



**DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO**  
**Facultad de Ingeniería**

**ANALISIS DE RIESGOS EN LINEAS DE PROCESO  
DE LA ESTACION DE COMPRESION DE GAS CHILAPILLA**

**JORGE ALBERTO ALEJO GERONIMO**

**TRABAJO**

**PRESENTADO A LA DIVISION DE ESTUDIOS DE  
POSGRADO DE LA**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**DE LA**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**COMO REQUISITO PARA OBTENER LA  
ESPECIALIZACION EN INGENIERIA  
( EN SEGURIDAD DE INSTALACIONES INDUSTRIALES )  
EN EXPLOTACION PETROLERA**

**CIUDAD UNIVERSITARIA**

**1 9 9 6**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

# INDICE

	PAGINA
LISTA DE FIGURAS.....	i
LISTA DE TABLAS.....	ii
INTRODUCCION.....	1
1. DESCRIPCION DE LA INSTALACION.....	2
1.1 UBICACION.....	2
1.2 DESCRIPCION DEL EQUIPO.....	3
1.3 DESCRIPCION DEL PROCESO.....	3
2. IDENTIFICACION DEL RIESGO.....	6
2.1 DEFINICION.....	6
2.2 ASPECTOS A IDENTIFICAR.....	7
2.3 DESARROLLO DE LA IDENTIFICACION .....	8
2.4 APLICACION DEL METODO "HAZOP".....	15
3. EVALUACION DE LA MAGNITUD DEL RIESGO Y SU CUANTIFICACION DE POSIBLES CONSECUENCIAS.....	27
3.1 SIMULACION DE CONTAMINACION Y RIESGOS INDUSTRIALES (SCRI).....	27
3.2 APLICACION DEL INDICE DOW.....	41
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	57

BIBLIOGRAFIA

INDICE

AGRA...

LISTA DE FIGURAS ..  
LISTA DE TABLAS ..  
INTRODUCCIÓN ..

2 DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN.....  
2.1 UBICACIÓN ..  
2.2 DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO ..  
2.3 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO ..

6 IDENTIFICACIÓN DEL RIESGO ..  
6.1 DEFINICIÓN ..  
6.2 ASPECTOS A IDENTIFICAR ..  
6.3 DESARROLLO DE LA IDENTIFICACIÓN ..  
6.4 APLICACIÓN DEL METODO DEPFI ..



27 EVALUACIÓN DE LA MANEJA DEL RIESGO Y SU  
27 CUANTIFICACIÓN DE POSIBLES CONSECUENCIAS ..  
27 2.1 SIMULACIÓN DE CONMUNICACIÓN RIESGOS ..  
27 2.2 INDUSTRIALES ISORH ..  
41 2.3 APLICACIÓN DEL INDICE DOW ..  
41 Ej. 2 ..  
57 4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....

BIBLIOGRAFIA

UNAM  
1996  
ALE  
Ej. 2

	Página
<b>Lista de Figuras</b> .....	<i>i</i>
Figura 1. Diagrama de Flujo de la Estación de Compresión Chilapilla.....	5
Figura 2. Diagrama del Subsistema Separadores Trifásicos.....	17
Figura 3. Diagrama del Subsistema Trampa Neumática.....	19
Figura 4. Diagrama del Subsistema Separadores de Gas Combustible o Arranque.....	21
Figura 5. Entrada de gas del Cabezal de succión a compresión y salida al cabezal de descarga.....	26
Figura 6. Modelo de fuga y derrame originada por el propano en el día.....	31
Figura 7. Modelo de fuga y derrame originada por el propano en la noche.....	32
Figura 8. Modelo de fuga masiva originada por el propano en el día.....	34
Figura 9. Modelo de fuga masiva originada por el propano en la noche.....	36
Figura 10. Modelo de la nube explosiva producida por el metano.....	38
Figura 11. Modelo de la nube explosiva producida por el propano.....	40
Figura 12. Procedimiento de aplicación del índice Dow.....	43
Figura 13. Factor de riesgo de la unidad (Dow).....	45
Figura 14. Area de Exposición (Dow).....	46
Figura 15. Máximos días probables perdidos (Dow).....	47
Figura 16. Presión de Tarado de la Válvula de Seguridad para Líquidos inflamables o combustibles (Dow).....	49
Figura 17. Líquidos o gases en proceso (Dow).....	51
Figura 18. Factor de Bonificación (Dow).....	52

