	1,3	1,3	4,44	-	-	-
torcsep3	Promedio	-	1 plg	1,3	-	-	5,8	6,4	7,1
poolsep2	Promedio	-	1 plg	-	-	4,44	13,1	16,9	20,9
dispsep3	Promedio	F	1/4 plg	0,1	0,1	2,23	-	-	-
torcsep4	Promedio	-	1/4 plg	0,1	-	-	2,6	3,2	3,6
poolsep3	Promedio	-	1/4 plg	-	-	2,23	9,2	11,6	14,1
dispsep4	Vel. máx	D	Total	20,7	2,2	4,82	-	-	-
torcsep5	Vel. máx	-	Total	20,7	-	-	18,7	21,3	24
poolsep4	Vel. máx	-	Total	-	-	4,82	22,8	25,9	28,7
dispsep7	Vel. máx	D	1 plg	1,3	1,3	4,31	-	-	-
torcsep6	Vel. máx	-	1 plg	1,3	-	-	5,8	6,4	7,1
poolsep5	Vel. máx	-	1 plg	-	-	4,31	21,3	24	26,5
dispsep8	Vel. máx	D	1/4 plg	1,3	1,3	1,93	-	-	-
torcsep7	Vel. máx	-	1/4 plg	1,3	-	-	2,6	3,2	3,6
poolsep6	Vel. máx	-	1/4 plg	-	-	1,93	12,8	13,8	14,9

IV.2.3 TANQUES DE ALMACENAMIENTO

En la tabla IV.8 se presenta el resumen de los resultados obtenidos para los eventos considerados en los tanques de almacenamiento de crudo.

Al analizar esta tabla se puede observar como para velocidad promedio un incendio en el tope del tanque (**pooltk1**) no genera radiaciones de 13,5 Kw/m² y 8 Kw/m² fuera del mismo tanque, y solo se obtiene el nivel de radiación de 5 Kw/m² a una distancia de 15 m. Sin embargo, al aumentar la velocidad del viento y cambiar la estabilidad a D, si se obtienen distancias de afectación para estos niveles de radiación (**pooltk2**= 16,5 m para 13,5 Kw/m² y 22,7 m para 8 Kw/m², mientras que para 5 Kw/m² aumenta a 28,5 m) debido a que la fuerza del viento tiende a arrastrar el efecto de la radiación, por lo tanto, es para velocidades máximas que se obtienen las peores consecuencias.

Para el caso de la piscina de fuego en el dique, el efecto es similar, al aumentar la velocidad de viento, el área de radiación emitida por la piscina aumenta en un 35% aproximadamente, puesto que la fuerza del viento agita la llama y la extiende propagando la radiación a un área mayor.

Tabla IV.8 Simulaciones de los Eventos en los Tanques

Filename	Consideraciones para la simulación			Distancia de Afectación (m) Pool Fire		
	Condiciones Ambientales	Estabilidad	Evento	13,5 (Kw/m ²)	8 (Kw/m ²)	5 (Kw/m ²)
pooltk1	Promedio	-	tanque	**	**	15
pooltk2	Vel. máx	-	tanque	16,5	22,7	28,3
pooldiq	Promedio	-	dique	29,4	35,2	45,2
pooldi1	Vel. máx	-	dique	45,3	58,1	69,7

IV.2.4 BOMBAS DE TRANSFERENCIA DE CRUDO

Las bombas se analizan tanto en el cabezal de succión como en el cabezal de descarga. En la tabla IV.9 se resumen los resultados mas importantes obtenidos de las simulaciones en el cabezal de descarga. En la misma se puede observar como las peores consecuencias se obtienen para rotura total de la línea, con una distancia de afectación de 31 metros para 13,5 Kw/m² y 36,4 metros para 8 Kw/m². Si se comparan los resultados obtenidos para una rotura total y velocidad de viento promedio (**poolbom1**), y el evento de rotura total y velocidad de viento máxima (**poolbom2**), se puede notar que a pesar de tener un mayor radio de piscina (0.9% mas), el evento **poolbom1** posee una distancia de afectación un 74 % menor que las consecuencias del evento **poolbom2**. Esto se debe a que el radio de la piscina es obtenido a partir de la dispersión, la cual prácticamente no se ve afectada por la velocidad del viento; mientras que la radiación de la piscina incendiada si, debido a que el viento contribuye a extender la zona afectada por la radiación.

Este comportamiento se puede notar también para roturas de 1/4 de plg y 1 plg con velocidad promedio y velocidad máxima, no obstante, a medida que disminuye el diámetro de la rotura, el radio de la piscina obtenido a partir de la dispersión se hace mas sensible a cambios de velocidad de viento, en el caso de rotura de 1 plg el radio de piscina disminuye un 2,3% cuando se incrementa la velocidad de viento desde un valor promedio hasta el valor de velocidad de velocidad máxima, mientras que para rotura de 1/4 plg el radio de piscina formada disminuye un 11%, al variar la velocidad en igual orden de magnitud.

También se puede observar al comparar una misma velocidad de viento promedio, a medida que disminuye el tamaño de la rotura, disminuye el alcance de las distintas radiaciones, así por ejemplo para rotura total y para una radiación de 13,5 Kw/m² la distancia de afectación es de 17,8 metros, para rotura de 1 plg y el mismo nivel de radiación la distancia de afectación

**Tabla IV.9 Simulaciones de los Eventos en las Bombas
Rotura en el Cabezal de Descarga**

Evento	Consideraciones para las simulaciones			Dispersión			Distancia de Afectación (m) Jet Fire y Pool Fire		
	Condiciones Ambientales	Estabilidad	Tamaño de Rotura	Tasa de Flujo inmed. (kg/s)	Tasa de Flujo retard. (kg/s)	Radio de Piscina (m)	13,5 (Kw/m ²)	8 (Kw/m ²)	5 (Kw/m ²)
disbom01	Promedio	F	Total	-	-	8,09	-	-	-
poolbom1	Promedio	-	Total	-	-	8,09	17,8	23,2	29,3
disbom02	Vel. máx	D	Total	-	-	8,02	-	-	-
poolbom2	Vel. máx	-	Total	-	-	8,02	31	36,4	40,8
disbom03	Promedio	F	1 plg	-	-	6,25	-	-	-
poolbom3	Promedio	-	1 plg	-	-	6,25	15,3	19,9	25
disbom08	Vel. máx	D	1 plg	-	-	6,11	-	-	-
polbom33	Vel. máx	-	1 plg	-	-	6,11	26,3	30,2	33,6
disbom04	Promedio	F	1/4 plg	-	-	3,03	-	-	-
poolbom4	Promedio	-	1/4 plg	-	-	3,03	10,2	13,1	16,1
disbom09	Vel. máx	D	1/4 plg	-	-	2,73	-	-	-
poolbom5	Vel. máx	-	1/4 plg	-	-	2,73	15,7	17,1	18,5

**Tabla IV.10 Simulaciones de los Eventos en las Bombas
Rotura en el Cabezal de Succión**

Evento	Consideraciones para las simulaciones			Dispersión			Distancia de Afectación (m) Jet Fire y Pool Fire		
	Condiciones Ambientales	Estabilidad	Tamaño de Rotura	Tasa de Flujo inmed. (kg/s)	Tasa de Flujo retard. (kg/s)	Radio de Piscina (m)	13,5 (Kw/m ²)	8 (Kw/m ²)	5 (Kw/m ²)
disbom5	Promedio	F	Total	-	-	8,12	-	-	-
poolbom5	Promedio	-	Total	-	-	8,12	17,8	23,3	29,4
disbom55	Vel. máx	D	Total	-	-	8,02	-	-	-
polbom55	Vel. máx	-	Total	-	-	8,02	31	36,4	40,8
disbom6	Promedio	F	1 plg	-	-	3,25	-	-	-
poolbom6	Promedio	-	1 plg	-	-	3,25	10,7	13,6	16,8
disbom66	Vel. máx	D	1 plg	-	-	3,11	-	-	-
polbom66	Vel. máx	-	1 plg	-	-	3,11	17,1	18,8	20,4
disbom7	Promedio	F	1/4 plg	-	-	1,62	-	-	-
poolbom7	Promedio	-	1/4 plg	-	-	1,62	7,2	9	10,8
disbom77	Vel. máx	D	1/4 plg	-	-	1,32	-	-	-
polbom77	Vel. máx	-	1/4 plg	-	-	1,32	9,2	9,6	10,1

es de 15,3 metros y para 1/4 de plg la distancia es de 10,2 metros. El mismo comportamiento se puede observar en el cabezal de succión (tabla IV.10), sin embargo, puesto que la presión del cabezal es menor, para roturas menores a la total, tanto las dimensiones de la piscina, como la distancia de afectación disminuyen.

Ejemplo; para el cabezal de descarga, con una rotura de 1 plg y velocidad promedio, el radio de la piscina es de 6,25 metros, mientras que para el cabezal de succión y condiciones similares, el radio de la piscina es de 3,25 metros y sus respectivas distancias de afectación, para 13,5 Kw/m² son 15,3 metros para el cabezal de descarga y 10,7 metros para el cabezal de succión. Esto se debe a que la presión favorece la formación de la piscina, ya que el flujo será directamente proporcional a la presión en el punto de ruptura y la presión en el cabezal de descarga (500 psig) es mayor a la presión del cabezal de succión (20 psig).

IV.2.5 DEPURADOR 1 (Gas de succión hacia compresores Cooper)

Según las tablas IV.11, IV.12 y IV.13 donde se encuentra el resumen de los datos mas importantes obtenidos a partir de las simulaciones, se observa que el evento de mayor afectación es el chorro de fuego en la línea de salida superior del depurador **torcdep4** (velocidad máxima), con una afectación 41,7 m desde el punto en que se genera la llama para un nivel de radiación de 13,5 Kw/m². Las distancias de afectación que se obtienen para los chorros de fuegos generados por roturas en la línea de entrada al depurador son prácticamente similares, así para **torcdep6** (velocidad máxima), se obtiene una afectación de 40,7 m a 13,5 Kw/m², pues ambas líneas manejan casi la misma cantidad de flujo.

De igual manera, la variación de los efectos de estos eventos es mínima al cambiar la velocidad de viento y la estabilidad, como se puede notar al comparar los valores obtenidos en el **torcdep4** (expuesto anteriormente) con

Tabla IV.11 Simulaciones de los Eventos en la línea de gas del Depurador 1 (hacia Copper)

Evento	Consideraciones para las simulaciones			Dispersión			Distancia de Afectación (m) Jet Fire y Pool Fire		
	Condiciones Ambientales	Estabilidad	Tamaño de Rotura	Tasa de Flujo inmed. (kg/s)	Tasa de Flujo retard. (kg/s)	Radio de Piscina (m)	13,5 (Kw/m ²)	8 (Kw/m ²)	5 (Kw/m ²)
disdep02	Promedio	F	Total	14,9	14,2	-	-	-	-
torcdep2	Promedio	-	Total	14,9	-	-	40,1	26,3	53
tordep21	Promedio	-	Total	-	14,2	-	23,2	28,2	33,2
disdep03	Vel. máx	D	Total	14,9	14,2	-	-	-	-
torcdep4	Vel. máx	-	Total	14,9	-	-	41,7	46,1	50
disdep06	Promedio	F	1 plg	0,3	0,3	-	-	-	-
torcdep7	Promedio	-	1 plg	0,3	-	-	9,4	10	10,7
disdep07	Vel. máx	D	1 plg	0,3	0,3	-	-	-	-
torcdep8	Vel. máx	-	1 plg	0,3	-	-	6,8	7,5	8,3
disdep11	Promedio	F	1/4 plg	0	0	-	-	-	-
torcdep9	Promedio	-	1/4 plg	0	0	No se corrió debido a la falta de flujo			
disdep09	Vel. máx	D	1/4 plg	0	0	-	-	-	-
torcdep10	Vel. máx	-	1/4 plg	0	0	No se corrió debido a la falta de flujo			

Tabla IV.12 Simulaciones de los Eventos en la línea de salida inferior del Depurador 1 (hacia Copper)

Evento	Consideraciones para las simulaciones			Dispersión			Distancia de Afectación (m) Jet Fire y Pool Fire		
	Condiciones Ambientales	Estabilidad	Tamaño de Rotura	Tasa de Flujo inmed. (kg/s)	Tasa de Flujo retard. (kg/s)	Radio de Piscina (m)	13,5 (Kw/m ²)	8 (Kw/m ²)	5 (Kw/m ²)
disdep20	Promedio	F	Total	3,8	0,1	-	-	-	-
tordep20	Promedio	-	Total	3,8	-	-	25,4	29,3	33,4
tordep24	Promedio	-	Total	-	0,1	-	**	5,4	6,4
disdep21	Vel. máx	D	Total	3,8	0,1	-	-	-	-
tordep21	Vel. máx	-	Total	3,8	-	-	27	29,8	32,9
tordep25	Vel. máx	-	Total	-	0,1	-	5,3	5,8	6,3
disdep22	Promedio	F	1 plg	0,8	0,8	-	-	-	-
tordep22	Promedio	-	1 plg	0,8	-	-	15	16,2	17,5
disdep23	Vel. máx	D	1 plg	0,8	0,8	-	-	-	-
tordep23	Vel. máx	-	1 plg	0,8	-	-	16,1	16,2	17,5

Tabla IV.13 Simulaciones de los Eventos en la línea de entrada del Depurador 1 (hacia Copper)

Evento	Consideraciones para las simulaciones			Dispersión			Distancia de Afectación (m) Jet Fire y Pool Fire		
	Condiciones Ambientales	Estabilidad	Tamaño de Rotura	Tasa de Flujo inmed. (kg/s)	Tasa de Flujo retard. (kg/s)	Radio de Piscina (m)	13,5 (Kw/m ²)	8 (Kw/m ²)	5 (Kw/m ²)
disdep15	Promedio	D	Total	14,2	14,2	-	-	-	-
torcdep5	Promedio	D	Total	14,2	-	-	39,4	45,4	51,9
disdep19	Vel. máx	F	Total	14,2	14,2	-	-	-	-
torcdep6	Vel. máx	F	Total	14,2	-	-	40,7	44,8	48,8
disdep17	Promedio	D	1 plg	0,1	0,8	-	-	-	-
torcdep9	Promedio	D	1 plg	0,1	-	-	5,7	6,2	6,7
disdep18	Vel. máx	F	1 plg	0,1	0,8	-	-	-	-
tordep10	Vel. máx	F	1 plg	0,1	-	-	6,4	6,5	6,7

Tabla IV.14 Simulaciones de los Eventos en la línea de entrada al Depurador 2 (hacia Dresser)

Evento	Consideraciones para las simulaciones			Dispersión			Distancia de Afectación (m) Jet Fire y Pool Fire		
	Condiciones Ambientales	Estabilidad	Tamaño de Rotura	Tasa de Flujo inmed. (kg/s)	Tasa de Flujo retard. (kg/s)	Radio de Piscina (m)	13,5 (Kw/m ²)	8 (Kw/m ²)	5 (Kw/m ²)
disdep07	Promedio	F	Total	11,3	10,7	-	-	-	-
tordep07	Promedio	-	Total	11,3	-	-	33,6	39,7	47,5
tordep31	Promedio	-	Total	-	10,7	-	32,6	38,8	45,4
disdep08	Vel. máx	D	Total	11,3	10,7	-	-	-	-
torsep08	Vel. máx	-	Total	11,3	-	-	36	39,8	44,8
torsep32	Vel. máx	-	Total	-	10,7	-	34,6	39	43,9
disdep09	Promedio	F	1 plg	0,1	0	-	-	-	-
tordep09	Promedio	-	1 plg	0,1	-	-	5,8	6,2	6,6
disdep10	Vel. máx	D	1 plg	0,1	0	-	-	-	-
tordep10	Vel. máx	-	1 plg	0,1	-	-	6,4	6,5	6,6
disdep11	Promedio	F	1/4 plg	0	0	-	-	-	-
torcdep	Promedio	-	1/4 plg	0	0	-	-	-	-
disdep12	Vel. máx	D	1/4 plg	0	0	-	-	-	-
torcdep	Vel. máx	-	1/4 plg	0	0	-	-	-	-

en el evento **torcdep2** de la línea de salida superior del depurador, se obtiene una distancia de afectación de 40,1 m para un nivel de radiación de 13,5 Kw/m² . La distancia de afectación del nivel de radiación se ve influenciado solo por la cantidad de combustible que se adiciona a la llama, el cual es directamente proporcional al tamaño de la rotura de la línea, pues para rotura total en la línea de salida superior a velocidad promedio, se tiene mayor afectación de 40,1 m para 13,5 Kw/m² de radiación, mientras que para una rotura de 1 plg en las mismas condiciones, se obtiene una afectación de 9,4 m. El comportamiento es similar en los otros puntos analizados en el equipo.

IV.2.6 DEPURADOR 2 (Gas de succión hacia compresores Dresser)

En este equipo los eventos simulados son de consecuencias similares a los analizados en el Depurador 1, por presentar función , fluido y parámetros semejantes; sin embargo la afectación es menor pues el flujo de gas manejado (30 MMPCND) ,es menor al manejado en el depurador 1 (40 MMPCND). Al analizar la tabla IV.14, se puede notar que el evento de mayor afectación es el chorro de fuego provocado por una rotura total en la línea de salida del depurador (**torcdep3**), que presenta una radiación de 13,5 Kw/m² a una distancia de 36,1 metros . Esta consecuencia es menor a los 40,7 metros para similar nivel de radiación del evento **torcdep6** del depurador 1.

IV.2.7 TREN DE COMPRESION

En la tabla IV.15 (a) se presenta el resumen de los resultados obtenidos para los eventos considerados en la primera etapa del tren de compresión.

Al analizar los datos presentados en la tabla IV.15(a) se nota como se incrementa la rata de flujo para la ignición a medida que se incrementa la presión de operación del sistema, a través de la diferentes etapas de compresión. La variación de las tasas de flujo se encuentra resumida en la tabla IV.15.(b).

**Tabla IV.15 (a) Simulaciones de los Eventos en el Tren de Compresión.
Succión de Primera Etapa**

Evento	Consideraciones para las simulaciones			Dispersión			Distancia de Afectación (m) Jet Fire y Pool Fire		
	Condiciones Ambientales	Estabilidad	Tamaño de Rotura	Tasa de Flujo inmed. (kg/s)	Tasa de Flujo retard. (kg/s)	Radio de Piscina (m)	13,5 (Kw/m ²)	8 (Kw/m ²)	5 (Kw/m ²)
discom1	Promedio	F	Total	5,3	5,2	-	-	-	-
torcom1	Promedio	-	Total	5,3	-	-	26	30,3	34,4
torcom11	Promedio	-	Total	-	5,2	-	25,8	30	34,2
discom4	Vel. máx	D	Total	5,3	5,2	-	-	-	-
torcom2	Vel. máx	-	Total	5,3	-	-	27,1	30,1	33,2
torcom21	Vel. máx	-	Total	-	5,2	-	27	29,9	33
discom2	Promedio	F	1 plg	0,3	0,3	-	-	-	-
torcom3	Promedio	-	1plg	0,3	-	-	9,8	10,5	11,3
discom5	Vel. máx	D	1 plg	0,3	14,3	-	-	-	-
torcom4	Vel. máx	-	1 plg	0,3	-	-	10,6	10,7	11,3
discom3	Promedio	F	1/4 plg	0	0	-	-	-	-
torcom3	Promedio	-	1/4 plg	0	-	-	-	-	-
discom6	Vel. máx	D	1/4 plg	0	0	-	-	-	-
torcom6	Vel. máx	-	1/4 plg	0	-	-	-	-	-

Tabla IV.15.(b) Tabla de comparación de Flujos para ignición inmediata en el Tren de Compresión

Etapa	Tasa de flujo para ignición inmediata (kg/s)		
	Rotura Total	Rotura 1 plg	Rotura ¼ plg
1	5,3	1,5	0,1
2	6,3	4,2	0,3
3	6,6	6,3	1,1

De igual manera al incrementarse la tasa de flujo, mayor son las consecuencias al generarse los chorros de fuego con estos flujos, como se muestra a continuación en la tabla IV.16.(b).

Tabla IV.15.(c) Tabla de comparación de distancias de afectación para radiación a 13,5 kW/m²

Etapa	Distancia de afectación (m) para la radiación de 13,5 kW/m ²		
	Rotura Total	Rotura 1 plg	Rotura ¼ plg
1	27	10	0
2	29	24,6	9
3	28,6	27,6	15,5

También se puede observar que las roturas menores presentan mayor sensibilidad la afectación a medida que se incrementa la presión, mientras que la afectación de las consecuencias de rotura total los valores se mantienen con valores constantes. El mismo comportamiento se puede observar en el resumen de las demás etapas de compresión en el Anexo D.

IV.2.6 MULTIPLE DE GAS LIFT

En la tabla IV.16 se presenta el resumen de los resultados obtenidos para los eventos considerados en el múltiple de gas lift.

Tabla IV.16 Simulaciones de los Eventos en el Múltiple de Gas Lift

Evento	Consideraciones para las simulaciones			Dispersión			Distancia de Afectación (m) Jet Fire y Pool Fire		
	Condiciones Ambientales	Estabilidad	Tamaño de Rotura	Tasa de Flujo inmed. (kg/s)	Tasa de Flujo retard. (kg/s)	Radio de Piscina (m)	13,5 (Kw/m ²)	8 (Kw/m ²)	5 (Kw/m ²)
dismult	Promedio	F	Total	17,4	14,3	-	-	-	-
torcmul1	Promedio	-	Total	17,4	-	-	42,6	47,4	51,8
torcmul7	Promedio	-	Total	-	14,3	-	39,6	43,7	47,5
dismult1	Vel. máx	D	Total	17,4	14,3	-	-	-	-
torcmul2	Vel. máx	-	Total	17,4	-	-	42,9	47,5	52
tormul21	Vel. máx	-	Total	-	14,3	-	39,9	43,6	47,5
dismult2	Promedio	F	1 plg	14,5	14,3	-	-	-	-
torcmul3	Promedio	-	1plg	14,5	-	-	40,1	43,7	47,8
tormul31	Promedio	-	1plg	-	14,3	-	39,9	43,5	47,5
dismult6	Vel. máx	D	1 plg	14,5	14,3	-	-	-	-
torcmul8	Vel. máx	-	1 plg	14,5	-	-	40,1	43,7	47,8
dismult4	Promedio	F	1/4 plg	1,1	1,1	-	-	-	-
torcmul6	Promedio	-	1/4 plg	1,1	-	-	14,4	15,1	16,4
dismult5	Vel. máx	D	1/4 plg	1,1	1,1	-	-	-	-
torcmul5	Vel. máx	-	1/4 plg	1,1	-	-	14,4	15,1	16,4

En el múltiple de gas lift el evento que se presenta con mayores consecuencias es el torcmult2 (chorro de fuego en el múltiple), que presenta una radiación de hasta 13,5 Kw/m² hasta una distancia de 42,9 metros. Este evento presenta características similares al torcmul2 (chorro de fuego en múltiple de producción). En el caso del chorro de fuego del múltiple de producción es de 55, 2 metros. La diferencia básicamente radica en la presión de operación del sistema, mientras en el múltiple de producción la presión de operación es de 60 psig aproximadamente, en el múltiple de gas lift la presión es de 2500 psig, lo cual limita la acción del viento para modificar la trayectoria del flujo radiante y por el contrario permite modificar o extender el flujo radiante del chorro de fuego del múltiple de producción.

Los datos obtenidos de las corridas en Canary muestran información valiosa en cuanto a forma y alcance de presentarse los eventos. Un ejemplo de ello lo constituye el evento chorro de fuego simulado en el múltiple de gas lift, en el cual se puede determinar las características de la llama, es decir, tamaño de llama, inclinación de llama y distancia a la cual se recibe radiación emitida por la llama según lo solicitado al introducir los datos.

Análisis de chorro de fuego en múltiple de gas lift rotura total de la línea (valores arrojados por el simulador Canary).

		Downwind Distances to Endpoints	
		Distance	Maximum Flux
		(meters)	(kW/sq.m)
Length of Flame	: 35.8 meters		
Flame Tilt from Horizontal:	9.8 degrees		
Release Angle	: 0.0 degrees		
Release Point Elevation	: 0.6 meters	42.6	13.5
Target Elevation	: 1.5 meters	47.4	8.0
Wind Speed	: 1.6 meters/sec	51.8	5.0

En este caso se puede notar como la llama posee una longitud de 35.8 metros y un ángulo de inclinación de 9.8 grados. Es importante acotar que el target es la altura de referencia para estimar las consecuencias de radiación de un evento analizado con el Canary. Para los eventos de piscina incendiada y chorro de fuego esta altura de referencia fue de 1,5 metros, considerando esta medida como altura promedio de hombros del venezolano.

De las gráficas obtenidas en la corrida se obtiene la información sobre el ancho de la radiación obtenida a partir de la llama a distintos niveles de radiación (previamente solicitados para el análisis al introducir los datos), así como la radiación que se genera en forma vertical a partir del punto de llama. (ver figura IV.4)

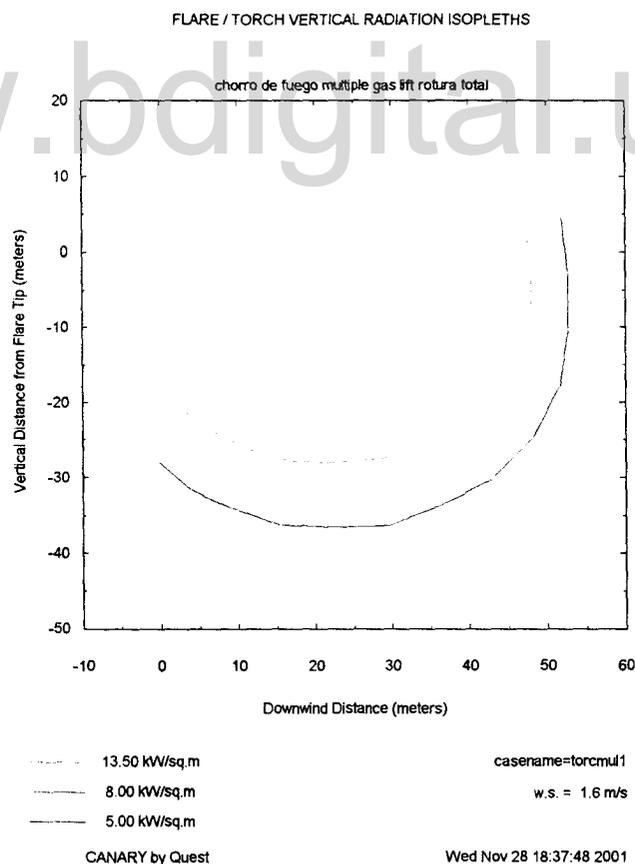


Figura IV.4 Curvas de radiación del Chorro de fuego

En esta figura IV.4 se puede notar el nivel de radiación generado por la llama desde un punto de rotura situado a 0,6 m de altura.

En la figura IV.5 se muestra el alcance horizontal de la llama, tanto hacia el frente de la misma como hacia los lados, generando una especie de círculo a distintos niveles de radiación. Para este caso específico, la línea azul representa la zona hasta donde se recibe por lo menos 5 Kw/m² de flujo de calor en el lado interno de la curva, la línea verde o intermedia indica que hasta esa distancia por lo menos se está expuesto a una radiación de 8 Kw/m², mientras que la línea roja tiene un valor de radiación de 13,5 Kw/m².

Nótese como el grado de radiación disminuye a medida que aumenta la distancia desde el punto donde se genera la llama.

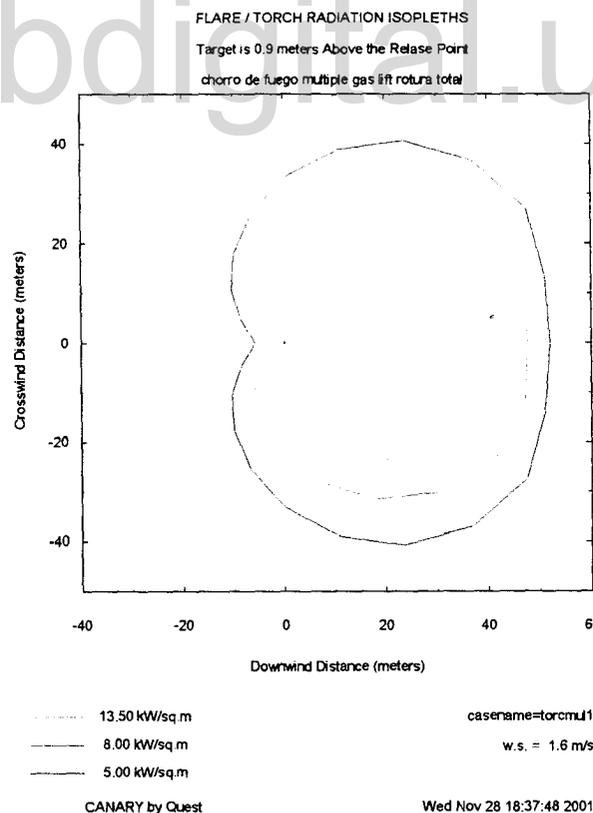


Figura IV.5 Curvas de radiación del Chorro de fuego

La distancia de afectación por radiación es inversamente proporcional a la altura del punto de ruptura, por lo tanto, los eventos ocurridos a mayor altura tendrán un menor impacto sobre las personas y equipos, que las rupturas que se produzcan en los puntos mas bajos de los equipos y tuberías. Esta afirmación se puede visualizar en los siguientes resultados. Nótese que en el evento tordep7, para el cual el punto de rotura se encuentra a 1,5 metros, la afectación de los tres límites de radiación previamente establecidos, se obtienen a distintas distancias; mientras que en el evento tordep7a que se lleva a cabo a una altura de 9 metros, no se obtienen los niveles de radiación establecidos.

✓ **Evento tordep7:** chorro de fuego en salida de depurador de succión 1

TITLE: torch fire depurador de entrada cooper rotura de 1 pulg

Length of Flame : 9.1 meters
 Flame Tilt from Horizontal: 10.7 degrees
 Release Angle : 0.0 degrees
Release Point Elevation : 1.5 meters
 Target Elevation : 1.5 meters
 Wind Speed : 1.6 meters/second

Consecuencias :

Downwind Distances to Endpoints

Distance (meters)	Maximum Flux (kW/sq.m)
9.4	13.5
10.0	8.0
10.7	5.0

✓ **Evento tordep7a:** chorro de fuego en salida de depurador de succión 1

TITLE: torc fire depurador de entrada cooper rotura de 1 pulg

Length of Flame : 9.1 meters
 Flame Tilt from Horizontal: 10.7 degrees
 Release Angle : 0.0 degrees
Release Point Elevation : 9.0 meters
 Target Elevation : 1.5 meters
 Wind Speed : 1.6 meters/second

Consecuencias:

Downwind Distances to Endpoints

Distance (meters)	Maximum Flux (kW/sq.m)
**	13.5
**	8.0
**	5.0

** Endpoint does not exist at this elevation

En los casos de derrame de crudo, donde no existe dique de contención o brocal, para realizar el análisis del evento piscina incendiada fue necesario usar los datos de radio equivalente que suministra el Canary en la simulación de dispersión.

Estos datos son bastante representativos de lo que sucede en la realidad, sin embargo, se debe considerar que la formación de la piscina depende de la topografía del terreno donde ocurre el derrame de crudo.

Para este caso se seleccionó el radio máximo, pues representa el escenario de mayor consecuencia. A continuación se presenta un ejemplo de radio equivalente analizado para piscina de crudo, obtenido de la dispersión en el

punto de fuga (dismul2), el valor utilizado como radio equivalente es el que se encuentra resaltado.

TITLE: dispersion multiple crudo rotura total

Time	Liquid Remaining	Pool/Dike Radius	Vapor Rate
(sec)	(m3)	(m)	(kg/sec)
.000000	.000000	.000000	.000000
39.0000	4.46463	4.49991	.294488
78.0000	8.91665	5.69979	.442501
117.000	13.3618	6.52872	.560126
156.000	17.8002	7.18597	.662529
195.000	22.2345	7.73965	.754900
234.000	26.6635	8.22311	.840078
273.000	31.0882	8.65518	.919702
312.000	35.5091	9.04729	.994809
351.000	39.9262	9.40779	1.06618
390.000	44.3395	9.74228	1.13443
429.000	48.7490	10.0548	1.19996
468.000	53.1557	10.3488	1.26314
507.000	57.5587	10.6268	1.32416
546.000	61.9588	10.8915	1.38329
585.000	66.3560	11.1430	1.44080
624.000	66.2819	11.1391	1.41646
663.000	66.2087	11.1342	1.40177
702.000	66.1366	11.1303	1.39096
741.000	66.0652	11.1264	1.38232
3321.00	61.5270	10.8654	1.29758
5901.00	61.0400	10.8370	1.29150
8481.00	61.0400	10.8370	1.29150
11061.0	61.0400	10.8370	1.29150
13641.0	61.0400	10.8370	1.29150
16221.0	61.0400	10.8370	1.29150
18801.0	61.0400	10.8370	1.29150
21381.0	61.0400	10.8370	1.29150
23961.0	61.0400	10.8370	1.29150

CAPITULO V
CUANTIFICACIÓN DE RIESGOS

V.1 CRITERIOS DE TOLERANCIA

Para cuantificar el riesgo, evaluar los resultados obtenidos del Análisis Cuantitativo de Riesgos y formular las recomendaciones adecuadas, es necesario definir los criterios de tolerancia de riesgos que acepta PDVSA, los cuales reflejan el nivel de riesgo permisibles por la misma.

La tolerancia de un riesgo es un criterio delicado y subjetivo, dado que está asociado con la percepción de la severidad de las consecuencias potenciales de un accidente, especialmente cuando afecta al público en general, es por ello que PDVSA presenta los límites entre tolerable, deseable e intolerable por medio de regiones de riesgo y no mediante valores de límite estrictos. [6]

V.1.1 CRITERIO DE TOLERANCIA DE RIESGO INDIVIDUAL

El riesgo individual se clasifica en voluntario e involuntario, siendo el primero, el riesgo al cual están sometidos los operadores y personal de la instalación de manera voluntaria, pues dichos trabajadores son informados de sus riesgos en el momento de iniciar la relación laboral o cuando es reubicado de a un nuevo puesto de trabajo; y la segunda, el riesgo involuntario; es aquel al que están sometidos los habitantes de áreas residenciales o no cercanas a la instalación.

El valor aceptado por PDVSA para el riesgo individual voluntario es de 1×10^{-3} fatalidades de personas al año, mientras que el nivel del riesgo tolerable para una exposición involuntaria es una en mil (1:1000) del valor de la exposición voluntaria, es decir, aproximadamente 1×10^{-6} fatalidades de personas al año. A continuación se muestra en tabla los criterios de tolerancia de riesgo individuales fijados por la Industria Petrolera y Petroquímica Nacional.[6]

Tabla V.1 Criterios de PDVSA para tolerancia de Riesgo Individual.

CRITERIOS PDVSA PARA TOLERANCIA DE RIESGO INDIVIDUAL	
FRECUENCIA	TOLERABILIDAD
$F > 10^{-3} / \text{año}$	Intolerable: El riesgo debe ser reducido a cualquier costo.
$10^{-6} / \text{año} < F \leq 10^{-3} / \text{año}$	Deseable: Reducción adicional del riesgo basado en análisis costo-beneficio. Representa la región de riesgo reducible.
$F \leq 10^{-6} / \text{año}$	Tolerable o mínimo: Reducción del riesgo si los recursos lo permiten. Aún aplica concepto de costo-beneficio.

El cálculo del riesgo individual se realizó mediante el método de contornos de riesgo. Para ello, se graficaron a través del paquete computacional Auto Cad las curvas de consecuencias para una radiación de $13,5 \text{ kW/m}^2$ (curvas de afectación) con sus respectivos diámetros obtenidas a partir de las simulaciones en el Canary (ver capítulo IV) [17].

Es importante acotar que para objeto de este trabajo, solo se graficaron las curvas de consecuencias obtenidas para un nivel de radiación de $13,5 \text{ kW/m}^2$, debido a que la definición del Análisis Cuantitativos de Riesgos establece que el mismo se realiza para 1% de fatalidades, valor que se utiliza para calcular el nivel de radiación mediante la ecuación Probit correspondiente, como se mencionó en el capítulo III. El nivel de radiación de 8 kW/m^2 también fue calculado por medio de la ecuación Probit y 1% de fatalidades, pero empleando un tiempo de reacción de 60 minutos. Sin embargo, considerando que una persona siente el efecto de la radiación a los 2 segundos de exposición y que entre 10 y 15 segundos decide donde tomar refugio, se decidió tomar

como tiempo prudente para el cálculo del nivel de radiación 30 segundos, razón por la cual no se graficaron los valores obtenidos para 8 kW/m^2 .

Las curvas de consecuencias graficadas se asumieron circulares tomando en cuenta todas las direcciones de viento, ya que esto representa el peor escenario posible; y se trazaron desde el centro de cada equipo considerando que este es el punto de origen del evento. Por otro lado, la probabilidad de que el viento vaya en dirección a un punto de ignición se tomó en cuenta al momento de calcular la frecuencia en los distintos eventos a partir de los árboles de falla (ver cap. III).

Para el cálculo del riesgo individual en un punto referencial, se asume que la contribución de cualquier evento es en forma aditiva, por lo tanto, el riesgo individual total en un determinado punto es igual a la suma de todos los posibles eventos que lo afectan. [4] Los puntos se determinaron a partir del cruce que generaron las curvas de consecuencia con los ejes de referencia que representan las distintas direcciones de viento. Dicho eje de referencia se trazó desde un centro hipotético de la instalación, y se colocaron con una separación de 15° entre cada una.

Como las corridas se realizaron para dos velocidades de viento combinadas con dos estabilidades, velocidad promedio con estabilidad F y velocidad máxima con estabilidad D, pues esto representaba los extremos en condiciones ambientales siendo las mismas condiciones estables y condiciones inestables respectivamente, al momento de determinar el valor de la frecuencia para un punto referencial, el valor de frecuencia obtenido a partir de los árboles de evento se multiplicaban por una probabilidad de 0,8 para el caso de velocidad promedio y estabilidad F, y por 0,2 en el caso de velocidad máxima y estabilidad D.

Es importante resaltar, que en algunos casos distintos eventos presentaron el mismo diámetro de afectación, por lo tanto el cálculo a esa distancia se realizó

tomando en cuenta la suma de sus frecuencias, según lo establecido en la referencia 4.

Una vez determinados todos los puntos de corte de la rectas de referencia (dirección de viento) y calculado su valor de frecuencia (ver tabla V.2), se procedió a sumar en forma acumulativa las frecuencias de los puntos de corte ubicados en una misma recta referencial, tomando en cuenta que si la recta de referencia entra y luego sale de una misma curva de consecuencia (curva circular), la misma se suma al entrar y posteriormente se resta al salir de la curva, con el objeto de no duplicar las frecuencias en la sumatoria. La sumatoria se realizó hasta alcanzar el valor de frecuencia de interés para afectación a operadores (10^{-3}) mencionado anteriormente. Los resultados de dicho proceso se pueden observar en la tabla V.2.

El siguiente paso fue construir las curvas de isoriesgo sobre el plano de la instalación, (curvas de igual valor de riesgo) uniendo los puntos de igual frecuencia de ocurrencia, siendo estos las frecuencias de 10^{-3} para el riesgo individual de los operadores y 10^{-6} para el riesgo individual de terceros. Dichas curvas se pueden observar construidas sobre el plano en la figura V.1, curvas de isoriesgo para la instalación.

Es de notar en la tabla V.2 que solo se obtuvo valores correspondientes al criterio de tolerancia de riesgo individual hacia terceros (frecuencia 10^{-6}) hacia el área oeste de la instalación, donde se encuentran las curvas de consecuencias de mayor alcance con frecuencias 10^{-6} , es por ello que sobre el plano solo se representó este fragmento de curva para la tolerancia de riesgo individual a terceros.

En este caso, dicha curva no toca la población, solamente afecta la carretera que pasa al lado Oeste y lado Sur de la Planta, terrenos que pertenecen a terceros.

V.2.(a) Valores de frecuencias en los puntos de cada eje de referencia

PUNTOS DE CORTE EN CADA DIRECCIÓN DE VIENTO																				
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
0°	1,8E-04	1,8E-04	3,3E-04	1,8E-04	1,8E-04	3,3E-04	3,3E-04													
15°	1,8E-04	1,8E-04	1,8E-04	1,8E-04	3,3E-04	1,8E-04	1,8E-04	3,3E-04												
30°	1,8E-04	1,8E-04	2,4E-05	1,8E-04	1,0E-04	1,8E-04	1,8E-04	7,8E-05	1,8E-04											
45°	1,8E-04	2,4E-05	1,0E-04	7,8E-05	1,1E-04	4,8E-04	2,4E-04	1,1E-04	8,2E-04	5,6E-04	1,8E-04									
60°	9,0E-06	3,9E-05	1,8E-04	3,0E-05	1,8E-04	-1,8E-04	-3,9E-05	1,8E-04	4,8E-04	-9,0E-06	-9,0E-06	3,3E-04								
75°	9,0E-06	9,0E-06	3,0E-05	3,0E-05	9,0E-06	5,0E-05	1,8E-05	1,5E-04	5,0E-05	1,5E-04	1,9E-04	9,0E-05	9,0E-05	1,8E-04	3,3E-04					
90°	9,0E-06	9,0E-06	9,0E-06	9,0E-06	3,0E-05	3,9E-05	3,0E-05	3,0E-05	9,0E-06	3,0E-05	5,0E-05	5,0E-05	5,0E-05	5,0E-05	1,5E-04	3,9E-05	1,5E-04	5,0E-05	5,2E-04	1,7E-04
105°	1,7E-06	9,0E-06	2,7E-05	9,0E-06	9,0E-06	9,0E-05	3,0E-05	3,9E-05	9,0E-06	2,4E-05	1,3E-04	6,0E-05	1,5E-04	4,1E-04						
120°	1,7E-06	9,0E-06	6,8E-06	3,6E-04	1,7E-06	9,0E-06	9,0E-05	7,8E-05	7,2E-05	4,8E-05	3,3E-05	2,0E-05	5,0E-06	9,0E-05	3,4E-05	5,0E-05	4,6E-05	2,3E-05	2,3E-05	
135°	1,7E-06	9,0E-06	6,8E-06	3,6E-04	2,5E-05	6,8E-05	6,6E-05	2,4E-05	1,3E-05	4,3E-05	2,4E-05	5,0E-05	1,3E-05	2,9E-05	2,5E-05	9,0E-05	2,3E-04			
150°	1,7E-06	9,0E-06	6,0E-06	3,8E-05	6,8E-06	3,6E-04	2,5E-04	1,8E-06	7,3E-05	3,0E-05	6,6E-05	2,4E-05	1,3E-06	1,8E-04						
165°	6,0E-06	2,6E-05	5,1E-05	7,3E-06	8,4E-05	5,2E-04	7,3E-04													
180°	4,0E-05	1,3E-04	9,5E-04																	
210°	5,6E-06	1,9E-05	2,2E-05	7,5E-05	3,4E-06	3,7E-05	1,2E-04	5,7E-05	5,1E-04	7,1E-04										
225°	2,7E-05	3,6E-04	9,6E-04																	
240°	1,8E-04	1,8E-04	1,8E-04	1,8E-04	3,3E-04															
255°	1,8E-04	1,8E-04	1,8E-04	1,8E-04	3,3E-04															
270°	1,8E-04	1,8E-04	1,8E-04	1,8E-04	3,3E-04															
285°	3,6E-04	1,8E-04	5,1E-04	1,8E-04	1,8E-04															
300°	1,8E-04	1,8E-04	1,8E-04	1,8E-04	3,3E-04	1,8E-04														
330°	1,8E-04	1,8E-04	1,8E-04	3,3E-04	1,8E-04	3,3E-04	3,3E-04													

V.2.(b) Valores obtenidos a partir de la sumatoria acumulativa sobre cada eje de referencia

SUMATORIA DE PUNTOS DE CORTE EN CADA DIRECCIÓN DE VIENTO																					
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	
0°	1,8E-04	3,6E-04	6,9E-04	8,7E-04	1,2E-03																
15°	1,8E-04	3,6E-04	5,4E-04	7,2E-04	1,1E-03																
30°	1,8E-04	3,6E-04	3,8E-04	5,6E-04	6,6E-04	8,4E-04	1,0E-03														
45°	1,8E-04	2,0E-04	3,0E-04	3,8E-04	4,9E-04	9,7E-04	1,2E-03														
60°	9,0E-06	4,8E-05	2,3E-04	2,6E-04	4,4E-04	2,6E-04	2,2E-04	4,0E-04	8,8E-04	8,7E-04	8,6E-04	1,2E-03									
75°	9,0E-06	1,8E-05	4,8E-05	7,8E-05	8,7E-05	1,4E-04	1,6E-04	3,1E-04	3,6E-04	5,1E-04	7,0E-04	7,9E-04	8,8E-04	1,1E-03							
90°	9,0E-06	1,8E-05	2,7E-05	3,6E-05	6,6E-05	1,1E-04	1,4E-04	1,7E-04	1,7E-04	2,0E-04	2,5E-04	3,0E-04	3,5E-04	5,0E-04	5,4E-04	6,9E-04	7,4E-04	1,3E-03			
105°	1,7E-06	1,1E-05	3,8E-05	4,7E-05	5,6E-05	1,5E-04	1,8E-04	2,1E-04	2,2E-04	2,5E-04	3,8E-04	4,4E-04	5,9E-04	1,0E-03							
120°	1,7E-06	1,1E-05	1,8E-05	3,8E-04	3,8E-04	3,9E-04	4,8E-04	5,6E-04	6,3E-04	6,8E-04	7,1E-04	7,3E-04	7,3E-04	8,2E-04	8,6E-04	9,1E-04	9,5E-04	9,8E-04	1,0E-03		
135°	1,7E-06	1,1E-05	1,8E-05	3,8E-04	4,0E-04	4,7E-04	5,4E-04	5,6E-04	5,7E-04	6,2E-04	6,4E-04	6,9E-04	7,0E-04	7,3E-04	7,6E-04	8,5E-04	1,1E-03				
150°	1,7E-06	1,1E-05	1,7E-05	5,5E-05	6,2E-05	4,2E-04	6,7E-04	6,7E-04	7,5E-04	7,8E-04	8,4E-04	8,7E-04	8,7E-04	1,0E-03							
165°	6,0E-06	3,2E-05	8,3E-05	9,0E-05	1,7E-04	6,9E-04	1,4E-03														
180°	4,0E-05	1,7E-04	1,1E-03																		
210°	5,6E-06	2,5E-05	4,7E-05	1,2E-04	1,3E-04	1,6E-04	2,8E-04	3,4E-04	8,5E-04	1,6E-03											
225°	2,7E-05	3,9E-04	1,3E-03																		
240°	1,8E-04	3,6E-04	5,4E-04	7,2E-04	1,1E-03																
255°	1,8E-04	3,6E-04	5,4E-04	7,2E-04	1,1E-03																
270°	1,8E-04	3,6E-04	5,4E-04	7,2E-04	1,1E-03																
285°	3,6E-04	5,4E-04	1,1E-03																		
300°	1,8E-04	3,6E-04	5,4E-04	7,2E-04	1,1E-03																
315°	1,8E-04	3,6E-04	5,4E-04	8,7E-04	1,1E-03																

Sobre el plano existen curvas de afectación con frecuencias de 10^{-5} fuera de los límites de la instalación, específicamente sobre el lado oeste de la planta en el cual existe acceso vial a terceros. Dicho valor de frecuencia no es tolerable para el riesgo individual a terceros, como se ha mencionado anteriormente, por lo tanto se debe reducir este riesgo. Este riesgo intolerable es generado por el evento de piscina de fuego en las bombas debido a que no existen brocales de contención en caso de derrame de crudo, por ello se genera una piscina de crudo de forma indefinida que depende de las características topográficas del terreno. Por lo tanto, esta consecuencia puede ser minimizada mediante la construcción de brocales de individuales en el área de bombas, logrando con ello confinar el crudo derramado disminuyendo el diámetro equivalente de la piscina y por ende disminuyendo las consecuencias (distancia de afectación), tanto a personas, como a equipos vecinos.

En la zona sur de la instalación existen una serie de eventos con consecuencias cuyo radio de acción afecta terrenos que no pertenecen a PDVSA. Los mismos no son utilizados actualmente como residenciales, sino como pastoreo, sin embargo, no tiene limitado su uso, es decir que en el futuro sus propietarios pueden usarlos a su mejor conveniencia. De ello surge la necesidad de limitar el uso de esos terrenos, mediante la compra de los mismos, para ser declarados zona de máxima seguridad, basado en las normativas que a continuación se mencionan : “ Determinación de zonas de seguridad en instalaciones y áreas de protección de obra pública”, Guía: IR-S-16 y “ Ubicación de equipos e instalaciones en relación a terceros , Guía: IR-M-02). [16]

Respecto a la curva de riesgo al operador, frecuencia 10^{-3} , se nota como la afectación se centra básicamente en los equipos de proceso. Solo el tanque T-201, ubicado en el extremo norte de la instalación no está incluidos en la curva de afectación del operador (10^{-3}), esto debido a que las frecuencias sumadas hasta el equipo no acumulan el valor de afectación al operador.

Todos los equipos afectados por la curva de 10^{-3} y los no afectados, sin embargo, presentan medidas de mitigación a posibles eventos de daños. En el caso de los tanques de crudo tienen instalados sensores de luz ultravioleta para detectar fuego, así como sistemas de extinción de fuego mediante enfriamiento por agua y por inyección de espuma fluoroproteínica. El área de compresión tanto de los compresores Cooper como los Dresser, tienen instalados sensores de luz ultravioleta e infrarrojos, y sensores de atmósfera peligrosa (detectores de gas), así como agua de enfriamiento y sistema de parada de emergencia activados por los sensores ya mencionados. En el área del múltiple de gas lift se tienen instalado sensores de temperatura y sistema de agua de enfriamiento en caso de incendio, de igual manera los separadores de producción y depuradores de gas tienen instalados sensores de calor y sistema de agua de enfriamiento.

V.1.2 CRITERIO DE TOLERANCIA DE RIESGO SOCIAL

El Riesgo social es la medida del riesgo sobre un grupo de personas que podrían resultar afectadas por incidentes peligrosos. Por lo general, dicho riesgo se expresa como la relación entre la frecuencia de ocurrencia de un accidente y el número de personas de la población sometidos a un nivel específico de daño, y representa gráficamente mediante la curva F- N (ver capítulo III). Por lo tanto, el primer paso para la estimación del riesgo social es el cálculo del número de fatalidades de las curvas que tocan el poblado. No obstante, este cálculo no se realizó en el estudio pues el área de afectación de los eventos no afectan al poblado, y en consecuencia no se construyó la gráfica frecuencia versus número de fatalidades.

El hecho que con ningún evento se produzcan fatalidades en el poblado vecino implica directamente que la planta es tolerable con respecto al riesgo social, sin necesidad de comparar resultados con respecto a los índices de tolerancia aceptados por PDVSA.

CAPITULO VI
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

www.bdigital.ula.ve

VI.1 CONCLUSIONES

- ✓ Se puede afirmar que la Planta Motatán II, es una instalación segura con respecto al riesgo social para terceros. Esta afirmación se soporta en los resultados obtenidos al plantear la curva de isoriesgo sobre el plano de ubicación de equipos de la instalación, generadas a partir de las simulaciones realizadas en el paquete computacional Canary, ya que la curva de riesgo con frecuencia de 10^{-6} no toca el poblado vecino de la instalación, siendo por ello imposible determinar riesgo social a tercero alguno.
- ✓ La existencia de terrenos vecinos (pertenecientes a terceros) dedicados actualmente a pastoreo y agricultura, que limitan por el lado sur de la planta, no garantiza que la condición segura de la planta perdure, ya que los mismos pueden ser usados en el futuro como zona residencial según las necesidades de los propietarios. Para garantizar esta condición segura de planta respecto a terceros, se crea la necesidad de declarar una zona de máxima seguridad por este lado límite de planta, basándose para ello en los resultados de la estimación de consecuencias cuya curva de 10^{-6} , excede en 30 metros los límites de la instalación.
- ✓ Hacia el lado oeste de la planta se presenta una situación similar a la del lado sur. Existen consecuencias de eventos con frecuencia 10^{-5} , que excede los límites de planta. Para este caso no es posible el asentamiento de terceros, debido a que inmediatamente existe un corredor vial entre la planta y otra instalación vecina perteneciente a PDVSA, sin embargo, dicho corredor vial es usado como vía pública por los pobladores de la región, resultando afectados terceros en el caso de ocurrencia de un evento en el múltiple de producción, o en las bombas de transferencia de crudo.

- ✓ El evento de mayor impacto en cuanto a frecuencias (10^{-5}), para riesgos a terceros es la piscina incendiada en las bombas de transferencia de crudo. Debido al hecho de que las bombas no tienen construido brocal de contención del posible crudo derramado, permitiendo la extensión del mismo de manera irregular o indefinida, lo que puede ser solucionado con la construcción del brocal individual para cada bomba.
- ✓ La curva de riesgo individual al operador (10^{-3}), determinó que la sala de control se encuentra ubicada en una zona segura de la planta, cumpliendo con los requisitos mínimos de seguridad en diseño.
- ✓ De la misma manera se determinó a partir de la curva de riesgo individual al operador, que el sistema contra incendio se encuentra ubicado en una zona segura de la planta para su correcto uso en caso de una eventualidad.
- ✓ A través de las simulaciones en el Canary de los distintos eventos capaces de generarse en los equipos de la instalación, se determinó que las mayores consecuencias tanto en el evento de chorro de fuego como en el de piscina incendiada, es cuando las condiciones ambientales son de máxima velocidad de viento y estabilidad D, pues el viento tiende a arrastrar el efecto de la radiación generando una mayor área de afectación.
- ✓ También se pudo notar como a mayor diámetro de rotura mayor resulta la distancia de afectación del evento, no obstante, la frecuencia es inversamente proporcional al diámetro de rotura como se pudo notar en las frecuencias calculadas a partir de los árboles de falla.