		Página
<b>Lista de Tablas.....</b>		<b>ii</b>
Tabla 1.	Palabras Guía Método HAZOP.....	10
Tabla 2.	Estación de Compresión Chilapilla (Separadores Trifásicos).....	16
Tabla 3.	Estación de Compresión Chilapilla (Trampa Neumática).....	18
Tabla 4.	Estación de Compresión Chilapilla (Separadores de Gas Combustible o Arranque).....	20
Tabla 5.	Estación de Compresión Chilapilla (Separadores de Succión 1ero. y 2do. paso).....	22
Tabla 6.	Estación de Compresión Chilapilla (Domos de Descargas y Cilindros del Compresor).....	23
Tabla 7.	Estación de Compresión Chilapilla (Enfriadores).....	25
Tabla 8.	Estudio de Seguridad en procesos - Índice Dow.....	55

# INTRODUCCION

La Dirección PEMEX EXPLORACION Y PRODUCCION ha tenido la necesidad de instalar estaciones de compresión de gas en diferentes distritos debido a la baja presión que presentan los pozos petroleros, que requieren de más energía para la transportación a los complejos petroquímicos.

Estas instalaciones se han convertido en un asunto de gran importancia a medida que son más grandes, eficientes y complejas. El constante incremento de costos del equipo y las indemnizaciones por accidente de trabajo, así como la responsabilidad que implica el escape fuera de control de las energías contenidas en los sistemas, han incrementado el interés de la alta dirección hacia la prevención de riesgos. Por ello es necesario introducir el concepto de seguridad en todas las actividades realizadas, desde la planeación, diseño y construcción hasta la operación y mantenimiento.

El presente trabajo tiene como finalidad el analizar los riesgos por áreas de trabajo en la estación de Compresión de gas Chilapilla del Distrito Ocosingo, Chis., considerando para ello la probabilidad de accidente y las consecuencias derivadas del mismo, basándose en las estadísticas de accidentes y en el análisis preliminar de riesgos derivados de la inspección de las instalaciones.

# 1. DESCRIPCION DE LA INSTALACION

## 1.1. UBICACION

La Estación de Compresión de gas Chilapilla, se encuentra ubicada en el Ejido Narciso Mendoza, Ranchería Chilapilla, del Municipio de Macuspana, Estado de Tabasco, a 80 kilómetros aproximadamente de la ciudad de Villahermosa, a 17 grados 56 minutos latitud norte y 92 grados 30 minutos longitud oeste, su altitud media sobre el nivel del mar es de 14 metros.

El clima imperante en la zona es cálido y húmedo de tipo tropical lluvioso, los vientos dominantes son del noreste y suroeste y en el estiaje soplan del sureste, con una velocidad promedio de 20 km/hr. Regularmente, los Nortes ocurren de marzo a octubre, con velocidad de viento de 30 a 50 km/hr.

La temperatura promedio anual es de 27.8 grados centígrados, sin embargo en los meses de febrero - abril la temperatura se mantiene entre los 28 y 32 grados centígrados, alcanzando su máximo en el mes de mayo (40 grados centígrados), aunque en épocas de sequía puede llegar a los 42 grados centígrados. Las temperaturas mínimas se presentan en los meses de diciembre - enero, con valores que oscilan entre los 12 y 15 grados centígrados.