VI.2 RECOMENDACIONES

- ✓ Se recomienda adquirir una porción de 30 metros del terreno ubicado al lado sur de la planta, para declarar la franja de máxima seguridad de la planta misma, evitando la construcción en el futuro de viviendas, lo cual incrementaría el riesgo social de la instalación respecto a terceros. Esta distancia es función de los resultados de las consecuencias estimadas en el Análisis Cuantitativo de Riesgos.
- ✓ Se propone el cierre de la vía secundaria entre la planta Motatán II y la planta de inyección de agua. Con uso restringido solo a personal autorizado, disminuyendo con ello el riesgo social a terceros a limitar su presencia en la zona. Esta vía no tiene un uso indispensable para los habitantes de la zona, pues la carretera que bordea la planta por el lado Este, realiza el mismo recorrido y en ningún momento presenta riesgo en caso de un evento mayor en la instalación.
- ✓ Discutir con dirigentes vecinales acerca de la conveniencia del cierre de la vía alterna para la seguridad de los pobladores y transeúntes del área.
- ✓ Reforzar la divulgación del plan de respuesta y control de emergencia entre el personal de la instalación, y mejorar la demarcación del sitio de concentración destinado para tal fin. Actualmente existe excelente información respecto a vías de escape, sin embargo no esta demarcado el sitio de concentración.
- ✓ Cumplir con el programa de mantenimiento preventivo de la instalación para garantizar el correcto funcionamiento de los sistemas de detección, y extinción de incendios, sistemas de detección de gas, de calor y de parada de emergencia, así como el correcto de funcionamiento de los equipos de proceso.

- ✓ Construir brocales individuales para bombas y separadores de producción con el objeto de confinar el crudo que se derrame, disminuyendo así la posibilidad de afectación a los otros equipos de proceso, a operadores y a terceros mediante la reducción del tamaño de la piscina.

- ✓ Realizar evaluación mediante Nivel Integrado de Seguridad (SIL), para determinar la necesidad de instalación de un sistema de detección de gas y mejorar el tiempo de respuesta en caso de una fuga de gas en separadores.

www.bdigital.ula.ve

GLOSARIO DE TÉRMINOS

- ✓ **Accidente mayor:** Cualquier suceso no deseado, tal como una emisión, fuga, vertido, incendio o explosión, que sea consecuencia de un desarrollo incontrolado de una actividad industrial, que suponga una situación de grave riesgo o catástrofe, inmediata o diferida, para las personas, el medio ambiente o las instalaciones, bien sea dentro o fuera de las mismas. [3][5]
- ✓ **Árbol de Evento:** Modelo gráfico-lógico que identifica y cuantifica los posibles escenarios que secundan a un evento iniciador. [4]
- ✓ **Árbol de Falla:** Método para representar la combinación lógica de varios estados del sistema que conducen a un evento en particular, al cual por medio de análisis se le calcula la frecuencia de ocurrencia. [4]
- ✓ **Chorro de Fuego (Jet Fire):** Llama estacionaria de difusión de gran longitud y poca anchura, como la producida por un soplete, resultante de la ignición una fuga de líquido y/o gas presurizado. [3][4]
- ✓ **Consecuencia:** Medida de los efectos esperados de un incidente ocurrido.
- ✓ **Deflagración:** Combustión de llama premezclada progresiva, caracterizada por una disminución de densidad. Su propagación es subsónica. [3]
- ✓ **Dispersión:** Fuga de producto que no se incendia. [2]
- ✓ **Explosión de una Nube de Vapor (Vapor Cloud Explosion –VCE):** Deflagración explosiva de una nube de gas inflamable que se forma al mezclarse el vapor inflamable con el aire en un espacio amplio, cuya onda

de presión alcanza una sobrepresión máxima del orden de 1 bar en la zona de ignición. [3]

- ✓ **Falla:** Condición en la cual un elemento no puede cumplir su función. [5]
- ✓ **Frecuencia:** Número de ocurrencia de un evento por unidad de tiempo.[5]
- ✓ **Frecuencia de falla:** Número de eventos de falla ocurridos, dividido entre el tiempo en el cual se producen tales hechos o entre el número total de demandas, según sea aplicable. [5]
- ✓ **Fogonazo (Flash Fire):** Combustión de una mezcla de vapor inflamable y aire, en la cual el frente de llama pasa a través de la porción de la mezcla que no ha reaccionado (llama progresiva de difusión) a una velocidad menor que la del sonido, de forma que se genera radiación térmica sin generación de onda de presión. [3][4]
- ✓ **HAZOP (Hazard and Operability Study):** Técnica empleada para identificar peligros en los procesos y problemas potenciales de operabilidad, mediante el uso de una serie de palabras claves que estudian la desviación del proceso de su condición natural. [4]
- ✓ **Incidente:** Accidente sin consecuencias o pérdidas. [5]
- ✓ **Llama:** Zona de combustión en fase gaseosa con emisión de luz.
- ✓ **Peligro:** Condición física o química, o acto del que puede esperarse, con bastante certeza, que cause o sea la causa de daños físicos a la propiedad y/o ambiente. [5]

- ✓ **Petróleo:** Mezcla de hidrocarburos naturales de amplio rango de ebullición. Generalmente se presenta en estado líquido en condiciones normales de presión y temperatura, y puede contener compuestos de azufre, nitrógeno, oxígeno y de metales.
- ✓ **Piscina de Fuego (Pool Fire):** Combustión de un material que se evapora de una capa de líquido en la base de un incendio. [4]
- ✓ **Probabilidad:** Posibilidad de ocurrencia de un evento o una secuencia de hechos durante un intervalo de tiempo. Probabilidad de un suceso o falla de un sistema en prueba o demanda. Por definición la probabilidad debe ser expresada como un número entre 0 y 1. [4][5]
- ✓ **Riesgo:** Medida de pérdidas económicas o de vidas humanas en términos de la factibilidad de ocurrencia de un accidente (frecuencia) y la magnitud de las pérdidas (consecuencias), siendo la expresión más generalizada el producto entre estos dos. [3][4]
- ✓ **Riesgo Individual:** El riesgo que corre una persona en la proximidad de un peligro. Esto incluye la naturaleza del daño a la persona, la probabilidad que el daño ocurra y el periodo del tiempo en que el daño podría ocurrir. [4]
- ✓ **Riesgo Intolerable:** Es cuando la condición existente en la instalación es inaceptable y resulta obligatorio la adopción de medidas que reduzcan la probabilidad de ocurrencia y la severidad de los potenciales accidentes. La reducción del riesgo se puede obtener mediante la opción de disminución de la frecuencia o de la atenuación de las consecuencias o una combinación de ambas, sin embargo para este caso, es imperativo agotar en primera instancia todas las medidas de ingeniería conducentes a reducir la frecuencia de ocurrencia del accidente, siendo inaceptable pretender

únicamente la adopción de medidas dirigidas a la reducción de consecuencias. [6]

- ✓ **Riesgo Mínimo:** Es cuando el riesgo es tolerable y no es necesario 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 deberán ser adoptadas. [6]

- ✓ **Riesgo Reducible:** Cuando el nivel de riesgo analizado, se ubica en esta región, no puede objetarse el sostenimiento de la condición operacional en tales circunstancias, pero es aconsejable visualizar todas las opciones posibles de reducción del riesgo, a través de la combinación de medidas de ingeniería y/o administrativas, que permitan la reducción de la probabilidad de ocurrencia y/o minimización de consecuencias de los posibles accidentes. Se debe dar prioridad a las medidas de ingeniería dirigidas a la reducción de probabilidades de ocurrencia de eventos y luego contemplar las mismas con las medidas administrativas que reduzcan o atenúen las consecuencias de los mismos. Finalmente, deben valorarse las medidas individuales o combinaciones de ellas, mediante la aplicación de un análisis costo-beneficio. [6]

- ✓ **Riesgo Social:** Medida del riesgo que corre un grupo de personas.

- ✓ **Sistema:** Conjunto de entidades definidas por sus atributos y relacionadas entre sí por vínculos, con el objeto de lograr predeterminados objetivos dentro de un cuadro de limitaciones especificadas.

www.bdigital.ula.ve
ANEXO A
ÁRBOLES DE DEMANDA,
FALLA Y EVENTOS

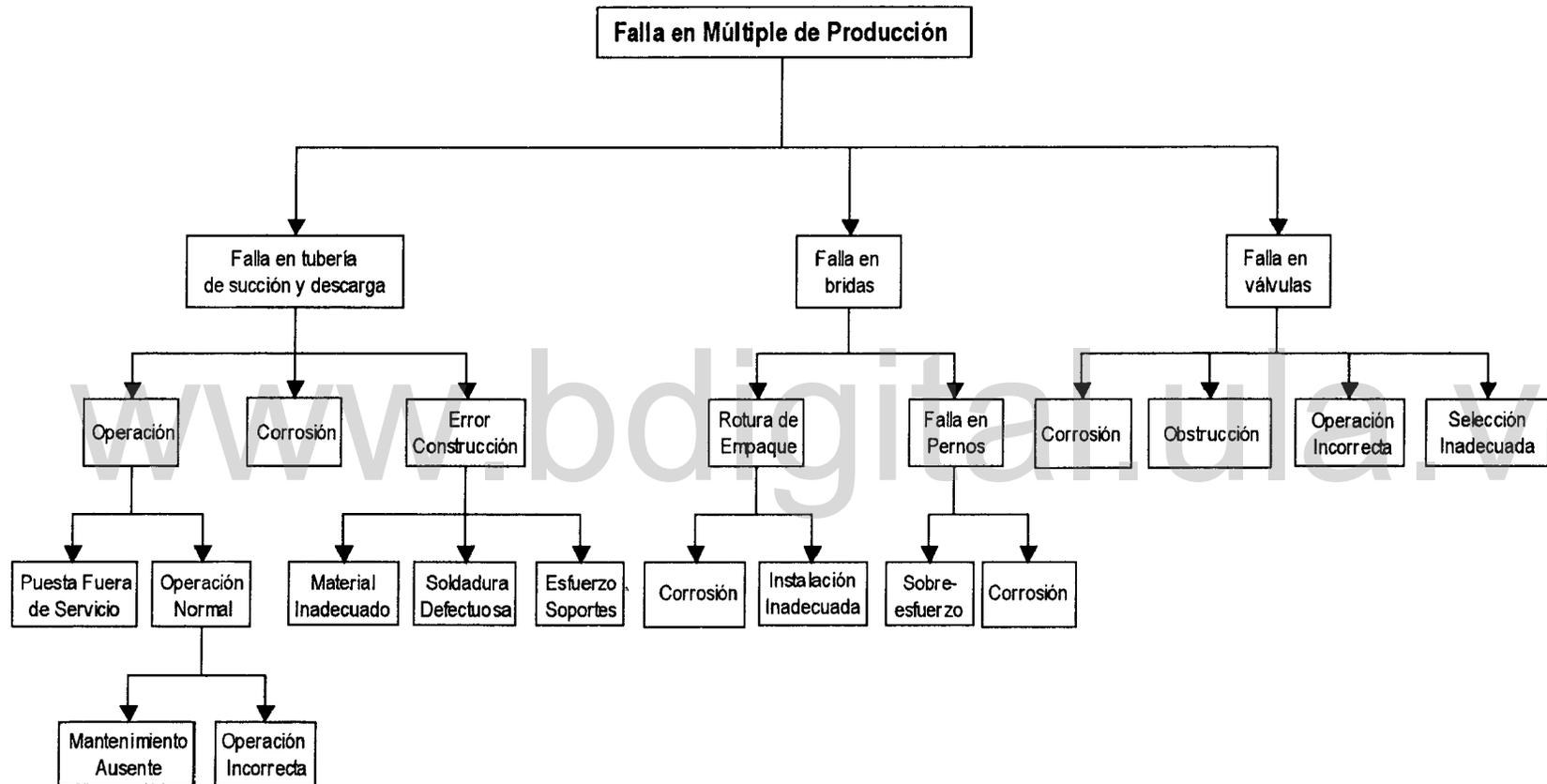
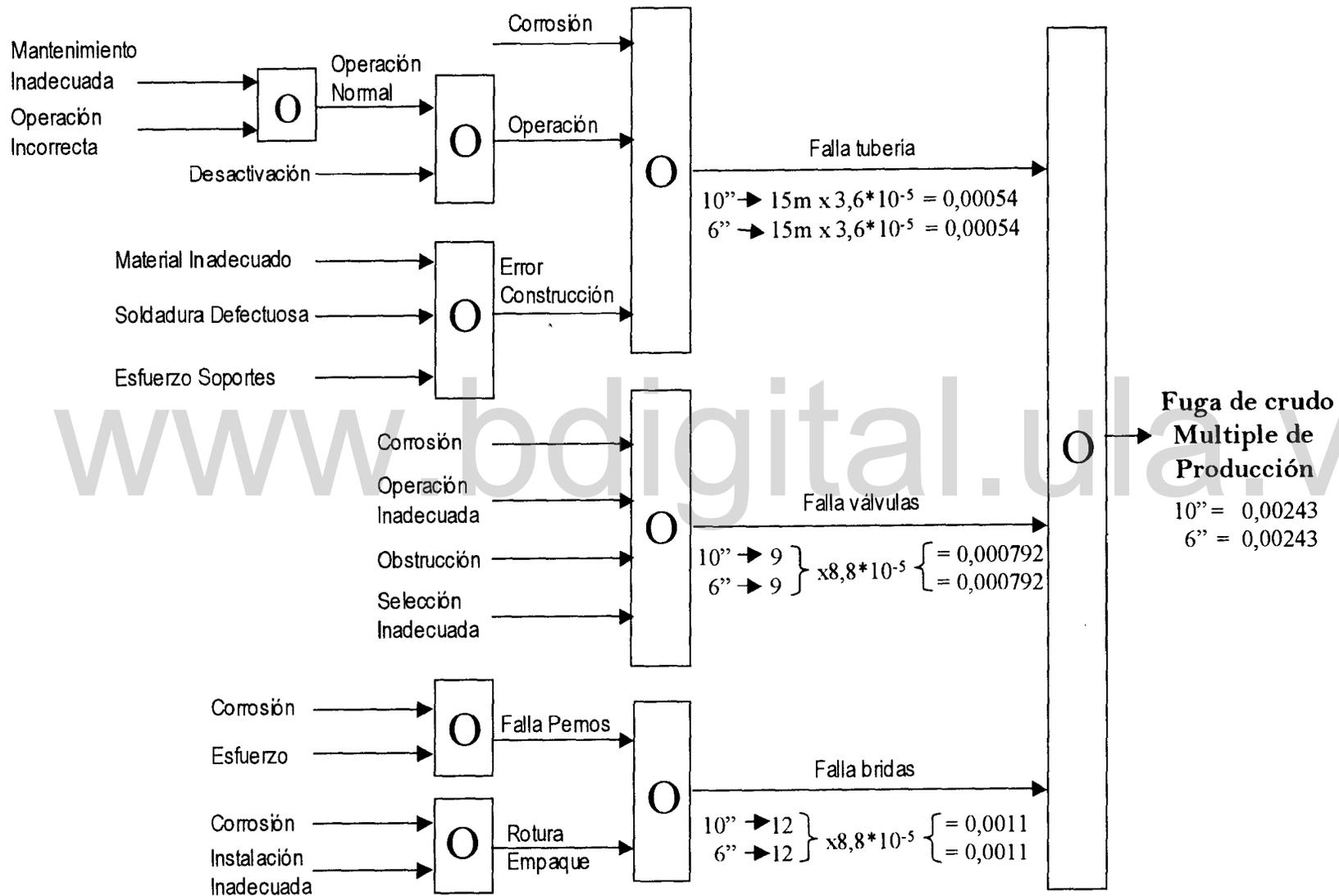


Figura A.1 Árbol de Demanda del Múltiple de Producción



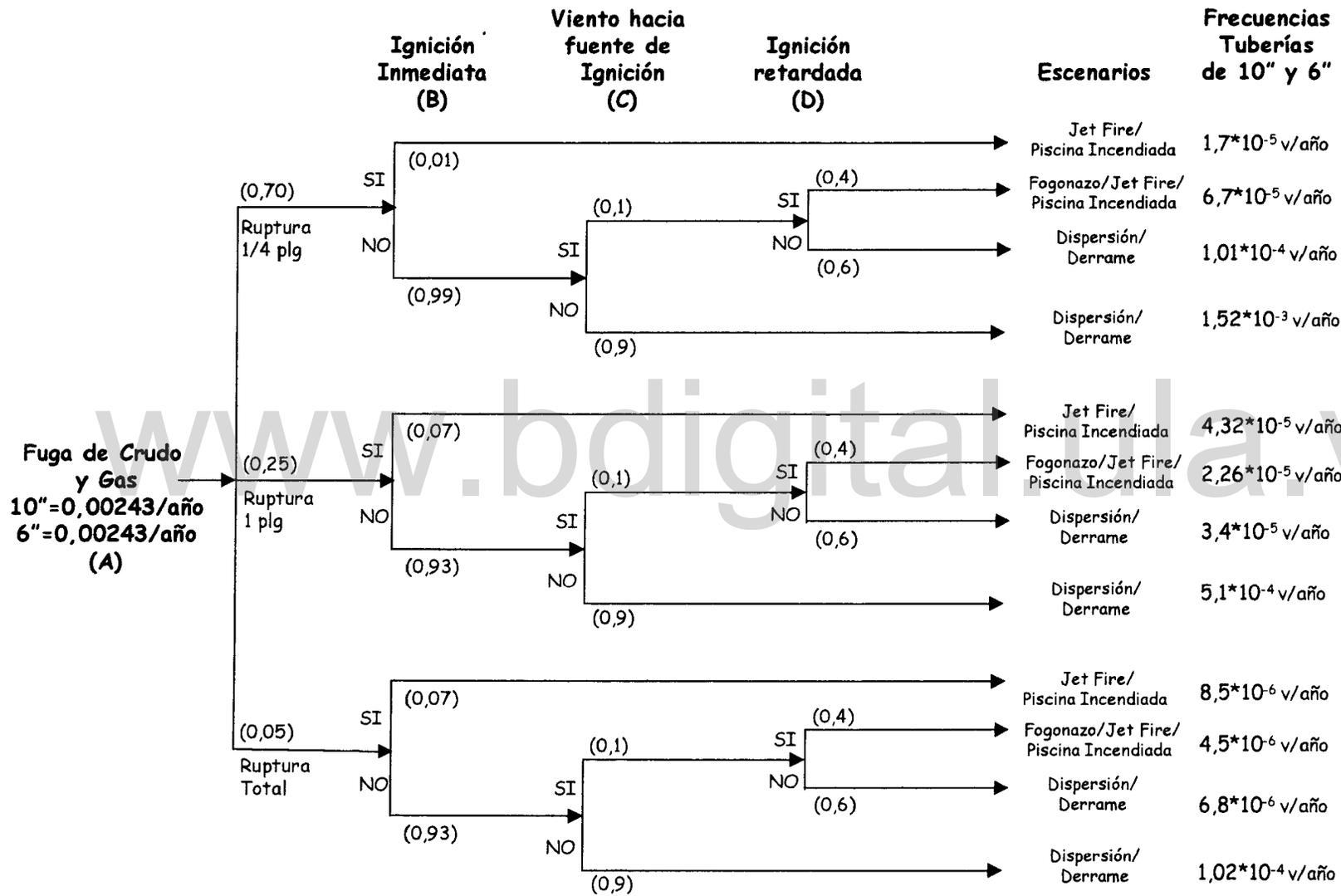


Figura A.3 Árbol de Eventos del Múltiple de Producción

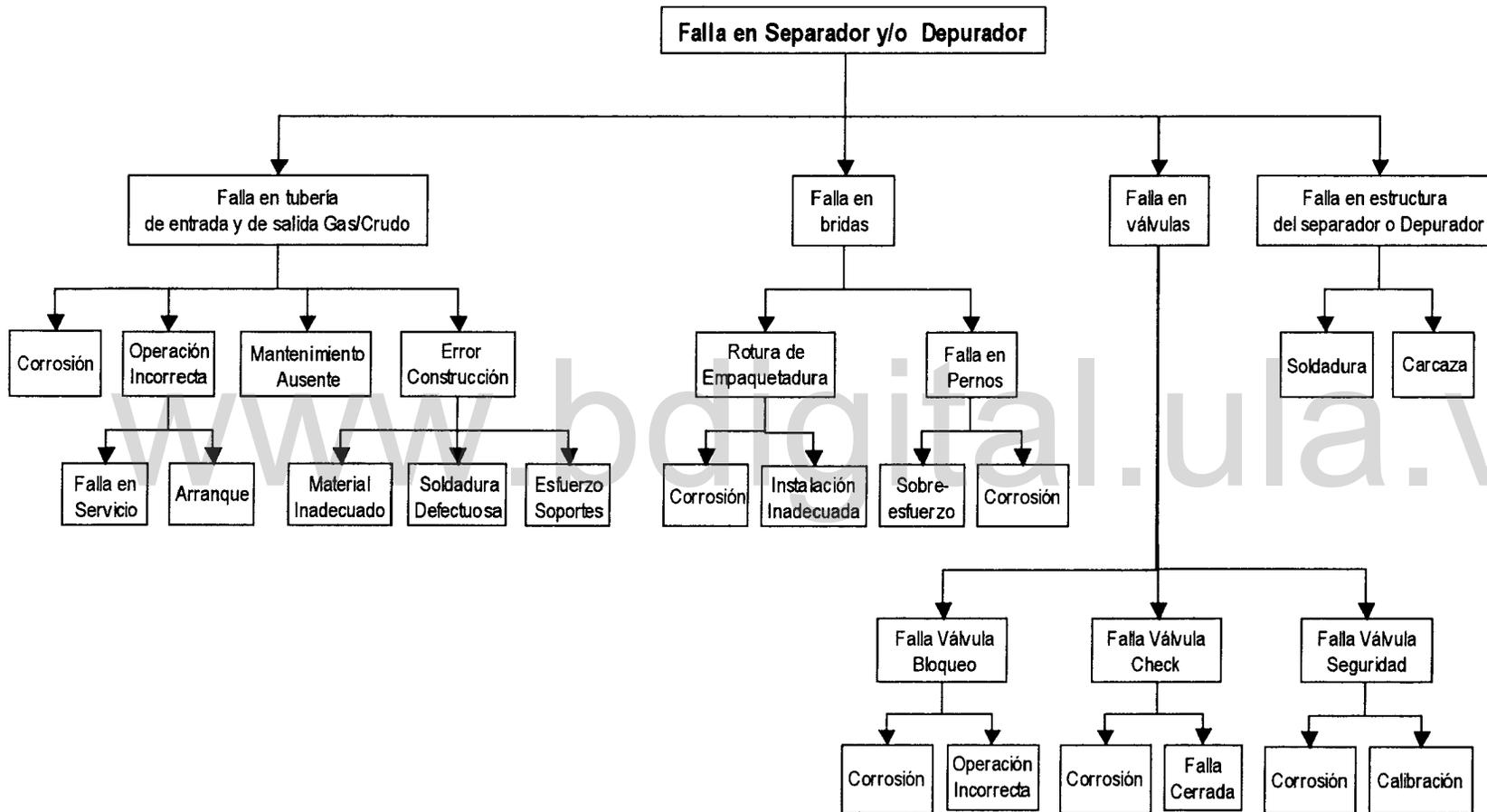


Figura A.4 Árbol de Demanda de los Separadores y/o Depuradores

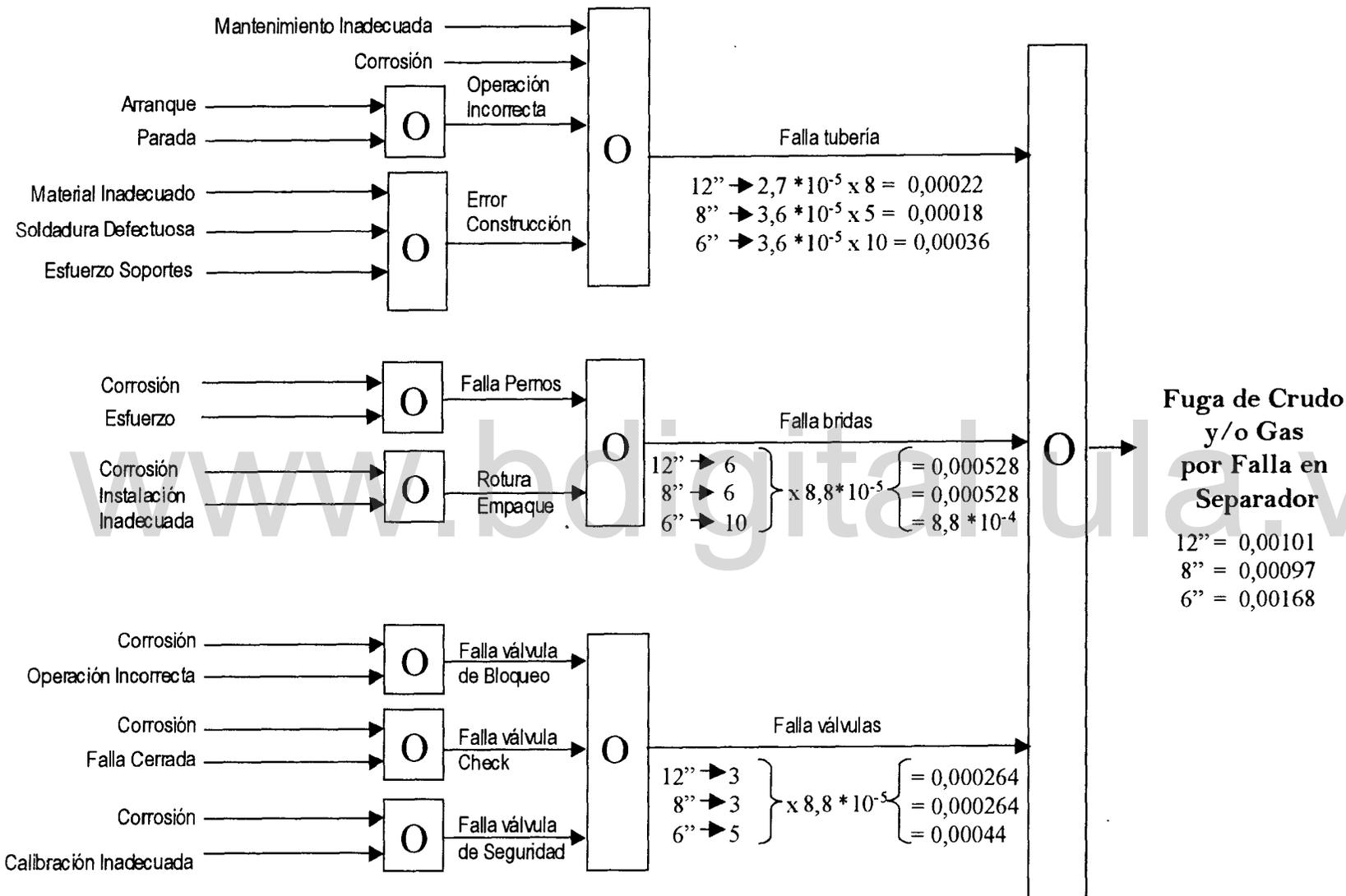


Figura A.5 Árbol de Falla de los Separadores

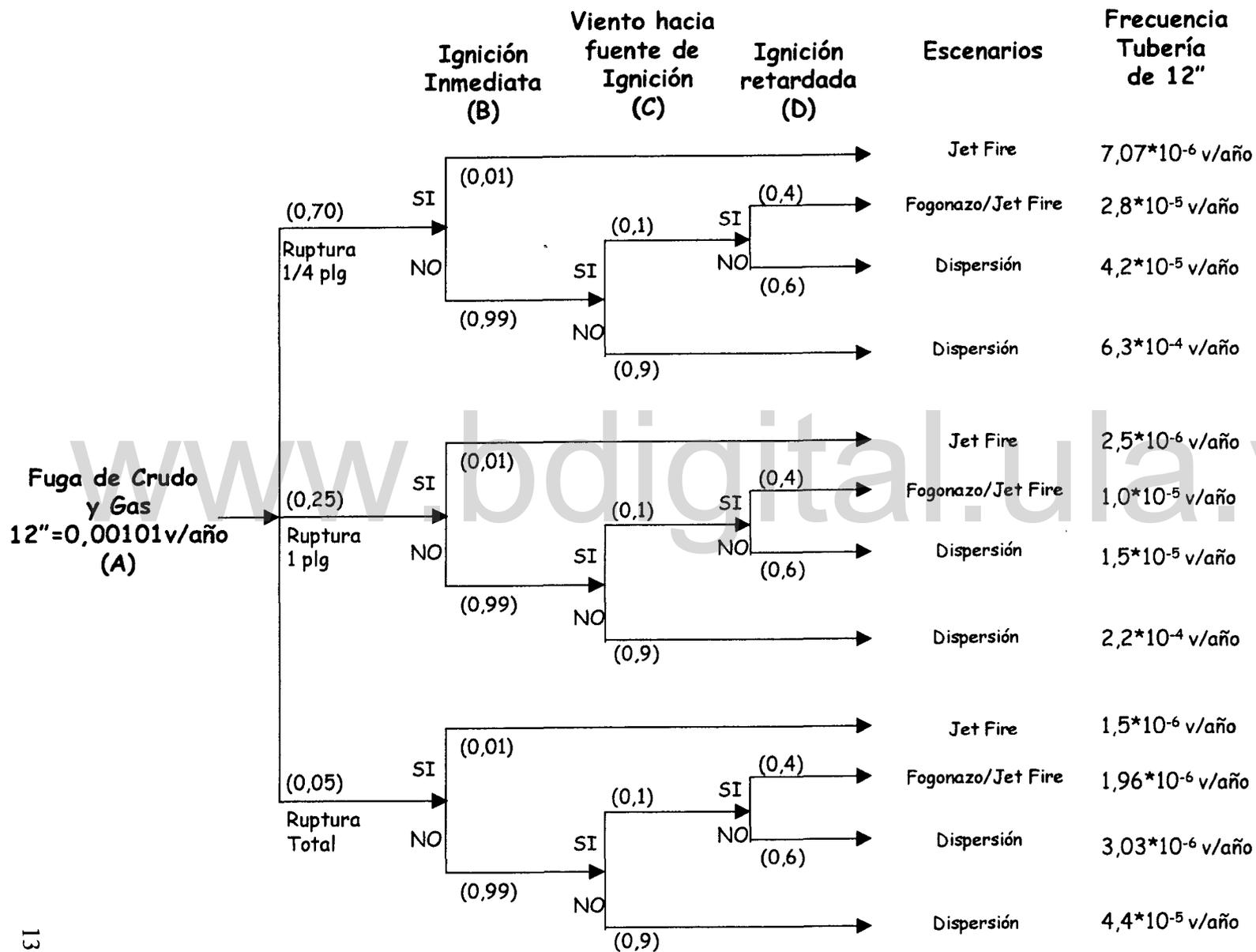


Figura A.6 Árbol de Eventos de la Línea de Salida de Gas del Separador

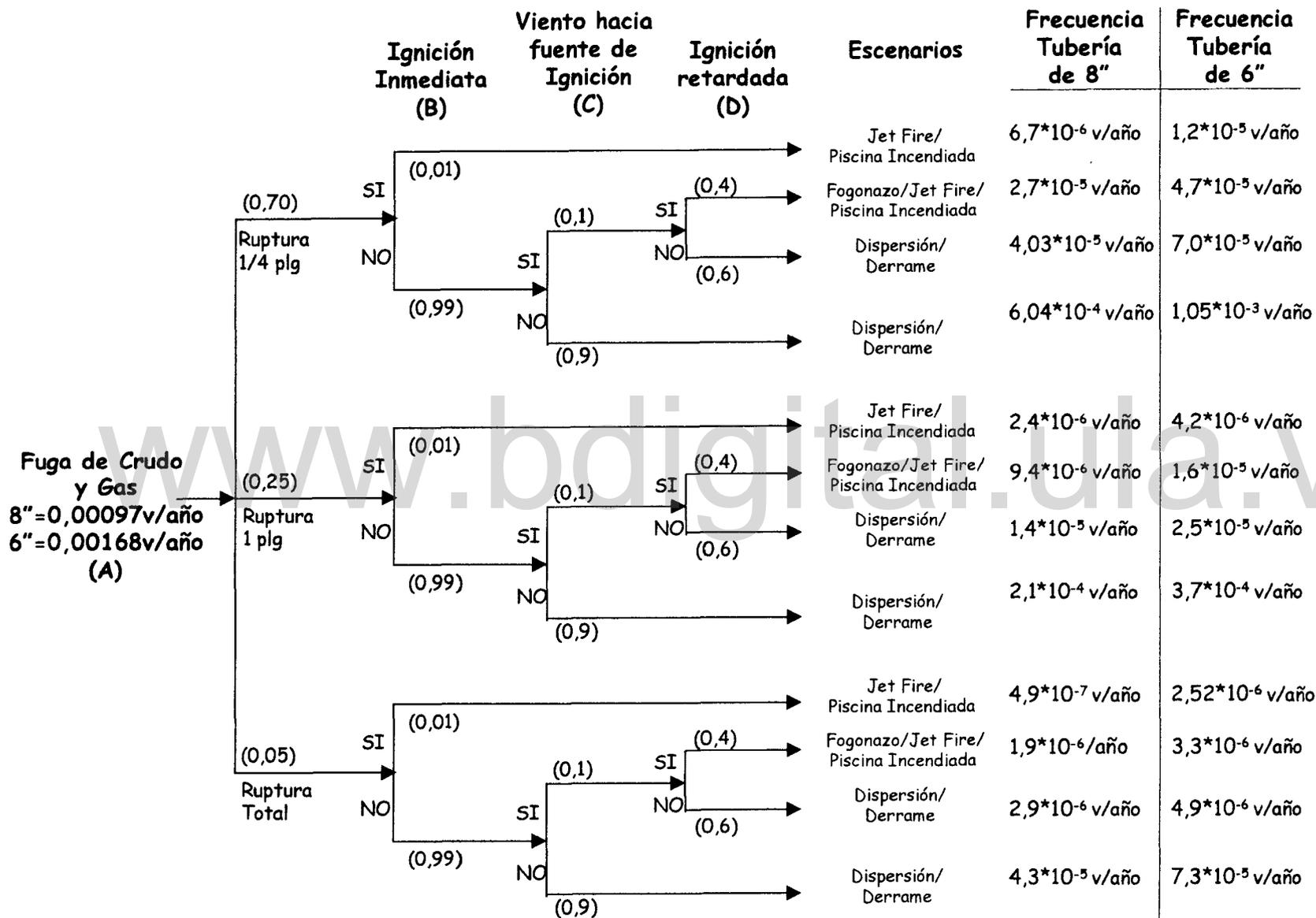


Figura A.7 Árbol de Eventos de la Línea de Salida de Crudo del Separador

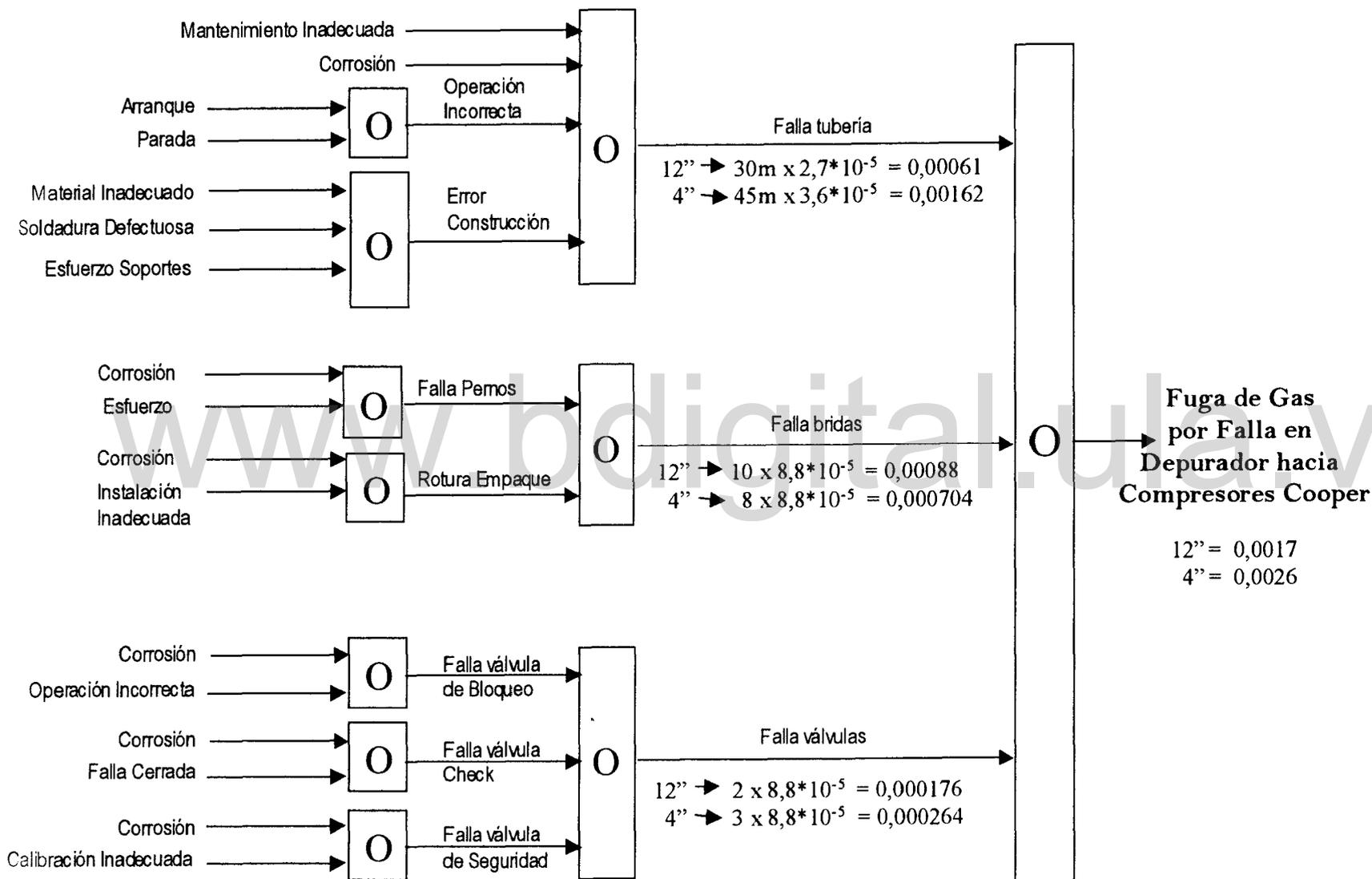


Figura A.8 Árbol de Falla del Depurador hacia los Compresores Cooper

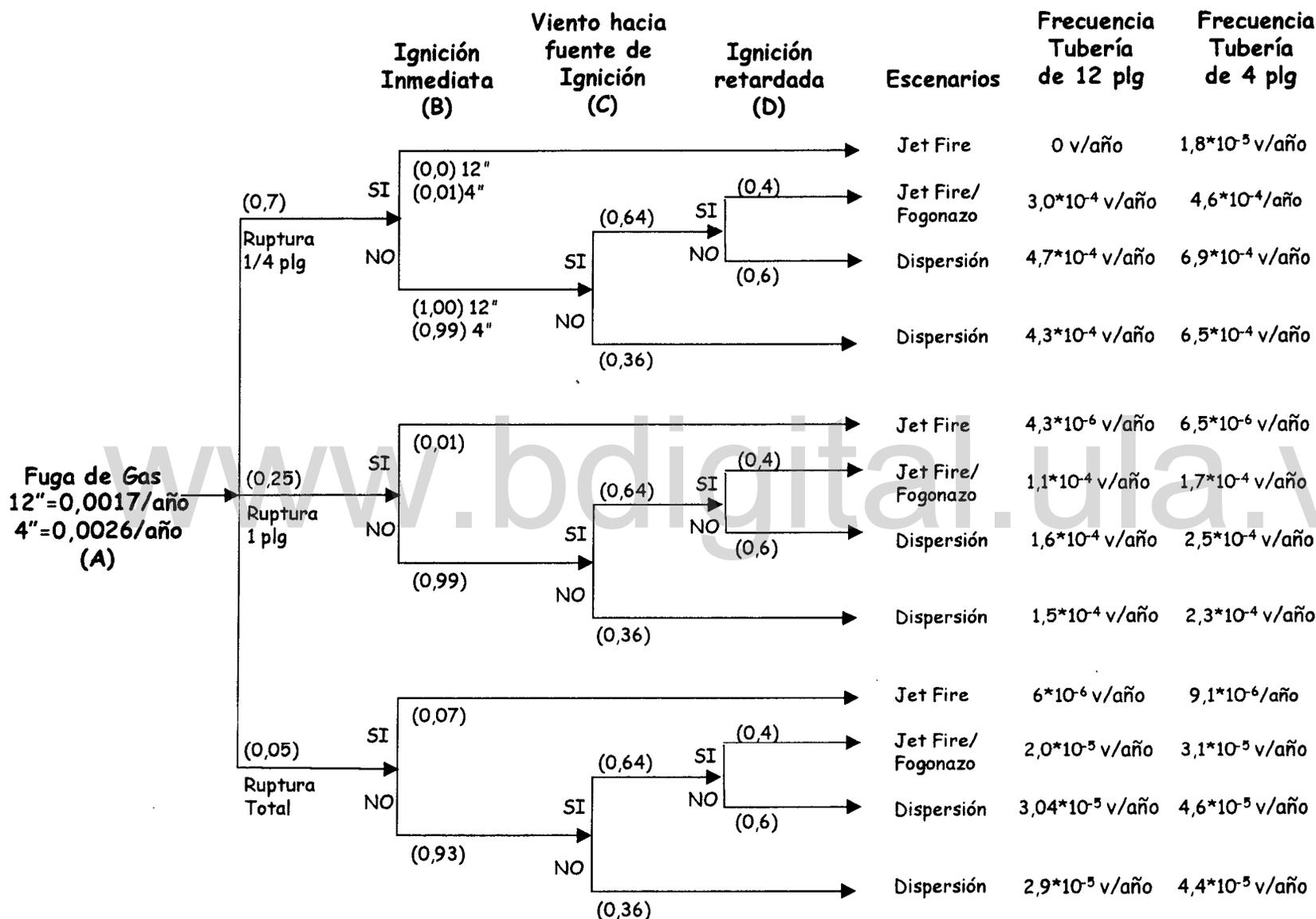


Figura A.9 Árbol de Eventos del Depurador hacia los Compresores Cooper

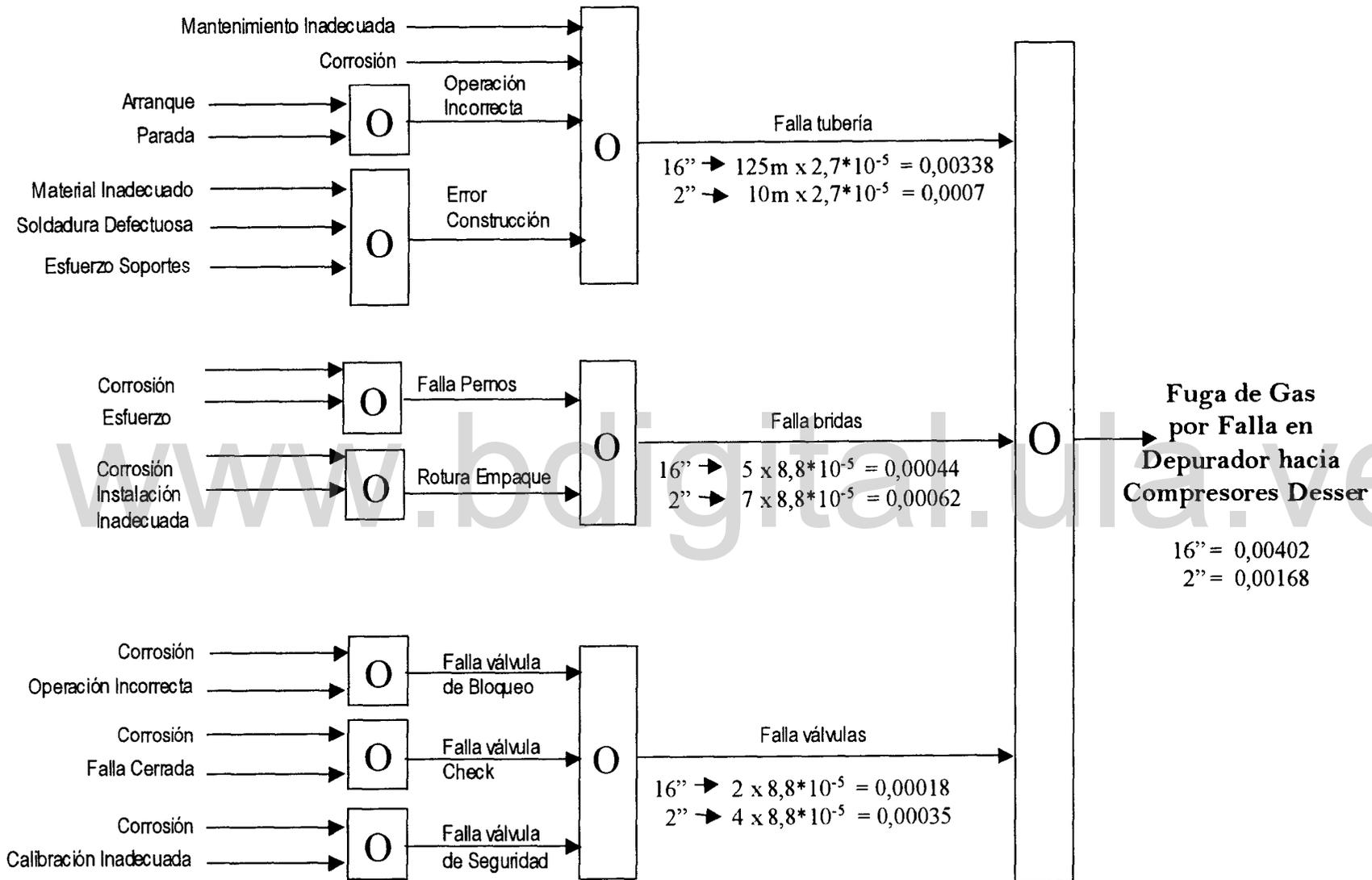


Figura A.10 Árbol de Falla del Depurador hacia los Compresores Dresser

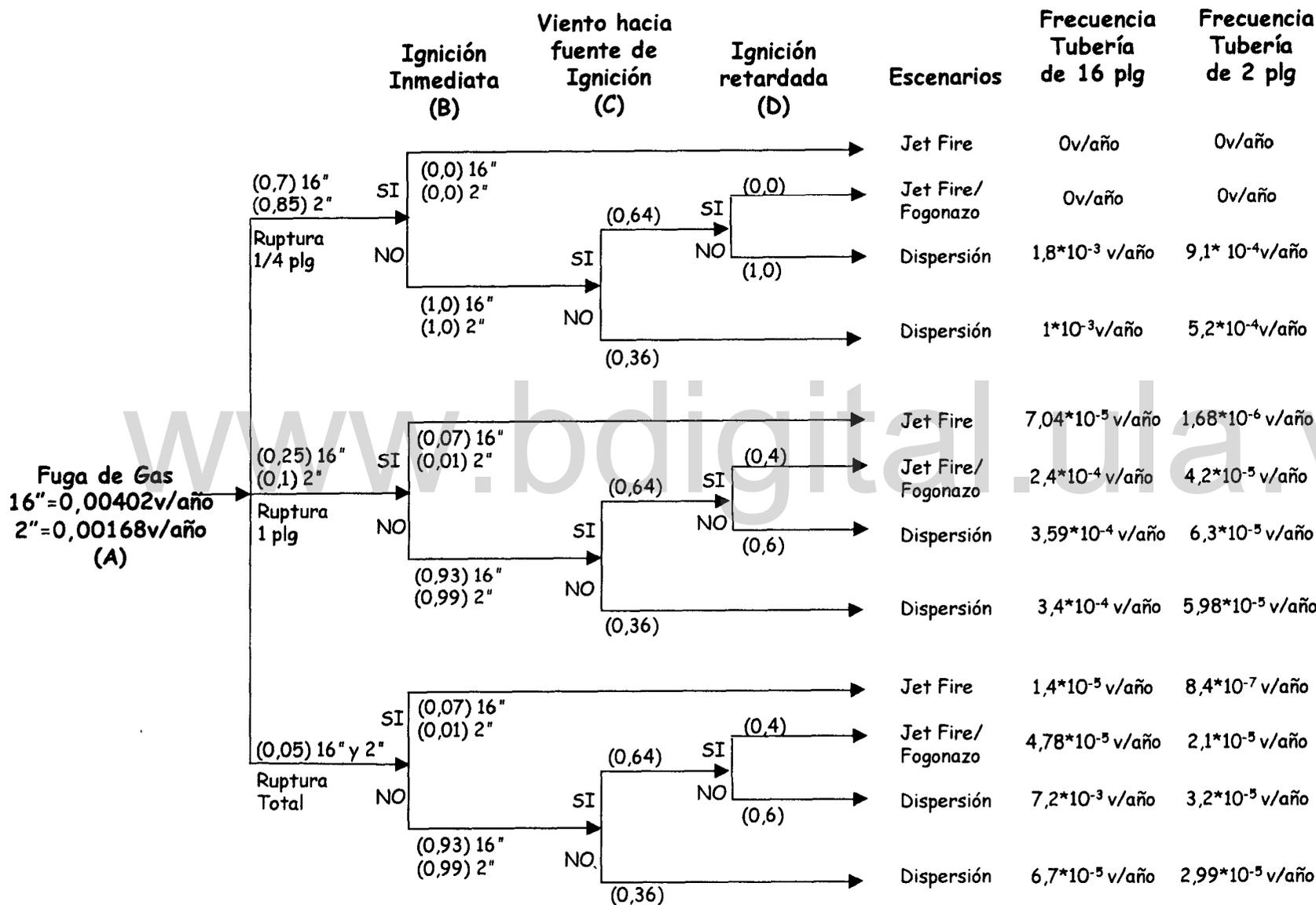


Figura A.11 Árbol de Eventos del Depurador hacia los Compresores Dresser

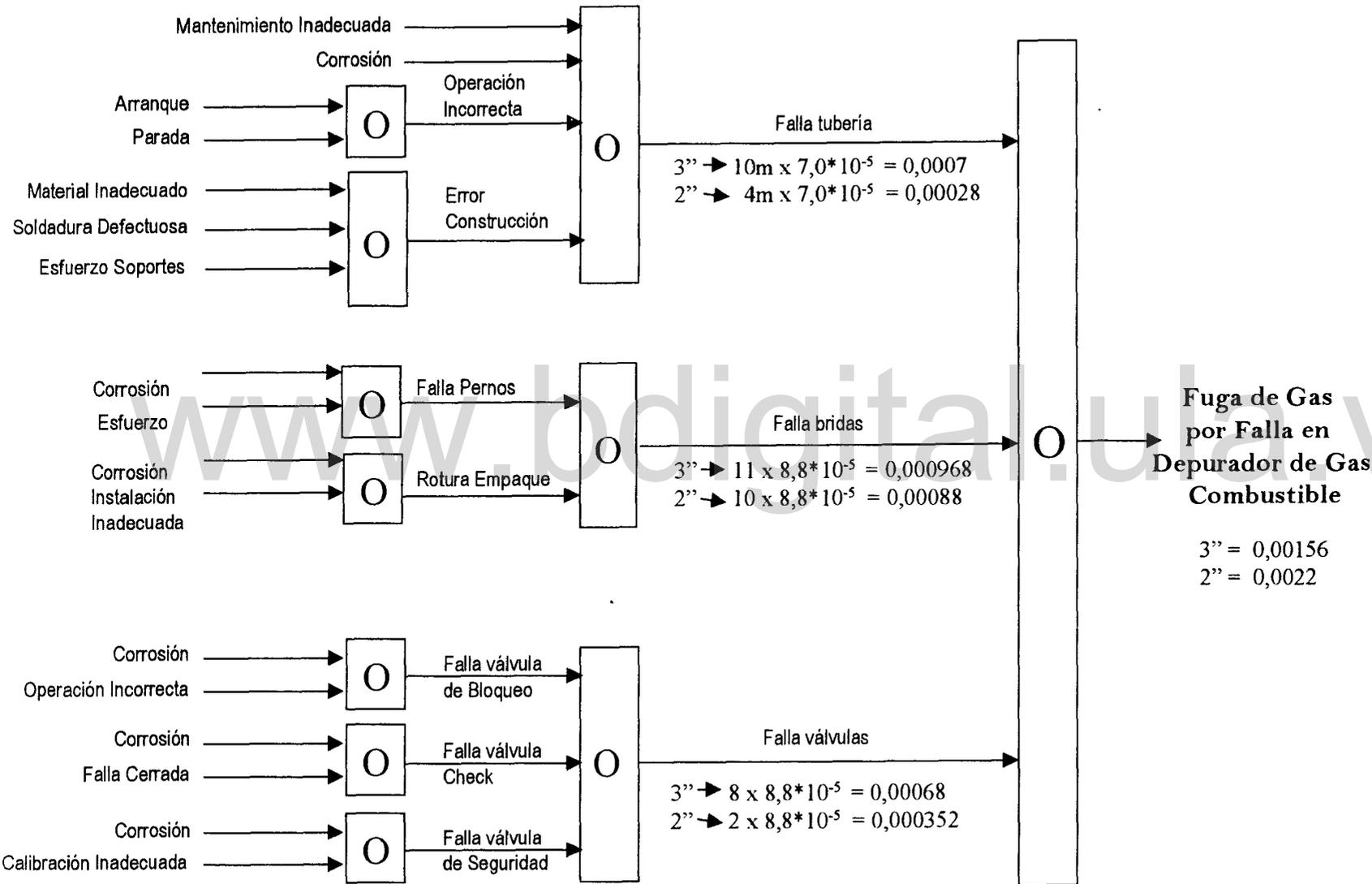


Figura A.12 Árbol de Falla del Depurador de Gas Combustible

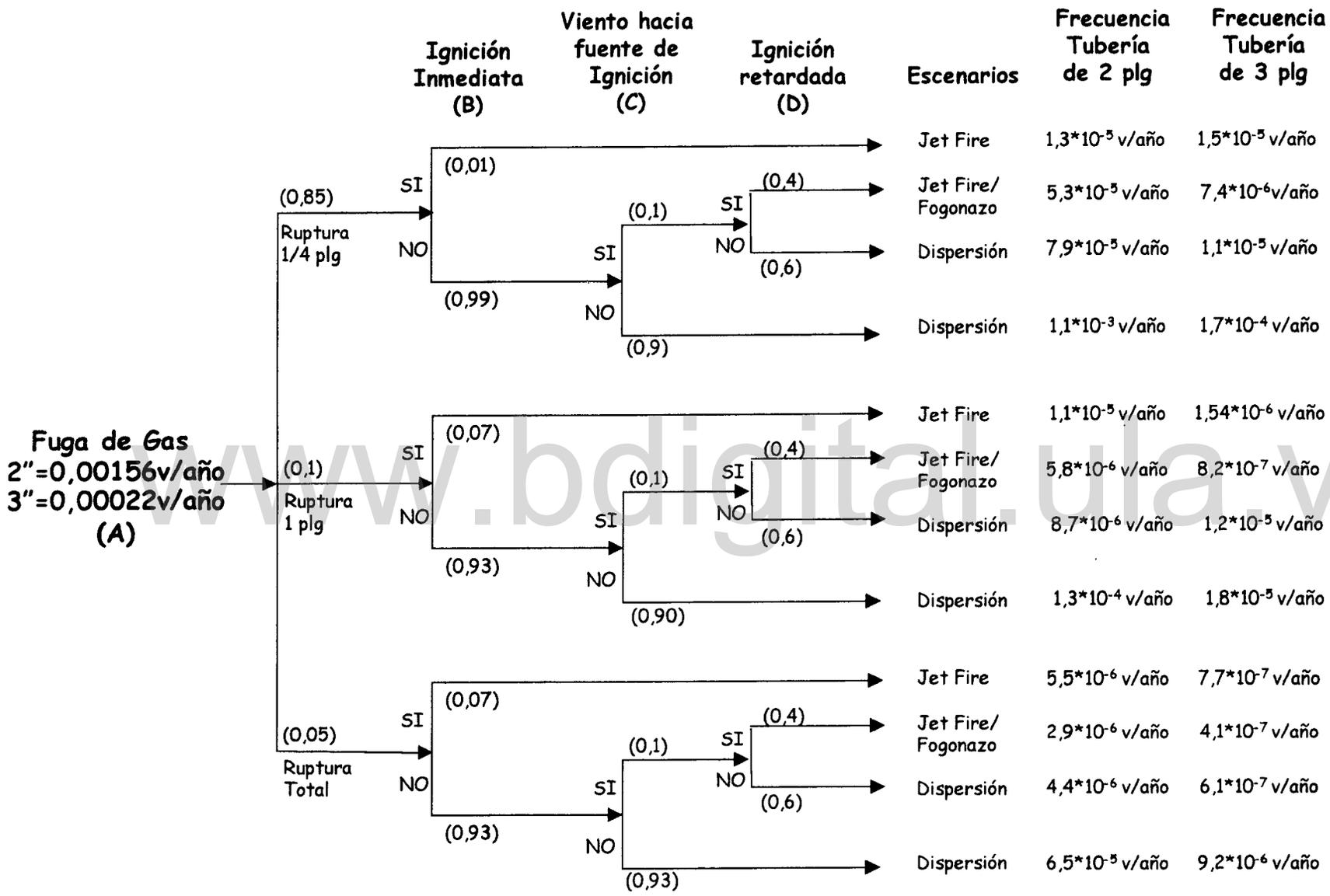


Figura A.13 Árbol de Eventos del Depurador de Gas Combustible

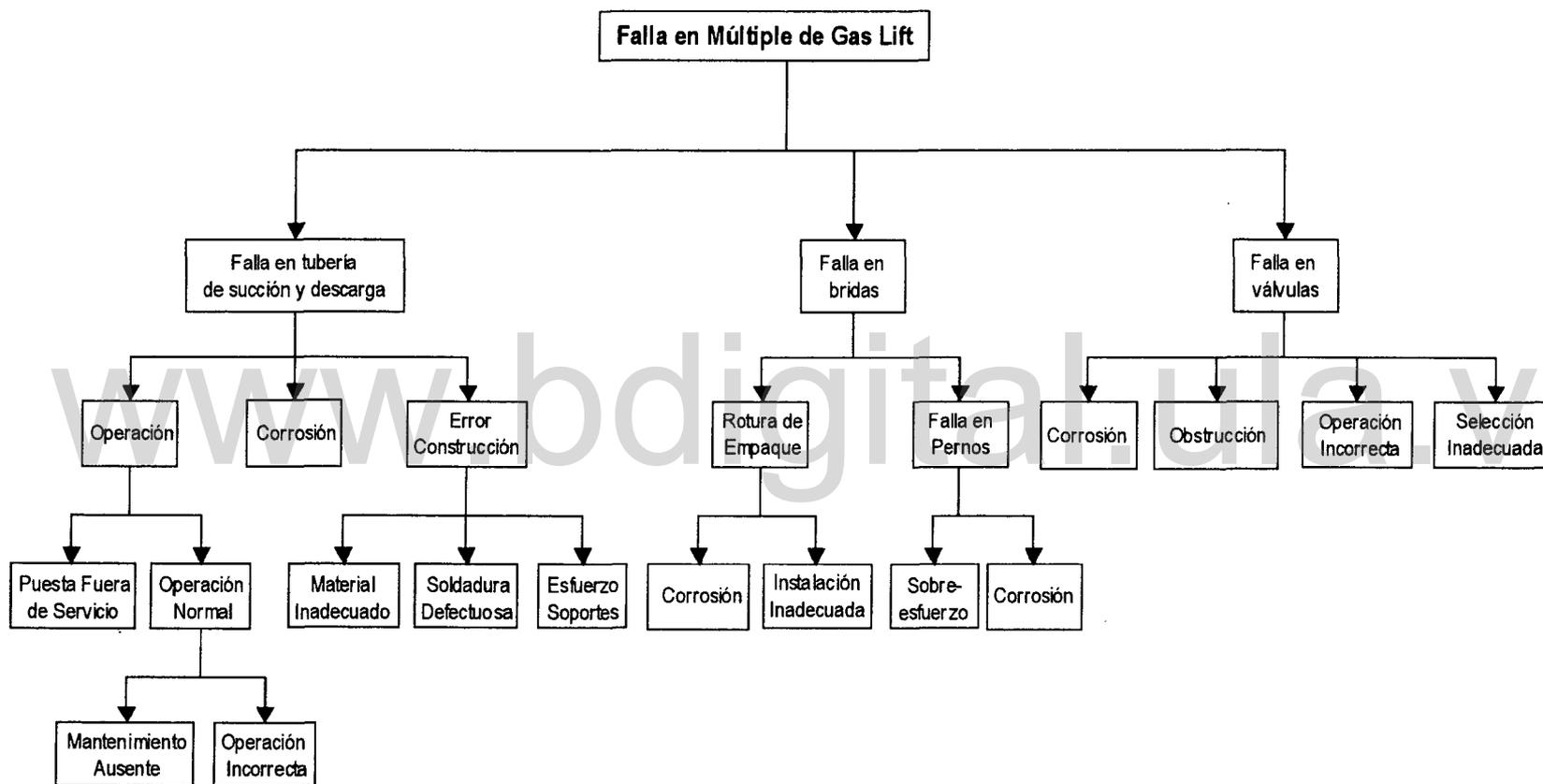


Figura A.14 Árbol de Demanda del Múltiple de Gas Lift

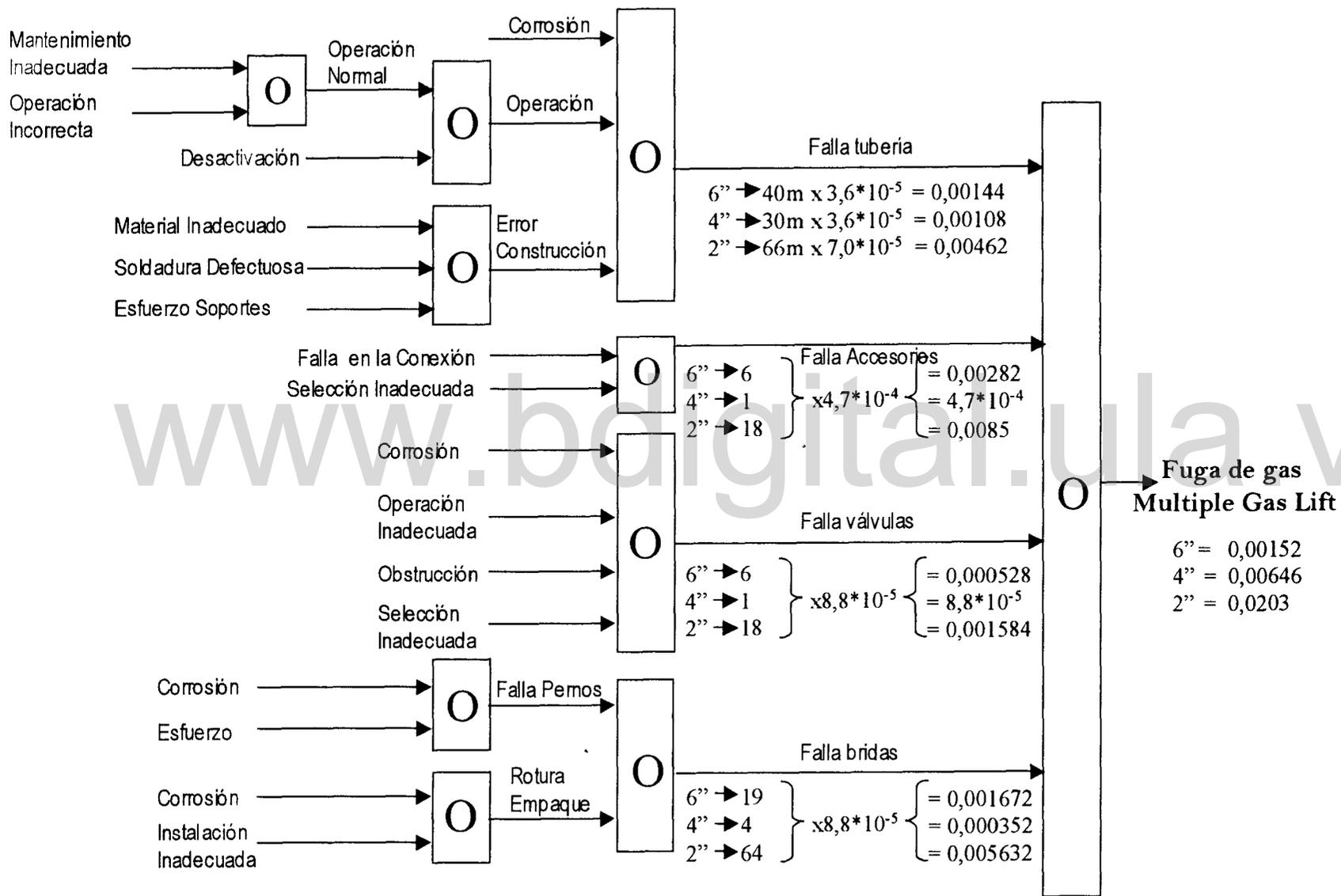


Figura A.15 Árbol de Falla del Múltiple de Gas Lift

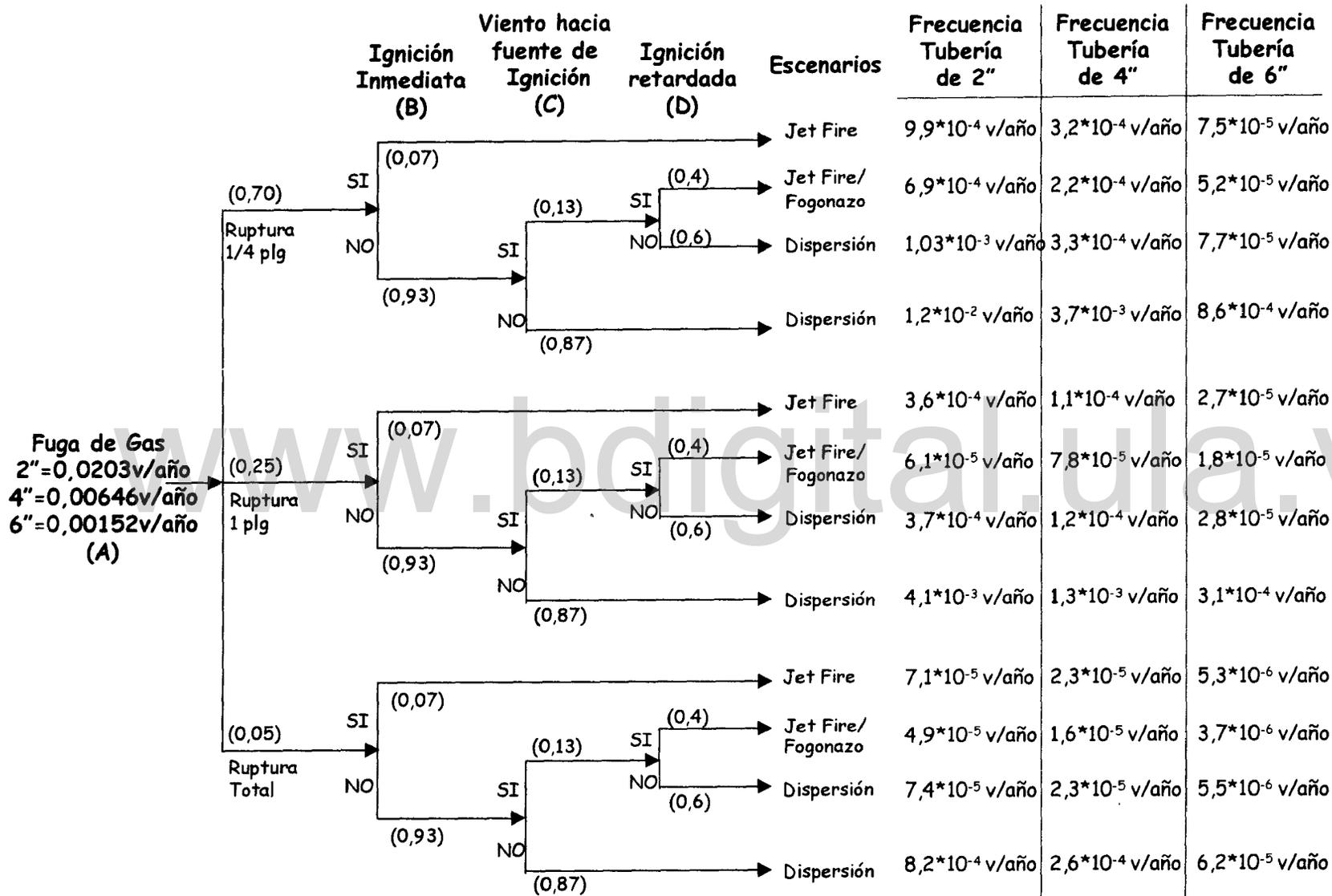


Figura A.16 Árbol de Eventos del Múltiple de Gas Lift

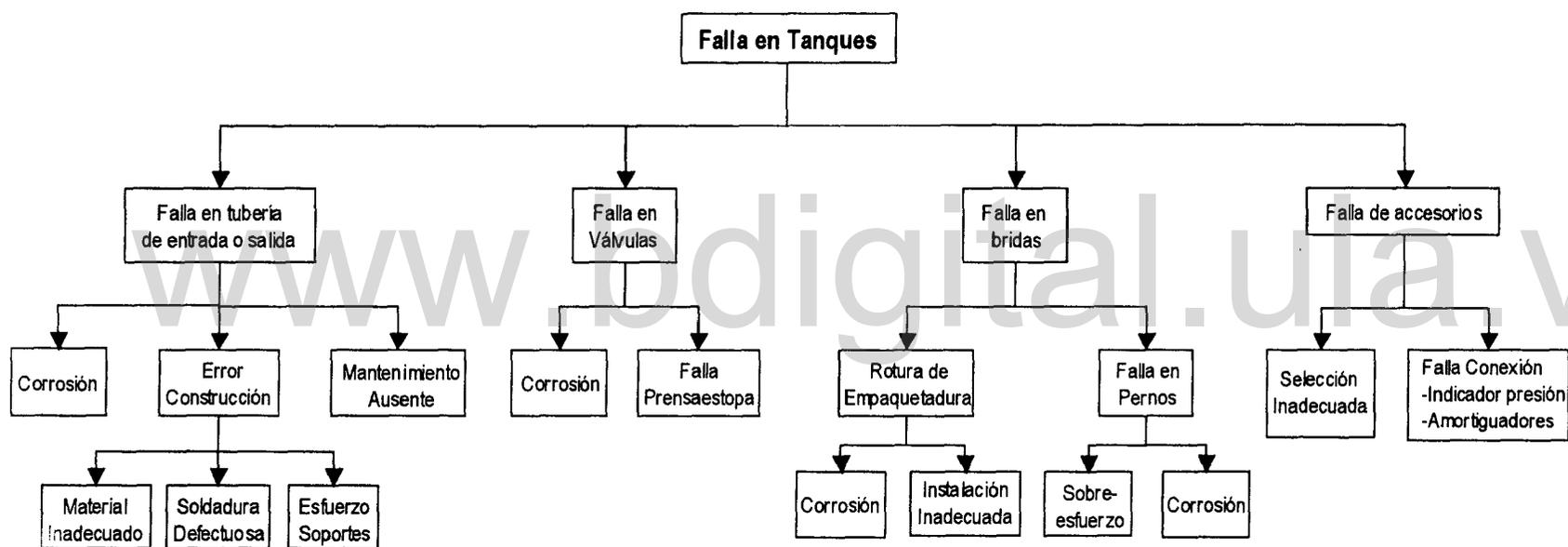


Figura A.17 Árbol de Demanda de los Tanques

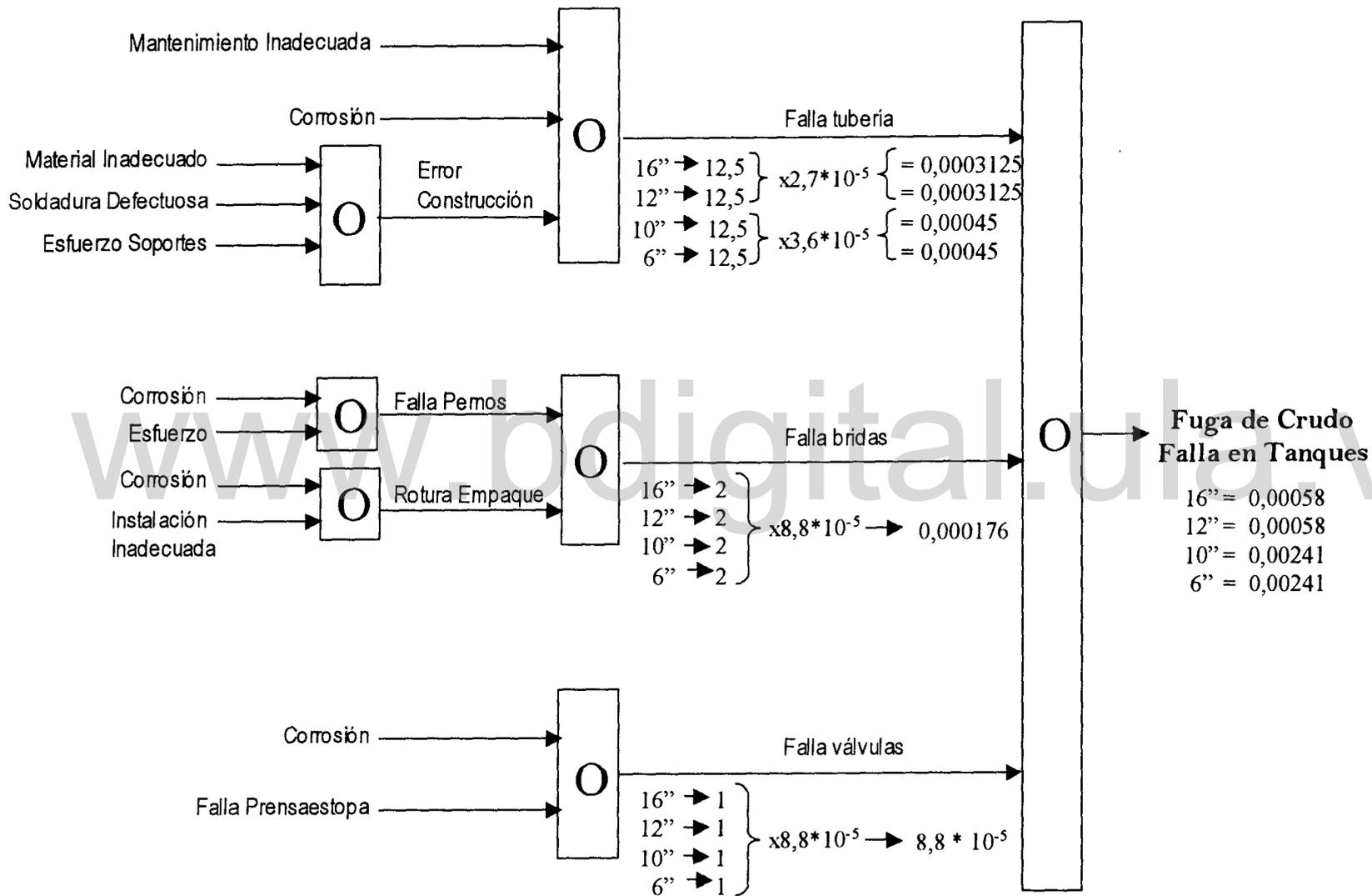


Figura A.18 Árbol de Falla de los Tanques

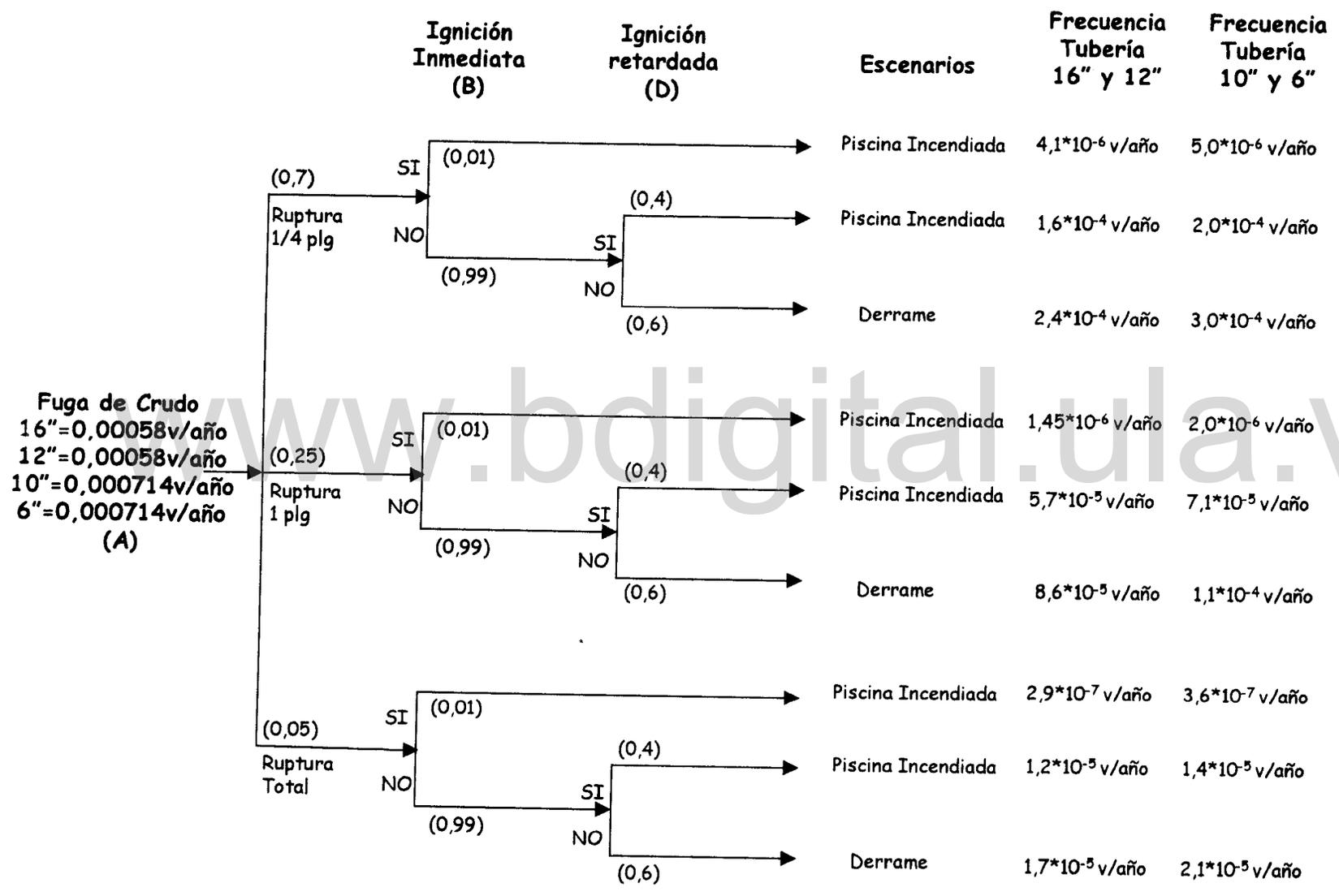


Figura A.19 Árbol de Eventos en los Tanques

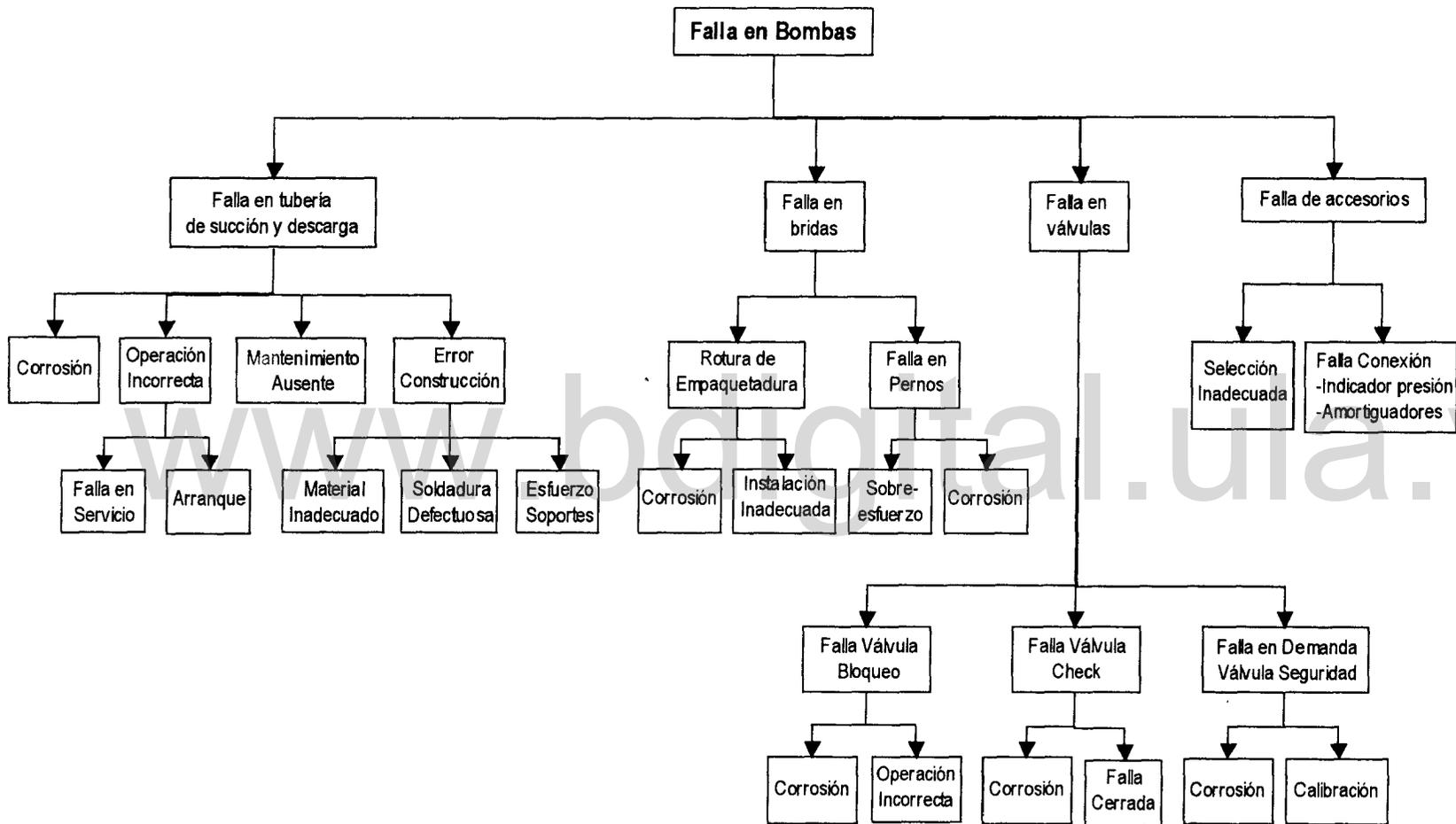


Figura A.20 Árbol de Demanda de las Bombas Reciprocantes de Crudo

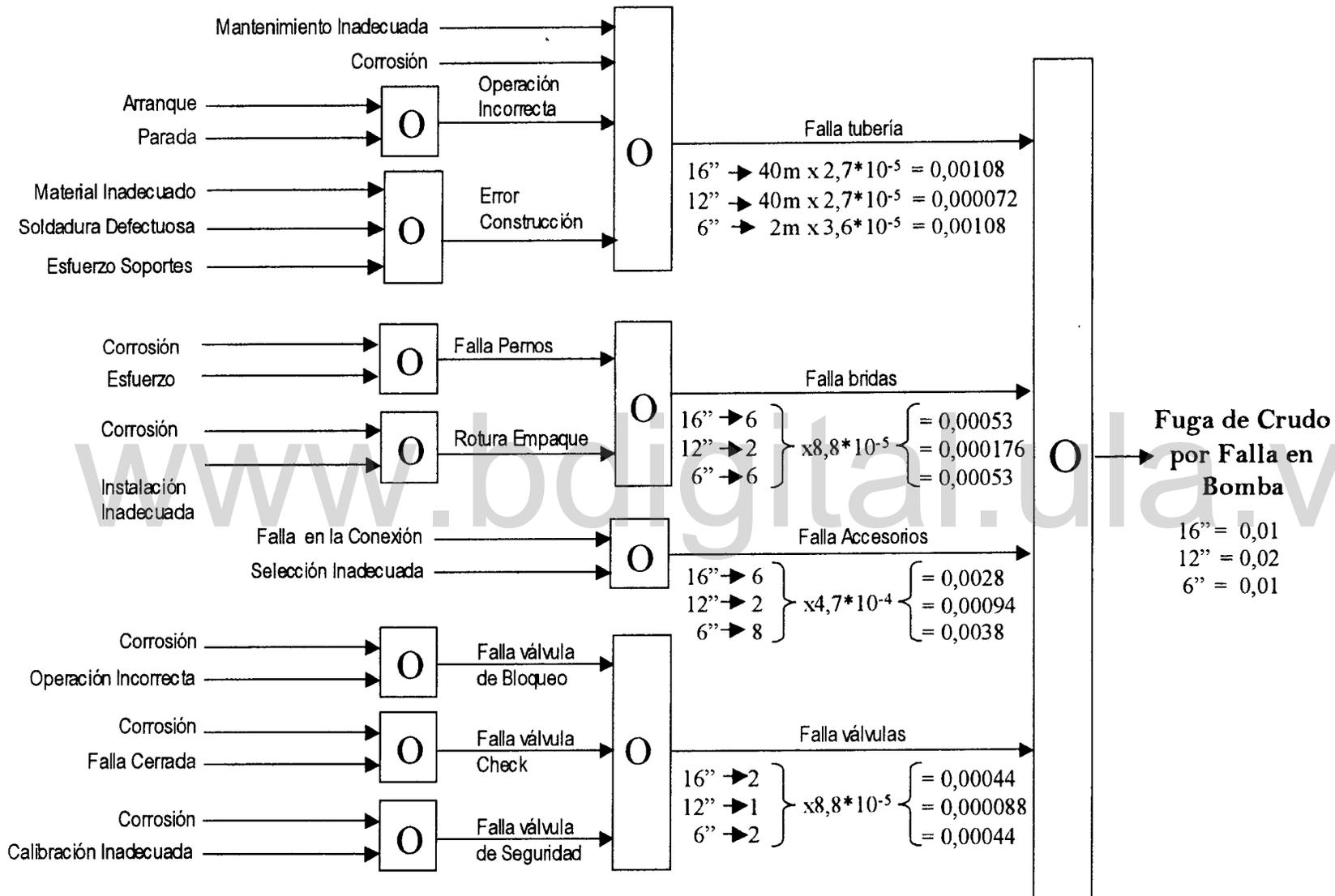


Figura A.21 Árbol de Falla de las Bombas Reciprocantes de Crudo

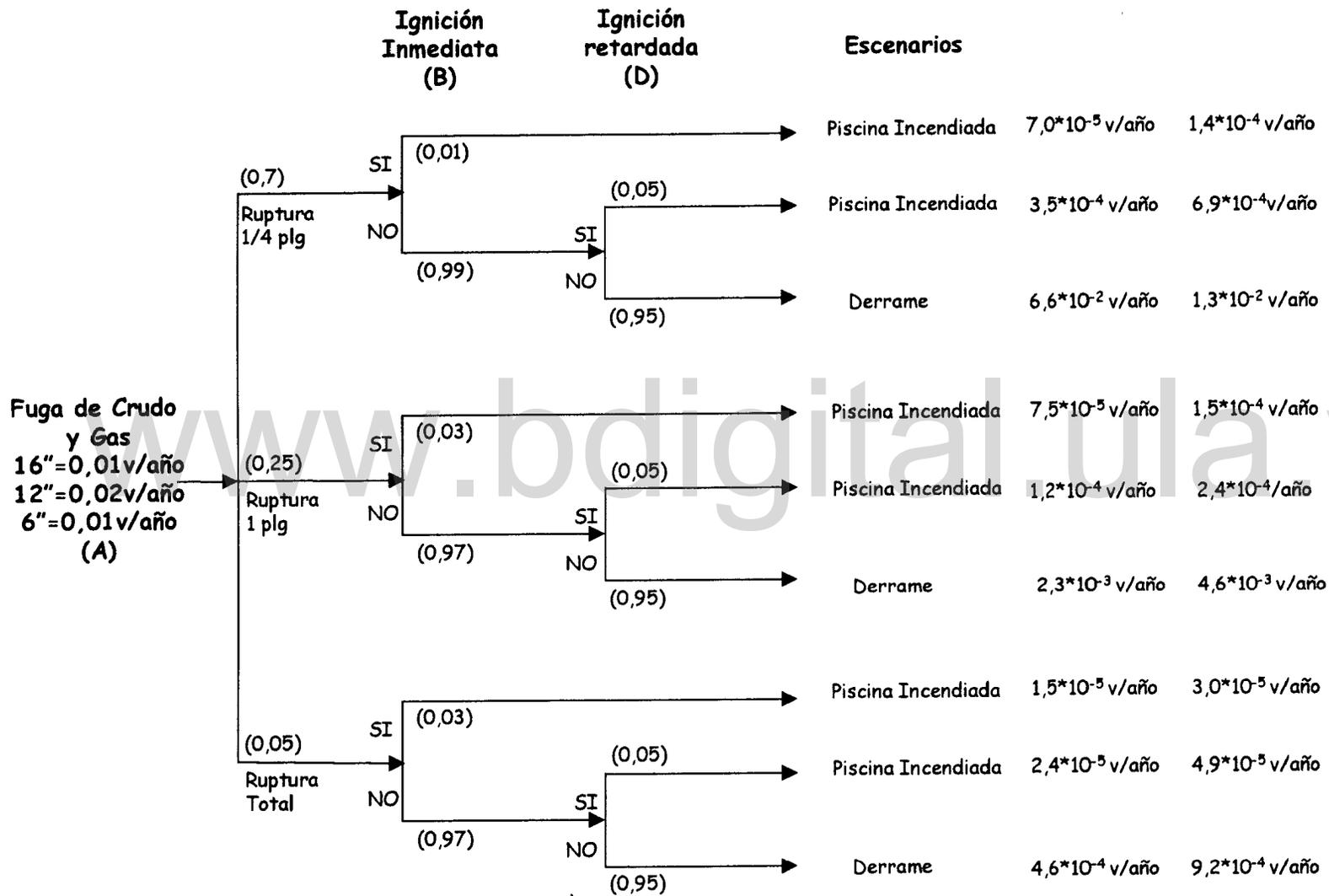
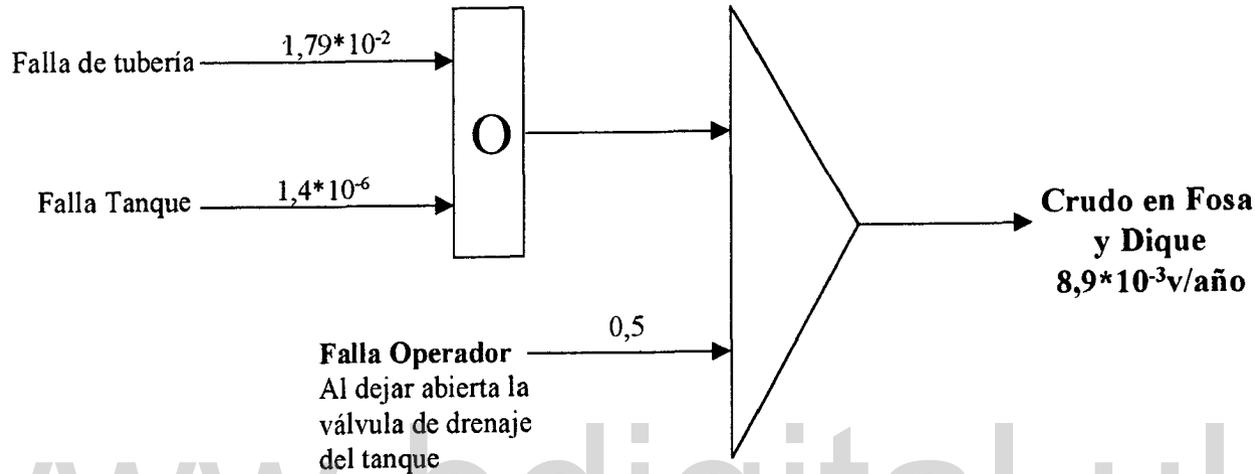


Figura A.22 Árbol de Eventos de las Bombas Reciprocantes de Crudo



www.pdigital.ula.ve

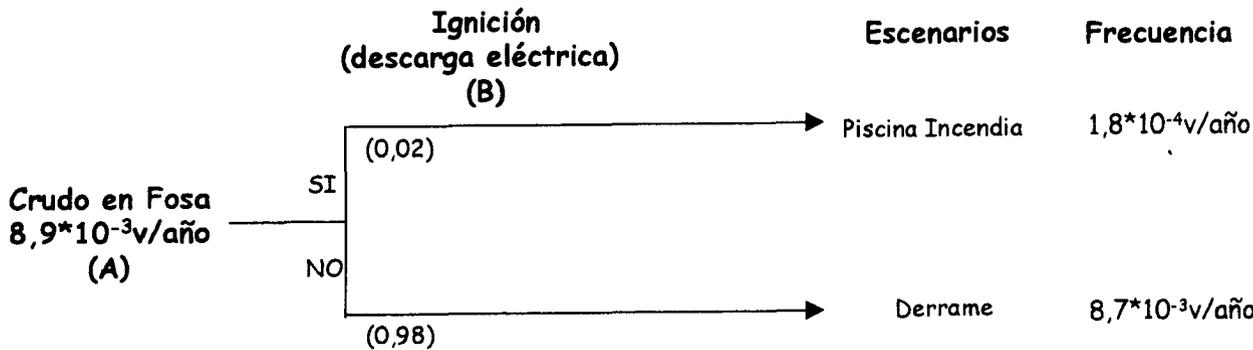


Figura A.23 Árbol de Fallas y Eventos de la Fosa

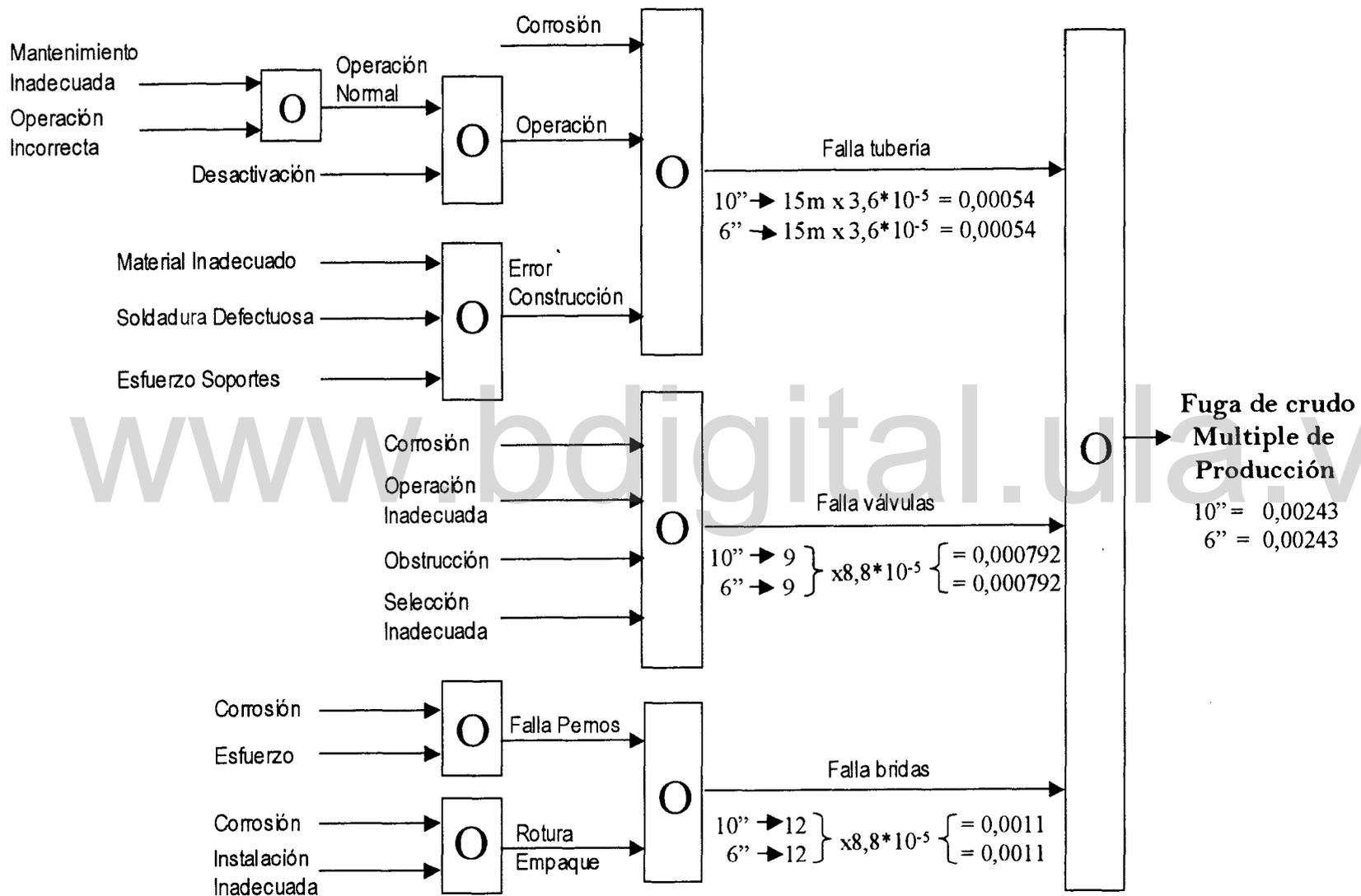


Figura A.2 Árbol de Falla del Múltiple de Producción

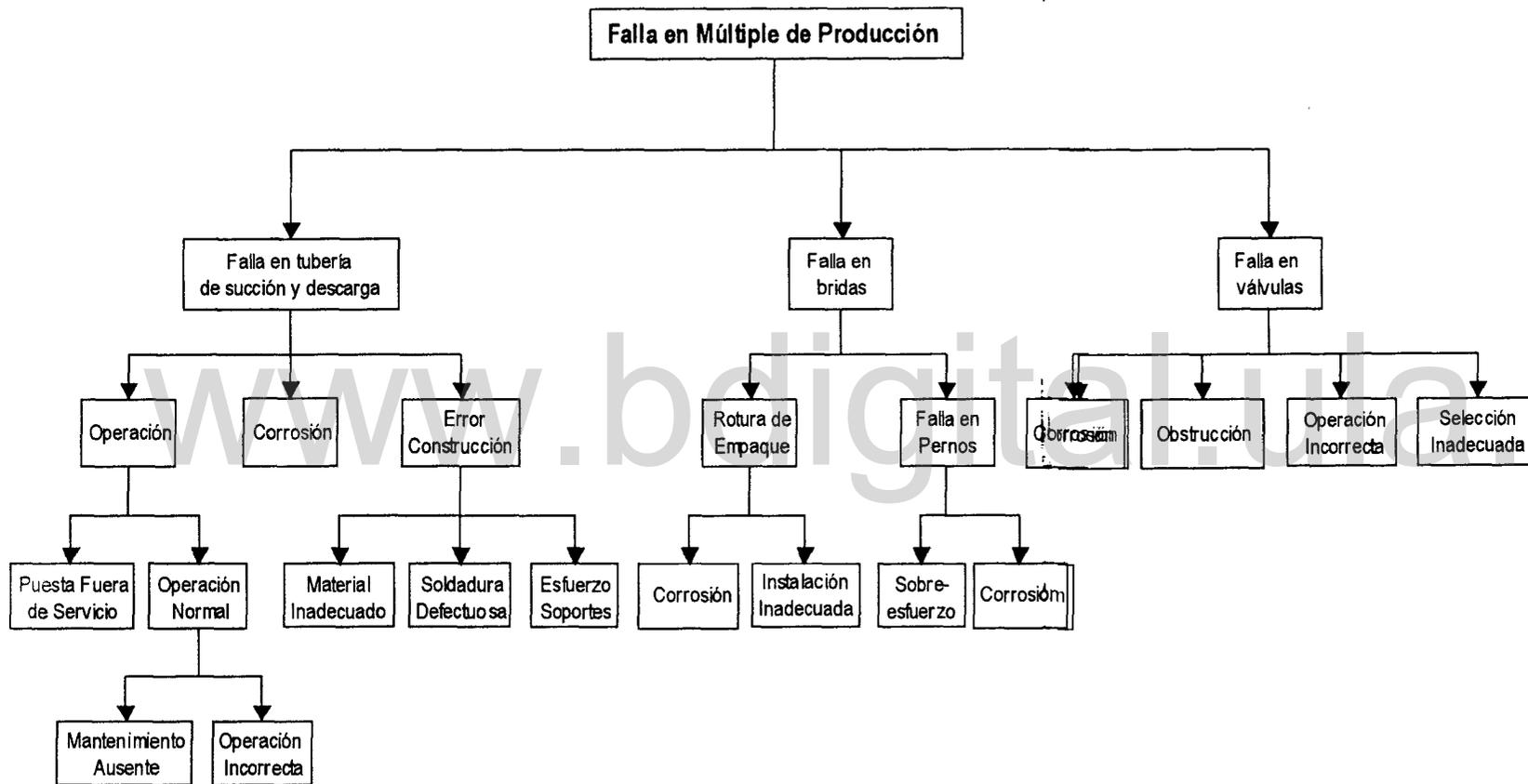


Figura A.1 Árbol de Demanda del Múltiple de Producción

www.bdigital.ula.ve

ANEXO B

*CRITERIOS PARA LA ESTIMACIÓN
DE CONSECUENCIAS*

Tabla B.1 Análisis Composicional del Fluido del Yacimiento BHS02

Schlumberger	PDVSA PETRÓLEO Y GAS, S.A.		Página 3/35			
	MOTATAN / MOT-60 / MISOA		2000PVT078			
Análisis Composicional del fluido de Yacimiento BHS02 a partir del flash hasta condiciones atmosféricas						
Composición						
Componente	Líquido de flash % molar	Gas de flash % molar	Fluido de yacimiento % molar			
N ₂	0.00	0.42	0.13			
CO ₂	0.04	3.64	1.14			
H ₂ S	0.00	0.00	0.00			
CH ₄	0.43	57.87	17.88			
C ₂ H ₆	0.31	13.01	4.17			
C ₃ H ₈	0.68	9.73	3.43			
i-C ₄ H ₁₀	0.39	2.48	1.03			
n-C ₄ H ₁₀	1.27	5.07	2.43			
i-C ₅ H ₁₂	1.40	2.24	1.66			
n-C ₅ H ₁₂	1.87	2.15	1.95			
pseudo C ₆ H ₁₄	4.92	1.99	4.03			
pseudo C ₇ H ₁₆	8.45	1.07	6.21			
pseudo C ₈ H ₁₈	10.88	0.30	7.66			
pseudo C ₉ H ₂₀	9.86	0.02	6.87			
pseudo C ₁₀ H ₂₂	9.15	0.00	6.37			
pseudo C ₁₁ H ₂₄	6.16	0.00	4.29			
pseudo C ₁₂ H ₂₆	4.32	0.00	3.01			
pseudo C ₁₃ H ₂₈	3.63	0.00	2.53			
pseudo C ₁₄ H ₃₀	2.89	0.00	2.01			
pseudo C ₁₅ H ₃₂	2.65	0.00	1.85			
pseudo C ₁₆ H ₃₄	2.12	0.00	1.48			
pseudo C ₁₇ H ₃₆	1.33	0.00	0.93			
pseudo C ₁₈ H ₃₈	0.76	0.00	0.53			
pseudo C ₁₉ H ₄₀	0.68	0.00	0.47			
C ₂₀₊	25.79	0.00	17.95			
Total	100.00	100.00	100.00			
Radio molar	0.6962	0.3038	1.0000			
Propiedades de fase						
	Líquido de flash		Gas de flash		Fluido de yacimiento	
	lbm/mol	g/mol	lbm/mol	g/mol	lbm/mol	g/mol
C ₇₊	0.6194	280.95	0.2179	98.83	0.6166	279.70
C ₂₀₊	1.3705	621.63			1.3705	621.63
Fluido	0.5668	257.10	0.0657	29.82	0.4145	188.04
Densidad	g/cm ³	kg/m ³	g/cm ³	kg/m ³	g/cm ³	kg/m ³
C ₇₊	0.941	942			0.940	940
C ₂₀₊	1.005	1006			1.005	1006
Fluido	0.927	928	0.001259	1.245		
Densidad relativa			1.030	1.050		

Tabla B.2 Lista de Materiales Modelados en RBI Documento Base de Investigación [8]

MATERIAL REPRESENTATIVO	MATERIALES APLICABLES
C1- C2	Metano, etano, etileno, LNG
C3- C4	Propano, butano, isobutano, LPG
C5	Pentano
C6- C8	Gasolina, nafta, heptano, corte liviano
C9- C12	Diesel, kerosen
C13- C16	Jet fuel, kerosen, gas oil atmosférico
C17-C25	Gas oil, crudo típico
C25+	Residuo, crudo pesado
H ₂	Hidrogeno
H ₂ S	Sulfuro de hidrógeno
HF	Fluoruro de hidrógeno
Agua	Agua
Vapor	Vapor
Ácido (bajo)	Ácido a baja presión con soda cáustica
Ácido (medio)	Ácido a baja presión con soda cáustica
Ácido (alto)	Ácido a alta presión con soda cáustica

Tabla B.3 Efectos debido a Radiación Térmica [6]

INTENSIDAD DE RADIACIÓN (Kw/M ²)	EFECTO OBSERVADO
1,6	Tolerable para largo tiempo de exposición
4	Energía suficiente para causar dolor a personal que no puede protegerse en 20 seg; ampollas en la piel (quemaduras de segundo grado) son posibles; 0% letalidad
9,5	Umbral de dolor alcanzable en 6 seg; quemaduras de segundo grado después de 20 seg.
12,5	Energía mínima para encender madera expuesta a una radiación dirigida. Fusión de tubos de plástico.
13,5	Energía mínima requerida para dañar materiales de bajo punto de fusión (aluminio, soldaduras, etc). Este valor es el criterio usado para separar tanques de techo cónico.
25	Energía mínima requerida para encender madera expuesta indefinidamente a una radiación no dirigida.
31,5	Suficiente para causar daños a equipos de proceso.

Tabla B.4 Transformación de Probits a porcentajes [6]

%	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	3,92	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	5,01	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 B.5 Guía para la clasificación de los Sistemas de Detección y de Aislamiento de un equipo [8]

TIPO DE SISTEMA DE DETECCIÓN	CLASIFICACIÓN DE LA DETECCIÓN
Instrumentación designada específicamente para detectar pérdidas de material a través de cambios en las condiciones de operación del sistema (e.j. pérdida de presión o de flujo)	A
Detectores estratégicamente localizados para determinar cuando un material se encuentra presente fuera del recipiente de presión.	B
Detectores visuales, cámaras o detectores con cobertura marginal.	C
TIPO DE SISTEMA DE DETECCIÓN	CLASIFICACIÓN DEL AISLAMIENTO
Aislamiento o sistemas de parada de emergencia activadas directamente por detectores o instrumentación del proceso, sin intervención del operador.	A
Aislamiento o sistemas de parada de emergencia activadas por operadores en la sala de control o en otras localidades remotas a la fuga.	B
Aislamiento que depende de válvulas operadas manualmente.	C

La información presentada en esta tabla es utilizada solamente cuando se evalúan consecuencias ocasionadas por fugas continuas.

Tabla B.6 Guía para la clasificación de los Sistemas de Detección y de Aislamiento de un equipo [8]

CLASIFICACIÓN DE LA DETECCIÓN	CLASIFICACIÓN DEL AISLAMIENTO	TIEMPO DE DURACIÓN DE FUGA
A	A	20 minutos para fugas de ¼ plg 10 minutos para fugas de 1 plg 5 minutos para fugas de 4 plg
A	B	30 minutos para fugas de ¼ plg 20 minutos para fugas de 1 plg 10 minutos para fugas de 4 plg
A	C	40 minutos para fugas de ¼ plg 30 minutos para fugas de 1 plg 20 minutos para fugas de 4 plg
B	A ó B	40 minutos para fugas de ¼ plg 30 minutos para fugas de 1 plg 20 minutos para fugas de 4 plg
B	C	1 hora para fugas de ¼ plg 30 minutos para fugas de 1 plg 20 minutos para fugas de 4 plg
C	A, B ó C	1 hora para fugas de ¼ plg 40 minutos para fugas de 1 plg 20 minutos para fugas de 4 plg

El tiempo de duración de fuga presentado en esta tabla, es la suma de los siguientes tiempos:

- ✓ Tiempo de detección de la fuga
- ✓ Tiempo para analizar el incidente y decidir la acción correctiva a tomar
- ✓ Tiempo apropiado para completar las acciones correctivas.

ANEXO C
www.bdigital.ula.ve
Datos Meteorológicos

Tabla C.1 Estabilidades de Pasquill [6]

ESTABILIDAD PASQUILL	DESCRIPCIÓN TÍPICA
A	Clima muy soleado
B	Soleado y caluroso
C	Parcialmente nublado en el día
D	Nublado día y noche
E	Parcialmente nublado en la noche
F	Noche clara

Categorías A, B y C condiciones de clima inestable

Categoría D condiciones de clima neutral

Categorías E y F condiciones estables

**Tabla C.2 Reporte del Servicio Meteorológico con Resumen
Climatológico de Mene Grande Año 1.999**

SERVICIO DE METEOROLOGIA FAV

SISTEMA CLICOM

RESUMEN CLIMATOLOGICO AÑO 1999

Estación: MENE GRANDE Indicativo Int. 80425 Serial Nar. 2117

Coord: 09°49' N Longitud: 70°56' W Elevación 27 msNM

Hp=27.0 msNM ht=1.65 m h pluv=1.4 m. h Anemómetro=12 m

ELEMENTO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
TEMP media °C	26,9	26,4	27,8	27,7	28,4	28,2	27,7	27,7	28,8	27,0	27,1	28,0	27,3
max media	33,3	32,0	34,1	33,5	34,1	35,8	33,6	33,9	32,7	32,4	31,8	31,5	33,2
min media	23,2	23,1	24,1	24,4	24,6	24,5	23,5	23,6	23,4	23,5	23,6	22,8	23,7
max absol	35,4	34,5	35,8	35,4	38,0	35,5	35,2	35,8	34,8	34,0	35,1	33,0	38,0
min absol	21,2	21,5	21,9	22,0	22,0	21,9	21,6	21,6	22,0	21,0	21,9	20,6	20,6
HUMED media %	74	80	78	81	78	80	80	81	85	85	84	87	81
max media	96	96	96	97	98	98	99	100	100	97	99	100	98
min media	50	56	51	57	57	55	55	54	58	61	58	60	56
max absol	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
min absol	43	44	42	47	49	46	45	47	44	50	47	48	42
PRES media hPa *	10,8	11,1	9,8	10,0	10,2	10,1	11,0	10,4	9,8	10,3	9,5	11,0	10,3
max media	13,1	13,6	12,2	12,3	12,3	12,2	13,1	12,5	12,5	12,7	11,8	13,2	12,6
min media	8,5	9,1	7,4	7,8	7,6	7,8	8,7	8,1	7,4	7,7	7,0	8,8	8,0
max absol	15,9	15,2	13,3	14,5	15,3	14,2	15,0	15,0	14,4	15,9	13,7	18,0	18,0
min absol	6,5	6,5	5,8	6,0	5,6	5,4	7,0	5,5	5,6	6,0	4,1	6,4	4,1
VIEN vel med Km/h	5,9	5,4	5,8	5,3	5,3	5,4	5,8	5,8	5,3	5,1	5,2	5,0	5,4
dir preval	NE												
vel max	19,8	24,1	35,6	38,5	35,3	29,9	46,1	48,7	40,0	34,9	36,7	31,0	48,7
dir vel max	NE	WNW	NE	E	NE	NW	ESE	ENE	NE	E	SSE	ENE	SSE
NUB med Octavas	4,3	5,9	4,7	5,1	4,8	5,6	5,4	5,8	6,2	6,0	5,2	5,3	5,4
Dias c/nub < 1/8	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
c/nub 1-4/8	18	4	12	11	18	8	10	8	2	4	5	10	108
c/nub 5-7/8	15	20	18	16	11	17	20	18	25	21	24	18	223
c/nub > 7/8	0	4	0	3	2	5	1	5	3	6	1	3	33
INSOL med Horas	6,9	4,8	6,3	5,3	5,7	6,4	7,4	7,1	5,5	5,5	5,8	4,8	6,0
max absol	9,6	9,6	9,9	10,2	10,1	10,2	10,7	11,0	9,5	8,9	8,7	8,7	11,0
min absol	0,2	0,1	2,4	0,0	0,0	0,8	1,0	0,9	0,0	0,7	0,4	0,0	0,0
RAD med MJm ²	15,28	14,45	17,60	16,77	17,72	17,51	18,45	18,35	16,62	15,37	14,08	12,08	16,19
max absol	19,08	20,25	21,30	22,13	21,98	25,78	21,83	23,35	22,70	18,18	17,09	19,52	25,78
min absol	7,55	8,29	12,35	4,15	11,05	9,28	11,17	13,01	5,50	10,59	10,14	7,13	4,15
EVAP Total mm	51	35	54	48	66	58	64	61	55	55	65	39	652
max dia	2,2	2,0	2,8	2,7	3,7	3,0	3,2	2,9	2,8	2,5	3,7	2,4	3,7
Dias c/TORRENTEA	0	6	6	12	8	10	18	16	19	21	13	8	137
Dias c/NIEBLA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

* PRESION AL NIVEL MEDIO DEL MAR, SUMAR 1.000 hPa.

**Tabla C.3 Reporte del Servicio Meteorológico con Resumen
Climatológico de Mene Grande Año 2.000**

SERVICIO DE METEOROLOGIA FAV

SISTEMA CLICOM

RESUMEN CLIMATOLOGICO AÑO 2000

Estación: MENE GRANDE Indicativo Int. 80425 Serial Nac. 2117

Latitud: 09°49' N Longitud: 70°56' W Elevación 27 msNM.

Hp=27.0 msNM ht=1.65 m h pluv.=1.4 m h Anemómetro=12 m.

ELEMENTO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
TEMP media °C	25,7	28,5	27,0	28,0	28,1	28,5	28,1	23,8	27,4	27,9	27,1	27,4	27,1
max media	31,8	32,2	32,8	33,4	33,6	34,4	34,4	34,9	33,3	33,5	32,8	33,4	33,3
min media	22,4	23,2	23,4	24,8	24,9	24,6	24,3	24,6	23,7	24,3	24,0	24,3	24,0
max absol	33,5	34,8	34,8	35,7	35,4	38,2	38,4	38,4	33,8	35,1	35,4	35,4	36,4
min absol	19,5	21,2	21,0	21,7	22,5	22,2	22,2	22,4	21,0	21,8	22,8	22,0	19,5
HUMED media %	81	76	74	80	83	75	75	76	81	81	82	78	79
max media	99	97	98	98	99	98	97	97	99	99	99	99	98
min media	53	50	49	58	58	52	50	51	54	54	55	54	53
max absol	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
min absol	40	41	49	47	49	42	40	38	42	48	43	40	38
PRES media hPa *	11,8	12,6	10,9	10,6	10,4	11,1	10,7	10,5	10,0	9,9	9,7	10,6	10,7
max media	14,1	15,1	13,0	12,8	12,5	13,0	12,5	12,3	12,0	12,0	11,7	13,0	12,8
min media	10,0	10,8	8,8	8,5	8,4	9,0	8,6	8,3	7,8	7,8	7,7	8,8	8,7
max absol	18,7	18,5	18,4	15,5	14,0	15,2	14,4	15,8	14,3	14,3	14,0	18,8	18,8
min absol	9,0	9,3	6,4	6,4	8,8	7,5	7,4	5,8	5,8	5,3	5,4	8,0	5,3
VIEN vel me Km/h	5,8	6,7	6,2	5,9	5,4	6,1	6,3	5,9	5,6	5,1	5,1	6,1	5,8
dir preval	NE	NE	NE	NE	NE	NE	ENE	NE	ENE	ENE	NE	NE	NE
vel max	35,8	36,7	50,4	38,4	32,8	41,4	43,9	38,0	68,4	47,9	27,4	28,8	68,4
dir vel max	NNE	ESE	S	E	NE	E	NNE	S	ENE	ESE	E	NNE	ENE
NUB med Octavos	4,1	4,4	4,8	4,5	5,4	5,2	4,6	4,4	5,8	5,0	4,3	4,0	4,7
Dias c'nub < 1/8	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2
c'nub 1-4/8	21	15	15	15	9	8	17	15	8	10	14	19	166
c'nub 5-7/8	8	10	12	12	17	19	10	16	12	19	14	10	159
c'nub > 7/8	2	3	4	3	5	3	4	0	10	2	1	2	39
INSOL med Horas	8,5	8,3	8,4	8,0	4,9	5,8	7,1	7,3	5,7	5,4	5,7	5,5	8,1
max absol	9,7	10,3	9,9	10,3	10,1	11,4	11,6	11,3	9,7	8,8	9,3	8,3	11,8
min absol	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	0,0	2,2	0,0	0,1	1,2	1,1	0,0
RAD med MJm ⁻²	12,47	13,29	15,85	16,07	14,27	15,34	15,55	15,55	15,01	13,48	11,84	11,40	14,18
max absol	15,88	18,43	18,31	20,79	18,85	18,10	19,32	19,71	18,82	17,84	15,03	13,93	20,78
min absol	7,31	7,18	2,23	5,86	8,00	10,71	6,48	8,83	8,06	7,10	6,41	7,18	2,23
Dias c/TORRENTA	2	2	2	12	18	9	12	12	19	15	9	3	115
Dias c/NIEBLA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

* PRESION AL NIVEL MEDIO DEL MAR, SUMAR 1.000 hPa.

**Tabla C.4 Reporte del Servicio Metereológico con Resumen
Climatológico de Mene Grande Año 2.001**

SERVICIO DE METEOROLOGIA FAV

SISTEMA CLICOM

RESUMEN CLIMATOLOGICO AÑO 2001

Estación: MENE GRANDE Indicativo Int. 80425 Serial Nac. 2117

Latitud: 09°49' N Longitud: 70°56' W Elevación 27 msNM.

Hp=27.0 msNM ht=1.65 m h pluv.=1.4 m h Anemómetro=12 m.

ELEMENTO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
TEMP media °C	27,8	28,2	28,8	29,1	28,9	28,9	28,5						28,6
max media	34,3	34,6	34,3	35,2	34,5	39,5	34,6						35,3
min media	24,5	24,9	25,1	25,6	25,3	25,2	24,6						25,0
max absol	35,3	36,7	36,5	37,2	37,3	36,7	37,0						37,3
min absol	23,6	24,0	23,3	23,7	22,6	21,6	21,8						21,6
HUMED. media %	70	65	72	74	82	78	77						74
max media	96	89	93	94	98	97	97						95
min media	50	45	53	54	58	55	54						53
max absol	100	98	100	100	100	100	100						100
min absol	40	39	44	39	42	45	46						39
PRES media hPa *	11,6	10,7	10,3	11,0	10,8	10,9	11,9						11,0
max media	14,3	13,0	12,9	13,3	13,0	12,9	14,2						13,4
min media	9,8	10,0	8,3	9,1	8,7	9,0	9,8						9,2
max absol	16,3	14,5	15,6	15,8	15,3	15,4	17,3						17,3
min absol	8,4	7,1	6,0	7,2	6,0	6,2	8,2						6,0
VIEN vel med Km/h	7,2	8,6	6,5	6,5	2,5	6,1	6,2						6,2
dir preval	NE												
vel max	32,8	36,0	32,4	35,3	54,0	47,5	64,8						64,8
dir vel max	NE	NE	NE	S	S	SSW	NNE						
NUB med Octavos	3,0	2,7	3,2	4,8	5,5	4,5	3,9						3,9
Dias c'nub < 1/8	0	0	6	0	0	0	0						6
c'nub 1-4/8	25	26	17	12	8	13	21						122
c'nub 5-7/8	6	1	8	15	18	16	10						74
c'nub > 7/8	0	1	0	3	5	1	0						10
INSOL med Horas	6,3	6,9	5,9	5,0	5,0	6,2	8,0						6,2
max absol	9,6	9,7	8,9	10,1	11,3	11,0	10,8						11,3
min absol	1,1	0,8	0,0	0,5	0,0	0,0	0,1						0,0
RAD med MJm ⁻²	12,34	14,22	13,88	13,88	13,57	16,62	17,00						14,50
max absol	14,33	16,52	16,15	18,12	19,72	27,08	20,19						27,08
min absol	10,14	10,04	6,43	5,89	7,03	4,88	8,26						4,88
EVAP Total mm	123	139	118	107	66	76	79						708
max dia	5,3	6,0	5,9	5,1	3,9	3,6	4,5						6,0
Dias c/TORMENTA	0	0	0	7	15	6	10						38
Dias c/NIEBLA	0	0	0	0	0	0	0						0

* PRESION AL NIVEL MEDIO DEL MAR, SUMAR 1.000 hPa.

www.bdigitalula.ve

ANEXO D
RESUMEN DE LAS
SIMULACIONES

Tabla D.1 Simulaciones de los Eventos en la línea de gas superior del Depurador de Gas Combustible

Filename	Consideraciones para las simulaciones			Dispersión			Distancia de Afectación (m) Torch Fire y Pool Fire		
	Condiciones Ambientales	Estabilidad	Tamaño de Rotura	Flowrate inmed. (kg/s)	Flowrate retard. (kg/s)	Radio de Piscina (m)	13.5 (Kw/m ²)	8 (Kw/m ²)	5 (Kw/m ²)
discomb1	Promedio	F	Total	1,9	1,8	-	-	-	-
torcomb1	Promedio	-	Total	1,9	-	-	17,5	18,8	20,5
torcom11	Promedio	-	Total	-	1,8	-	17,1	18,5	20,2
discomb3	Vel. máx	D	Total	1,9	1,8	-	-	-	-
torcomb2	Vel. máx	-	Total	1,9	-	-	18,4	18,8	20,3
torcom21	Vel. máx	-	Total	-	1,8	-	18	18,4	19,9
discomb5	Promedio	F	1 plg	0,7	0,7	-	-	-	-
torcomb3	Promedio	-	1 plg	0,7	-	-	13,6	13,6	14
discom55	Vel. máx	D	1 plg	0,7	0,7	-	-	-	-
torcomb4	Vel. máx	-	1 plg	0,7	-	-	13,6	13,6	14
discomb6	Promedio	F	1/4 plg	0	0	-	-	-	-
torcdep	Promedio	-	1/4 plg	0	0	No se corrió debido a la falta de flujo			
discom66	Vel. máx	D	1/4 plg	0	0	-	-	-	-
torcdep	Vel. máx	-	1/4 plg	0	0	No se corrió debido a la falta de flujo			

Tabla D.2 Simulaciones de los Eventos en la línea de entrada al Depurador de Gas Combustible

Filename	Consideraciones para las simulaciones			Dispersión			Distancia de Afectación (m) Torch Fire y Pool Fire		
	Condiciones Ambientales	Estabilidad	Tamaño de Rotura	Flowrate inmed. (kg/s)	Flowrate retard. (kg/s)	Radio de Piscina (m)	13,5 (Kw/m ²)	8 (Kw/m ²)	5 (Kw/m ²)
discomb7	Promedio	F	Total	1,8	1,8	-	-	-	-
torcomb5	Promedio	-	Total	1,8	-	-	17,1	18,5	20,2
discomb8	Promedio	F	1 plg	0,6	0,6	-	-	-	-
torcomb6	Promedio	-	1plg	0,6	-	-	13	13	13,2

**Tabla D.3 Simulaciones de los Eventos en el Tren de Compresión.
Entrada al enfriador de Primera Etapa**

Evento	Consideraciones para las simulaciones			Dispersión			Distancia de Afectación (m) Jet Fire y Pool Fire		
	Condiciones Ambientales	Estabilidad	Tamaño de Rotura	Tasa de Flujo inmed. (kg/s)	Tasa de Flujo retard. (kg/s)	Radio de Piscina (m)	13,5 (Kw/m ²)	8 (Kw/m ²)	5 (Kw/m ²)
disenfr1	Promedio	F	Total	5,5	5,2	-	-	-	-
torcenf1	Promedio	-	Total	5,5	-	-	26,6	30,2	33,8
torcen11	Promedio	-	Total	-	5,2	-	25,8	29,4	33
disenfr2	Vel. máx	D	Total	5,5	5,2	-	-	-	-
torcenf2	Vel. máx	-	Total	5,5	-	-	27,7	30	33,2
torcen21	Vel. máx	-	Total	-	5,2	-	26,9	29,4	32,4
disenfr3	Promedio	F	1 plg	1,3	1,3	-	-	-	-
torcenf3	Promedio	-	1plg	1,3	-	-	15,5	16,5	17,9
disenfr4	Vel. máx	D	1 plg	1,3	1,3	-	-	-	-
torcenf4	Vel. máx	-	1 plg	1,3	-	-	15,5	16,5	17,9
disenfr5	Promedio	F	1/4 plg	0,1	0,1	-	-	-	-
torcenf5	Promedio	-	1/4 plg	0,1	-	-	**	5,9	7,3
disenfr6	Vel. máx	D	1/4 plg	0,1	0,1	-	-	-	-
torcenf6	Vel. máx	-	1/4 plg	0,1	-	-	**	6	7,3

**Tabla D.4 Simulaciones de los Eventos en el Tren de Compresión.
Succión de Segunda Etapa**

Evento	Consideraciones para las simulaciones			Dispersión			Distancia de Afectación (m) Jet Fire y Pool Fire		
	Condiciones Ambientales	Estabilidad	Tamaño de Rotura	Tasa de Flujo inmed. (kg/s)	Tasa de Flujo retard. (kg/s)	Radio de Piscina (m)	13.5 (Kw/m ²)	8 (Kw/m ²)	5 (Kw/m ²)
disenfr7	Promedio	F	Total	5,6	5,2	-	-	-	-
torcenf7	Promedio	-	Total	5,6	-	-	27,4	30,5	33,8
torcen71	Promedio	-	Total	-	5,2	-	26,6	29,6	32,9
disenfr8	Vel. máx	D	Total	5,6	5,2	-	-	-	-
torcenf8	Vel. máx	-	Total	5,6	-	-	28,2	29,8	32,9
torcen81	Vel. máx	-	Total	-	5,2	-	28,1	28,9	31,8
disenfr9	Promedio	F	1 plg	1,5	1,3	-	-	-	-
torcenf9	Promedio	-	1plg	1,5	-	-	17,3	17,4	18,9
torcen91	Promedio	-	1plg	-	1,3	-	16,5	16,6	17,9
disenf10	Vel. máx	D	1 plg	1,5	1,3	-	-	-	-
torenf10	Vel. máx	-	1 plg	1,5	-	-	17,3	17,4	18,9
torenf11	Vel. máx	-	1 plg	-	1,3	-	16,5	16,6	17,9
disenf11	Promedio	F	1/4 plg	0,1	0,1	-	-	-	-
torenf11	Promedio	-	1/4 plg	0,1	-	-	8,2	8,3	8,3
disenf12	Vel. máx	D	1/4 plg	0,1	0,1	-	-	-	-
torenf12	Vel. máx	-	1/4 plg	0,1	-	-	8,2	8,3	8,3

**Tabla D.5 Simulaciones de los Eventos en el Tren de Compresión.
Entrada al Enfriador de Segunda Etapa**

Evento	Consideraciones para las simulaciones			Dispersión			Distancia de Afectación (m) Jet Fire y Pool Fire		
	Condiciones Ambientales	Estabilidad	Tamaño de Rotura	Tasa de Flujo inmed. (kg/s)	Tasa de Flujo retard. (kg/s)	Radio de Piscina (m)	13.5 (Kw/m ²)	8 (Kw/m ²)	5 (Kw/m ²)
disenf13	Promedio	F	Total	6,3	5,2	-	-	-	-
torenf13	Promedio	-	Total	6,3	-	-	28,1	31,7	35,5
torenf19	Promedio	-	Total	-	5,2	-	25,5	29,2	32,8
disenf14	Vel. máx	D	Total	6,3	5,2	-	-	-	-
torenf14	Vel. máx	-	Total	6,3	-	-	29,3	31,8	34,7
torenf20	Vel. máx	-	Total	-	5,2	-	26,3	29,2	32,2
disenf15	Promedio	F	1 plg	4,2	4,2	-	-	-	-
torenf15	Promedio	-	1plg	4,2	-	-	24,6	26,3	28,8
disenf16	Vel. máx	D	1 plg	4,2	4,2	-	-	-	-
torenf16	Vel. máx	-	1 plg	4,2	-	-	24,5	26,3	28,8
disenf17	Promedio	F	1/4 plg	0,3	0,3	-	-	-	-
torenf17	Promedio	-	1/4 plg	0,3	-	-	9	9,8	10,6
disenf18	Vel. máx	D	1/4 plg	0,3	0,3	-	-	-	-
torenf18	Vel. máx	-	1/4 plg	0,3	-	-	9	9,8	10,6

**Tabla D.6 Simulaciones de los Eventos en el Tren de Compresión.
Salida del Enfriador de Tercera Etapa**

Evento	Consideraciones para las simulaciones			Dispersión			Distancia de Afectación (m) Jet Fire y Pool Fire		
	Condiciones Ambientales	Estabilidad	Tamaño de Rotura	Tasa de Flujo inmed. (kg/s)	Tasa de Flujo retard. (kg/s)	Radio de Piscina (m)	13.5 (Kw/m ²)	8 (Kw/m ²)	5 (Kw/m ²)
disdes1	Promedio	F	Total	6.6	5.2	-	-	-	-
torcdes1	Promedio	-	Total	6.6	-	-	28.5	30.5	33.7
torcdes3	Promedio	-	Total	-	5.2	-	25.4	28.1	30.8
disdes2	Vel. máx	D	Total	6.6	5.2	-	-	-	-
torcdes2	Vel. máx	-	Total	6.6	-	-	28.6	30.4	33.6
tordes21	Vel. máx	-	Total	-	5.2	-	25.7	27.7	30.4
disdes3	Promedio	F	1 plg	6.3	5.2	-	-	-	-
torcdes4	Promedio	-	1plg	6.3	-	-	27.6	29.9	33
tordes41	Promedio	-	1plg	-	5.2	-	25.1	27.7	30.5
disdes4	Vel. máx	D	1 plg	6.3	5.2	-	-	-	-
torcdes5	Vel. máx	-	1 plg	6.3	-	-	27.6	29.9	33
tordes51	Vel. máx	-	1 plg	-	5.2	-	25.1	27.7	30.5
disdes5	Promedio	F	1/4 plg	1.1	1.1	-	-	-	-
torcdes6	Promedio	-	1/4 plg	1.1	-	-	15.5	15.6	16.4
disdes6	Vel. máx	D	1/4 plg	1.1	1.1	-	-	-	-
torcdes7	Vel. máx	-	1/4 plg	1.1	-	-	15.5	15.6	16.4

www.bdigital.ula.ve
ANEXO E
PLANO DE
INSTALACIÓN

www.bdigital.ula.ve
ANEXO F
CORRIDAS DEL
CANARY

```

CANARY by Quest - Version 4.0
CANARY Case Input
Case Name - poolfos0
Sun Nov 25 16:29:00 2001
Quest Consultants Inc., Norman, Oklahoma, USA
www.questconsult.com canary@questconsult.com
telephone (405) 329-7475 fax (405) 329-7734

```

TITLE: Pool Fire fosa recolectora de crudo

ype of calculation is fire radiation.

ITILE MENU

```

itle for this run : Pool Fire fosa recolectora de crudo
ser id           : tesis
roject number   : 6
ilename         : poolfos0
ype of units    : Metric units

```

ATERIAL MENU

aterials Released	number	formula	name	fraction
omponent number 1	2	= C2H6	Ethane	0.001481
omponent number 2	5	= C4H10	n-Butane	0.004682
omponent number 3	7	= C5H12	n-Pentane	0.006543
omponent number 4	10	= C8H18	n-Octane	0.048525
omponent number 5	12	= C10H22	n-Decane	0.058626
omponent number 6	33	= C14H30	Tetradecane	0.022591
omponent number 7	36	= C17H36	n-Heptadecane	0.057149
omponent number 8	52	= H2O	Water	0.800403

```

omponent number 9 :
omponent number 10 :
emperature (deg C) : 27
ressure (kPa) : 101.325
he material is LIQUID

```

NVIRONMENT MENU

```

ind speed (m/s ) 1.61111
ercent relative humidity 78
ir temperature (deg C) 27.7

```

IRE TYPE MENU

```

ire radiation division: Rectangular pool fires
pill surface: land
eight of flame base (from grade) (meters) 0
eight of target (from grade) (meters) 1.5
rosswind width of pool (meters) 20
ownwind length of pool (meters) 20

```

ire radiation flux values

```

adiation (kilowatts/sq. meter) 13.56
adiation (kilowatts/sq. meter) 8
adiation (kilowatts/sq. meter) 5

```

```

|          CANARY by Quest - Version 4.0          |
|          Pool Fire Radiation Model             |
|          Case Name - poolfos0                 |
|          Sun Nov 25 16:29:00 2001             |
|          Quest Consultants Inc., Norman, Oklahoma, USA |
|          www.questconsult.com   canary@questconsult.com |
|          telephone (405) 329-7475   fax (405) 329-7734 |
+-----+

```

TITLE: Pool Fire fosa recolectora de crudo

```

Length of Flame      : 20.6 meters
Flame Tilt from Vertical : 16.9 degrees
Target Elevation     : 1.5 meters
Pool Elevation       : 0.0 meters
Wind Speed           : 1.6 meters/second
Substrate            : Land

```

Downwind (meters)	Crosswind (meters)	Line of Sight (meters)	Vertical Flux (kW/sq.m)	Horizontal Flux (kW/sq.m)	Maximum Flux (kW/sq.m)
17.1	0.0	17.1	8.3	5.6	10.0
18.1	0.0	18.1	7.4	4.9	8.9
19.3	0.0	19.3	6.7	4.4	8.0
20.5	0.0	20.5	6.0	3.8	7.1
21.8	0.0	21.8	5.4	3.3	6.4
23.1	0.0	23.1	4.9	2.9	5.7
24.6	0.0	24.6	4.4	2.5	5.1
26.1	0.0	26.1	4.0	2.1	4.5
27.8	0.0	27.8	3.6	1.8	4.0
29.5	0.0	29.5	3.2	1.5	3.5
31.3	0.0	31.3	2.8	1.2	3.1
33.3	0.0	33.3	2.5	1.0	2.7
35.4	0.0	35.4	2.2	0.8	2.3
37.6	0.0	37.6	1.9	0.7	2.0
39.9	0.0	39.9	1.7	0.5	1.8
42.4	0.0	42.4	1.5	0.4	1.5
45.1	0.0	45.1	1.3	0.3	1.3
47.9	0.0	47.9	1.1	0.3	1.1
50.9	0.0	50.9	1.0	0.2	1.0

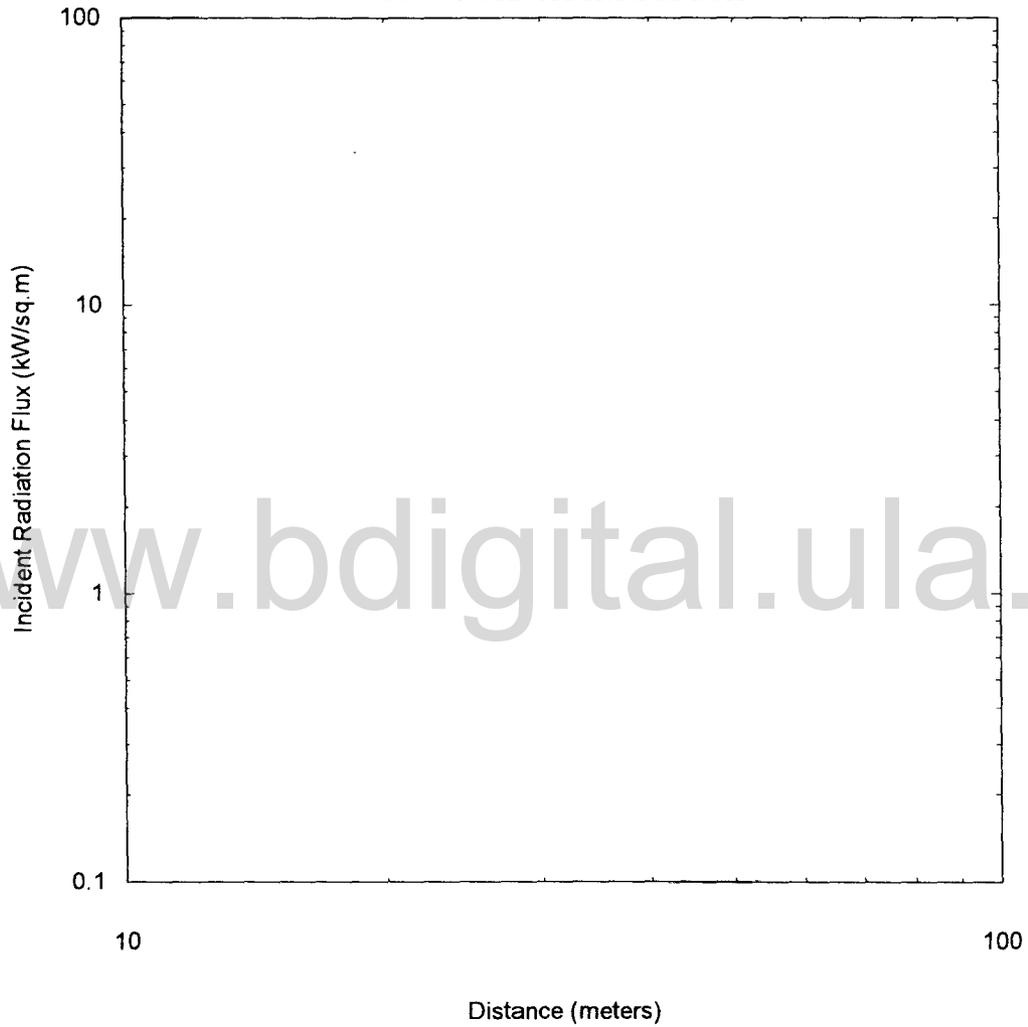
Downwind Distances to Endpoints:

Distance (meters)	Maximum Flux (kW/sq.m)
16.1	13.6
19.2	8.0
24.7	5.0

POOL FIRE RADIATION FLUX vs. DISTANCE

Target is 1.5 meters Above the Flame Base

Pool Fire fosa recolectora de crudo



casename=poolfos0

w.s. = 1.6 m/s

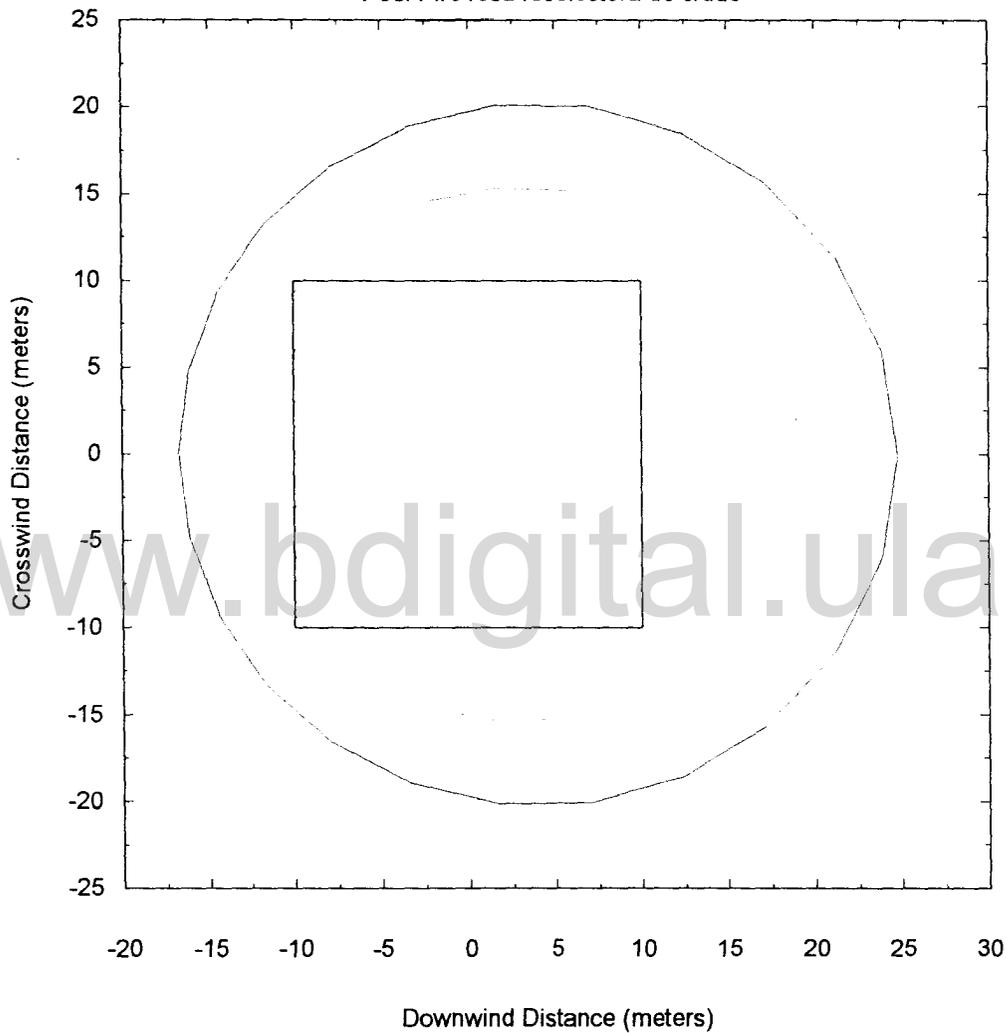
CANARY by Quest

Sun Nov 25 16:29:00 2001

POOL FIRE RADIATION ISOPLETHS

Target is 1.5 meters Above the Flame Base

Pool Fire fosa recolectora de crudo



13.56 kW/sq.m

8.00 kW/sq.m

5.00 kW/sq.m

casename=poolfos0

w.s. = 1.6 m/s

CANARY by Quest

Sun Nov 25 16:29:00 2001

```

CANARY by Quest - Version 4.0
CANARY Case Input
Case Name - dismul21
Mon Dec 10 12:01:03 2001
Quest Consultants Inc., Norman, Oklahoma, USA
www.questconsult.com canary@questconsult.com
telephone (405) 329-7475 fax (405) 329-7734

```

TITLE: dispersion multiple gas lift rotura 1 condiciones normales

ype of calculation is vapor dispersion.

TITLE MENU

```

Title for this run : dispersion multiple gas lift rotura 1 condiciones normales
User id           : tesis
Project number    : 1
Filename         : dismul21
Type of units     : Metric units

```

MATERIAL MENU

```

Materials Released : number formula name fraction
Component number 1 : 1 = CH4 Methane 0.619148
Component number 2 : 2 = C2H6 Ethane 0.143457
Component number 3 : 3 = C3H8 Propane 0.125950
Component number 4 : 5 = C4H10 n-Butane 0.015106
Component number 5 : 4 = C4H10 Isobutane 0.024310
Component number 6 : 7 = C5H12 n-Pentane 0.005902
Component number 7 : 8 = C6H14 n-Hexane 0.005602
Component number 8 : 9 = C7H16 n-Heptane 0.001100
Component number 9 : 18 = H2S Hydrogen Sulfide 0.000600
Component number 10 : 17 = CO2 Carbon Dioxide 0.058824
Temperature (deg C) : 54
Pressure (kPa) : 17236.9
The material is GAS

```

ENVIRONMENT MENU

```

Wind speed (m/s ) 1.61111
Wind speed reference height (meters) 12
Stability class <A-F> D
Percent relative humidity 78
Air temperature (deg C) 27.67
Surface temperature (deg. C) 30
Soil surface Dike material - medium density concrete
Surrounding terrain Cut grass < 15 cm (6 in)

```

RELEASE MENU

```

Type of release: Unregulated, Continuous release
Release duration (minutes) 15
Normal flow rate ( kg / sec.) 0.89067
Duration of normal flow (minutes) 15
Volume of vessel (cu. meters) 0
Pipe diameter (meters) 0.0508
Release area (hole size) (sq. meters) 0.000506707
Pipe length upstream of break (meters) 1
Height of release point (meters) 0.6
Angle of release from horizontal (deg.) 0

```

CANARY by Quest - Version 4.0
 Release Stream Compositions
 Case Name - dismul21
 Mon Dec 10 12:01:03 2001
 Quest Consultants Inc., Norman, Oklahoma, USA
 www.questconsult.com canary@questconsult.com
 telephone (405) 329-7475 fax (405) 329-7734

TITLE: dispersion multiple gas lift rotura 1 condiciones normales

Component Number	Component Name, Formula
1	Methane, CH4
2	Ethane, C2H6
3	Propane, C3H8
5	n-Butane, C4H10
4	Isobutane, C4H10
7	n-Pentane, C5H12
8	n-Hexane, C6H14
9	n-Heptane, C7H16
18	Hydrogen Sulfide, H2S
17	Carbon Dioxide, CO2

Composition (Mole Fraction) of Fluid Streams

Comp. No.	Feed Stream	Momentum Jet Stream			Total Stream	Liquid Pool Stream
		Flashed Vapor	Evaporated Vapor	Aerosol Liquid		
1	0.619148	0.639239	0.000000	0.009334	0.619148	0.000000
2	0.143457	0.146935	0.000000	0.037894	0.143457	0.000000
3	0.125950	0.121797	0.000000	0.252004	0.125950	0.000000
5	0.015106	0.010183	0.000000	0.164546	0.015106	0.000000
4	0.024310	0.019438	0.000000	0.172192	0.024310	0.000000
7	0.005902	0.001238	0.000000	0.147463	0.005902	0.000000
8	0.005602	0.000206	0.000000	0.169380	0.005602	0.000000
9	0.001100	0.000006	0.000000	0.034315	0.001100	0.000000
18	0.000600	0.000609	0.000000	0.000340	0.000600	0.000000
17	0.058824	0.060349	0.000000	0.012532	0.058824	0.000000
	1.000000	1.000000	0.000000	1.000000	1.000000	0.000000

Flammable Limits (Mole %) of Fluid Streams

Limit	Feed Stream	Momentum Jet Stream	Liquid Pool Stream
LFL	3.80	3.80	
UFL	13.66	13.66	

```

CANARY by Quest - Version 4.0
General Release Model 4.0 UPSTREAM
Case Name - dismul21
Mon Dec 10 12:01:03 2001
Quest Consultants Inc., Norman, Oklahoma, USA
www.questconsult.com canary@questconsult.com
telephone (405) 329-7475 fax (405) 329-7734

```

TITLE: dispersion multiple gas lift rotura 1 condiciones normales

Time (sec)	Vapor (kg/sec)	Aerosol Rate (kg/sec)	Liquid Rate (kg/sec)	Total Rate (kg/sec)
.0000000	15.5522	1.27756	.000000	16.8298
.1000000E-01	12.4841	1.02552	.000000	13.5096
.3000000E-01	9.58861	.787667	.000000	10.3763
.5000000E-01	3.73801	.307063	.000000	4.04508
.7000000E-01	1.53993	.126499	.000000	1.66643
.1000000	.837285	.687797E-01	.000000	.906065
.3000000	.823059	.676111E-01	.000000	.890670
.5000000	.823059	.676111E-01	.000000	.890670
.7000000	.823059	.676111E-01	.000000	.890670
1.000000	.823059	.676111E-01	.000000	.890670
3.000000	.823059	.676111E-01	.000000	.890670
5.000000	.823059	.676111E-01	.000000	.890670
7.000000	.823059	.676111E-01	.000000	.890670
10.00000	.823059	.676111E-01	.000000	.890670
30.00000	.823059	.676111E-01	.000000	.890670
50.00000	.823059	.676111E-01	.000000	.890670
70.00000	.823059	.676111E-01	.000000	.890670
100.0000	.823059	.676111E-01	.000000	.890670
300.0000	.823059	.676111E-01	.000000	.890670
500.0000	.823059	.676111E-01	.000000	.890670
700.0000	.823059	.676111E-01	.000000	.890670
900.0000	.823059	.676111E-01	.000000	.890670

Flowrate for Torch Fire [immediate ignition] = .9 kg/sec.
Torch Fire [delayed ignition] = .9 kg/sec.

Reason for Ending: Reached Stop Time

```
          CANARY Case Input
          Case Name - dismul21
          Mon Dec 10 12:01:03 2001
          Quest Consultants Inc., Norman, Oklahoma, USA
          www.questconsult.com    canary@questconsult.com
          telephone (405) 329-7475    fax (405) 329-7734
+-----+
```

TITLE: dispersion multiple gas lift rotura 1 condiciones normales

MPOUNDMENT MENU
nconfined

DVE MENU
apor generation and dispersion - Flammable calculation
racking the mixture
oncentration limit (mole %) UFL
oncentration limit (mole %) LFL
oncentration limit (mole %) LFL
ispersion coefficient averaging time (min) 1

www.bdigital.ula.ve

CANARY by Quest - Version 4.0
 Momentum Jet Vapor Dispersion Model
 Case Name - dismul21
 Mon Dec 10 12:01:03 2001
 Quest Consultants Inc., Norman, Oklahoma, USA
 www.questconsult.com canary@questconsult.com
 telephone (405) 329-7475 fax (405) 329-7734

TITLE: dispersion multiple gas lift rotura 1 condiciones normales

concentration limits

concentration 3 (highest) = 0.136580 mole fraction
 concentration 2 (middle) = 0.037979 mole fraction
 concentration 1 (lowest) = 0.037979 mole fraction

downwind distance	centerline conc.	ground conc.	y(c1) 1/2 width (m)	y(c2) 1/2 width (m)	y(c3) 1/2 width (m)	centerline height (m)
0	1.000000	0.000000	0.1	0.1	0.0	0.6
0.2	0.753190	0.000000	0.1	0.1	0.1	0.6
0.4	0.600972	0.000000	0.1	0.1	0.1	0.6
0.6	0.495306	0.000000	0.1	0.1	0.1	0.6
0.8	0.418331	0.000000	0.1	0.1	0.1	0.6
1.0	0.358746	0.000000	0.2	0.2	0.1	0.7
1.2	0.314077	0.000000	0.2	0.2	0.1	0.7
1.4	0.278751	0.000000	0.2	0.2	0.1	0.7
1.6	0.251248	0.000000	0.2	0.2	0.1	0.7
1.8	0.229546	0.000000	0.2	0.2	0.1	0.7
2.0	0.210016	0.000000	0.2	0.2	0.1	0.7
2.2	0.192731	0.000001	0.3	0.3	0.1	0.7
2.4	0.177590	0.000003	0.3	0.3	0.1	0.7
2.6	0.164146	0.000009	0.3	0.3	0.1	0.7
2.8	0.152628	0.000026	0.3	0.3	0.1	0.7
3.0	0.142426	0.000059	0.3	0.3	0.1	0.8
3.2	0.133398	0.000118	0.3	0.3	0.0	0.8
3.4	0.125329	0.000211	0.3	0.3	0.0	0.8
3.6	0.118075	0.000348	0.3	0.3	0.0	0.8
3.8	0.111592	0.000530	0.4	0.4	0.0	0.8
4.0	0.105698	0.000764	0.4	0.4	0.0	0.8
4.2	0.100342	0.001047	0.4	0.4	0.0	0.8
4.4	0.095399	0.001376	0.4	0.4	0.0	0.8
4.6	0.090870	0.001748	0.4	0.4	0.0	0.8
4.8	0.086724	0.002158	0.4	0.4	0.0	0.8
5.0	0.082863	0.002596	0.4	0.4	0.0	0.9
5.2	0.079318	0.003059	0.4	0.4	0.0	0.9
5.4	0.075994	0.003534	0.4	0.4	0.0	0.9
5.6	0.072914	0.004024	0.4	0.4	0.0	0.9
5.8	0.070046	0.004518	0.4	0.4	0.0	0.9
6.0	0.067337	0.005003	0.4	0.4	0.0	0.9
6.2	0.064822	0.005489	0.4	0.4	0.0	0.9
6.4	0.062444	0.005957	0.4	0.4	0.0	0.9
6.6	0.060217	0.006418	0.4	0.4	0.0	0.9
6.8	0.058118	0.006858	0.4	0.4	0.0	0.9

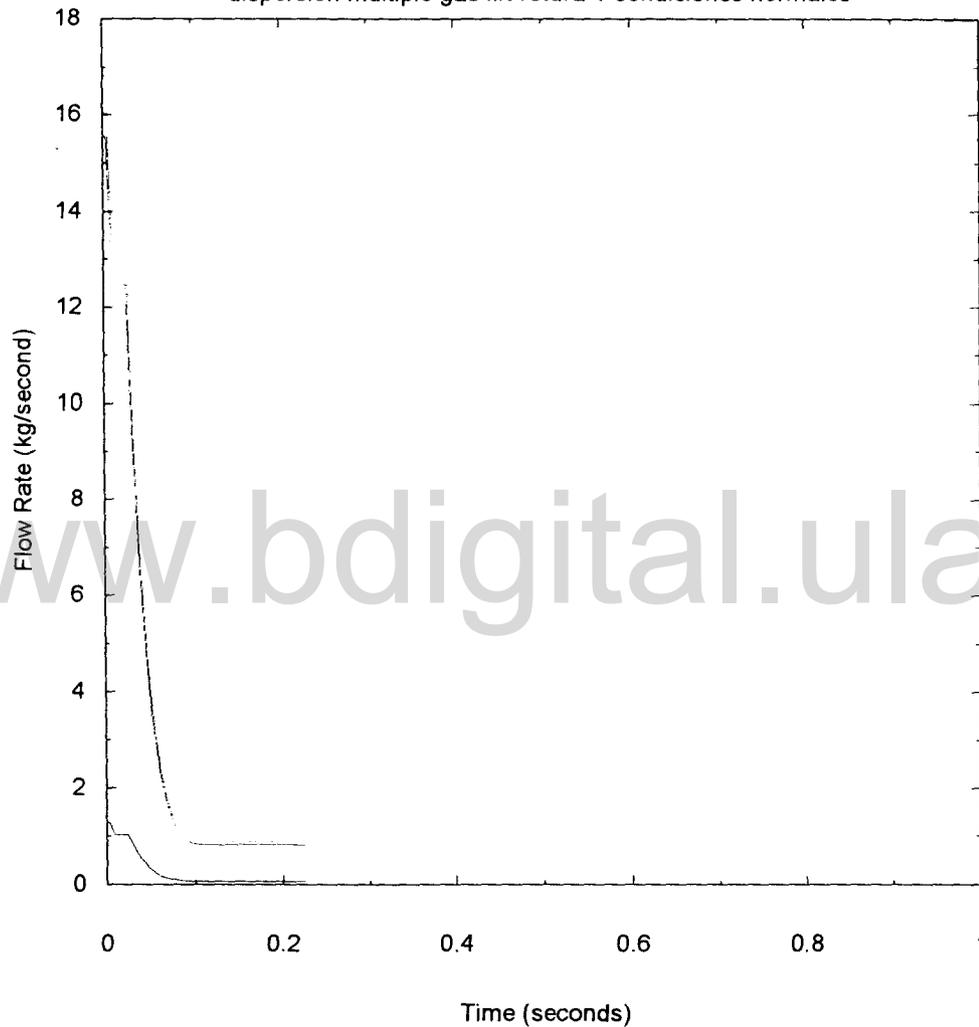
x(m)	c(mole frac.)	c(mole frac.)	(m)	(m)	(m)	height (m)
7.0	0.056132	0.007281	0.4	0.4	0.0	0.9
7.2	0.054268	0.007685	0.4	0.4	0.0	1.0
7.4	0.052494	0.008069	0.4	0.4	0.0	1.0
7.6	0.050805	0.008430	0.4	0.4	0.0	1.0
7.8	0.049220	0.008767	0.4	0.4	0.0	1.0
8.0	0.047706	0.009086	0.4	0.4	0.0	1.0
8.2	0.046264	0.009381	0.4	0.4	0.0	1.0
8.4	0.044897	0.009640	0.3	0.3	0.0	1.0
8.6	0.043596	0.009915	0.3	0.3	0.0	1.0
8.8	0.042335	0.010141	0.3	0.3	0.0	1.0
9.0	0.041140	0.010352	0.2	0.2	0.0	1.0
9.2	0.039999	0.010549	0.2	0.2	0.0	1.0
9.4	0.038909	0.010711	0.1	0.1	0.0	1.1
9.6	0.037856	0.010873	0.0	0.0	0.0	1.1

the downwind distance to c3 is 3.13 m after about 0 seconds
 the downwind distance to c2 is 9.58 m after about 1 seconds
 the downwind distance to c1 is 9.58 m after about 1 seconds

www.bdigital.ula.ve

MASS RELEASE RATE

dispersion multiple gas lift rotura 1 condiciones normales



----- Total
----- Vapor
----- Aerosol Liquid

casename=dismul21

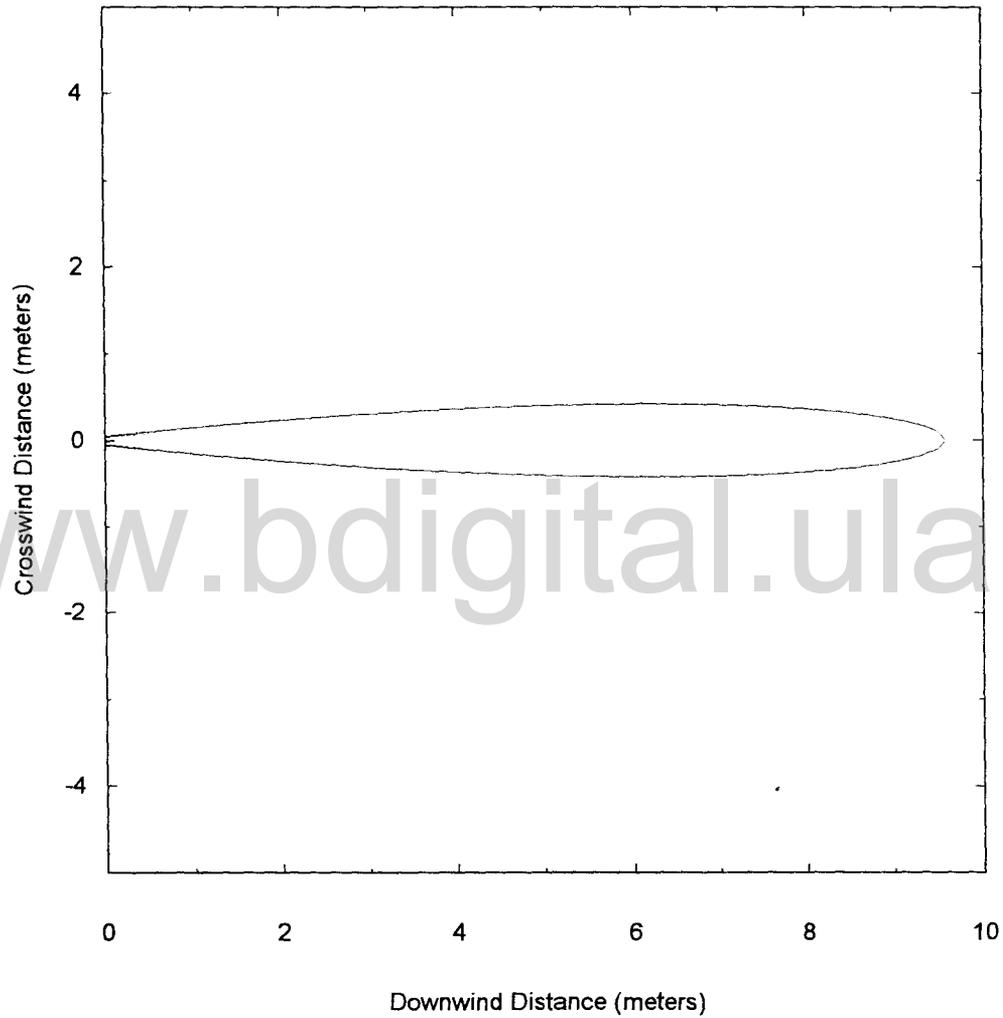
CANARY by Quest

Mon Dec 10 12:01:03 2001

CONCENTRATION CONTOURS: OVERHEAD VIEW

Momentum Jet Cloud

dispersion multiple gas lift rotura 1 condiciones normales



- 13.7 mole percent
- 3.80 mole percent
- 3.80 mole percent

casename=dismul21

w.s. = 1.6 m/s

D stability

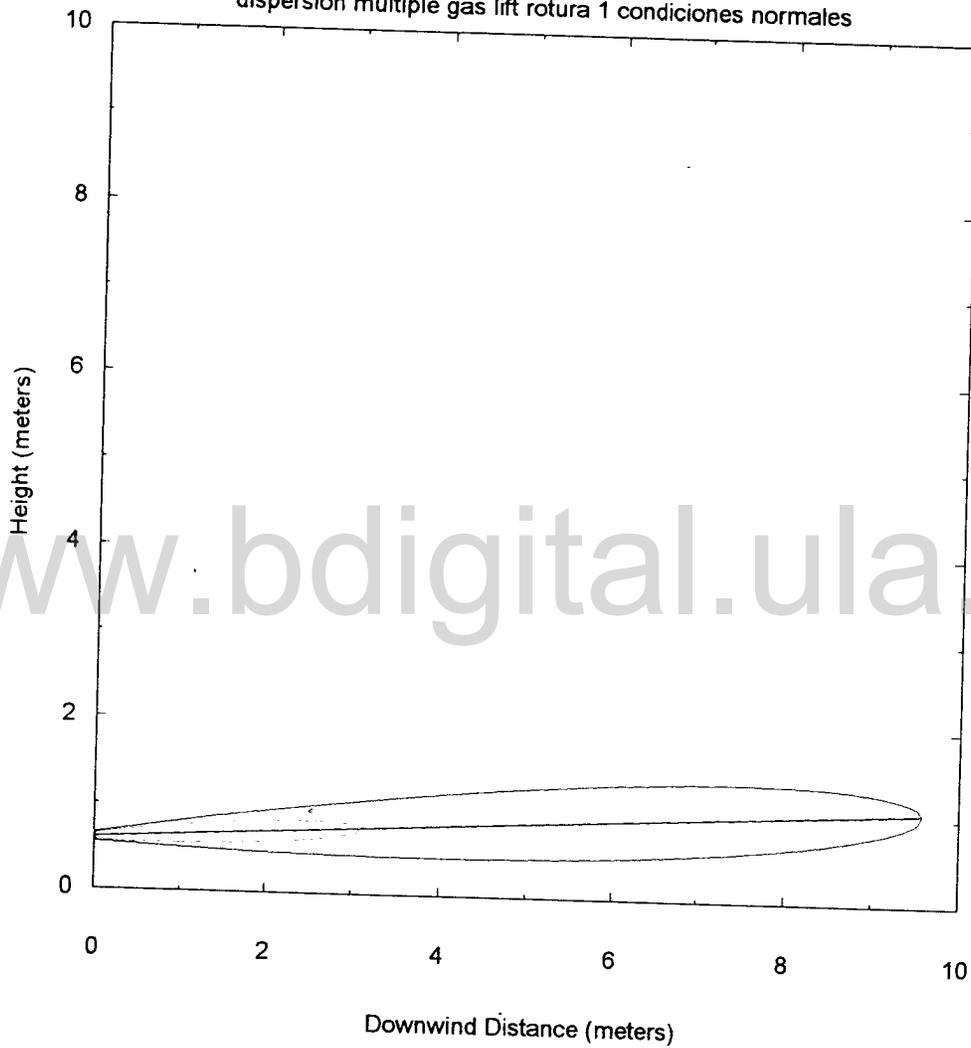
CANARY by Quest

Mon Dec 10 12:01:03 2001

CONCENTRATION CONTOURS: SIDE VIEW

Momentum Jet Cloud

dispersion multiple gas lift rotura 1 condiciones normales



- 13.7 mole percent
- 3.80 mole percent
- 3.80 mole percent

casename=dismul21

w.s. = 1.6 m/s

D stability

CANARY by Quest

Mon Dec 10 12:01:03 2001

CENTERLINE CONCENTRATION vs. DISTANCE

Momentum Jet Cloud

dispersion multiple gas lift rotura 1 condiciones normales