La humedad relativa en ésta zona tiene un promedio anual de 80%, debido a esto existe mucha nubosidad que provoca baja insolación. El valor máximo es de 90% y el mínimo de 77%.

La precipitación total anual es de 1600 mm, se presentan dos máximas, la primera en junio y la segunda en octubre, con un promedio de 380 mm, la época de secas ocurre en marzo y abril, cuando el volumen medio de precipitación es de 40 mm.

Referente a la sismicidad, el área de estudio se encuentra situada en una área considerada como penesísmica, en la cual se presentan sismos con poca frecuencia y baja intensidad.

## 1.2. DESCRIPCION DEL EQUIPO

La Estación de Compresión Chilapilla ocupa una área de 6,000 metros cuadrados, recibe la producción de gas de 2 campos: Chilapilla y José Colomo y cuenta con el siguiente equipo instalado:

Cuatro motocompresoras de gas natural con una capacidad de 10 mmpcd (millones de pies cúbicos diarios) y 1100 Hp y dos de 20 mmpcd y 1100 Hp, un separador general de baja presión (trifásico), un separador general de alta presión (trifásico), dos separadores horizontales de condensados, dos tanques verticales cilíndricos para gas combustible y arranque, una bomba centrífuga horizontal, una bomba de pozo profundo de 275 gal/min, dos bombas para la red de contraincendio (con motores eléctrico y de combustión interna) y un tanque elevado para el agua que se suministra a la red de contraincendio.

Se puede considerar que existen ocho circuitos de tuberías que son: gas de baja de 12" de diámetro, gas de intermedia de 12" de diámetro, gas comprimido de 8 - 12" de diámetro, gas combustible de 4" de diámetro, gas arranque de 4" de diámetro, gas de desfogue de 2 - 4" de diámetro, condensado de baja de 4" de diámetro y condensado de alta de 4" de diámetro, para los desfogues de las válvulas de seguridad se utiliza un quemador tipo fosa, la instalación cuenta con dos tipos de drenaje: aceitoso y pluvial, el primero descarga a una presa API, además se cuenta con una red de contraincendio.

## 1.3. DESCRIPCION DEL PROCESO

El gas húmedo proveniente de las Estaciones de Recolección de gas José Colomo Nos. 1, 2, 2a, 3, 4, 5, sur y norte, llegan a un cabezal general de succión conectado al separador general trifásico de alta presión donde se recuperan los condensados que van directo a la trampa neumática de alta presión, el gas es enviado a un cabezal general donde succionan las unidades 5 y 6, el gas pasa a otro separador de succión de cada unidad donde se recuperan los

condensados que se envían al separador general de baja, el gas es comprimido por dos compresores de presión intermedia a alta presión en un solo paso y posteriormente pasa a un enfriador descargando al cabezal general.

El gas húmedo proveniente de la Estación de Recolección Chilapilla es enviado a un cabezal general de baja, el cual pasa a un paquete de regulación llegando a un separador general trifásico de baja presión, el gas es enviado a un cabezal general y es succionado por las unidades 1, 2, 3 y 4, pasando por un separador de succión para eliminar posibles arrastres de condensados, los cuales retornan al separador de baja presión, el gas pasa a las motocompresoras para ser comprimido de una presión baja a presión intermedia en el primer paso, posteriormente pasa a través de un enfriador para entrar nuevamente al separador de succión del segundo paso, el gas es otra vez comprimido en la unidad de compresión de una presión intermedia a alta presión, el gas se conduce a los enfriadores para integrarse al cabezal general donde se envían 92 mmpcd de gas al Complejo Petroquímico Ciudad Pemex (fig. 1)

El condensado obtenido del separador trifásico de baja presión es enviado a la Trampa Neumática de baja presión de donde salen para integrarse a la corriente que proviene de la Trampa Neumática de alta presión, enviándose al Complejo Petroquímico Ciudad Pemex un volumen de 1450 barriles diarios.

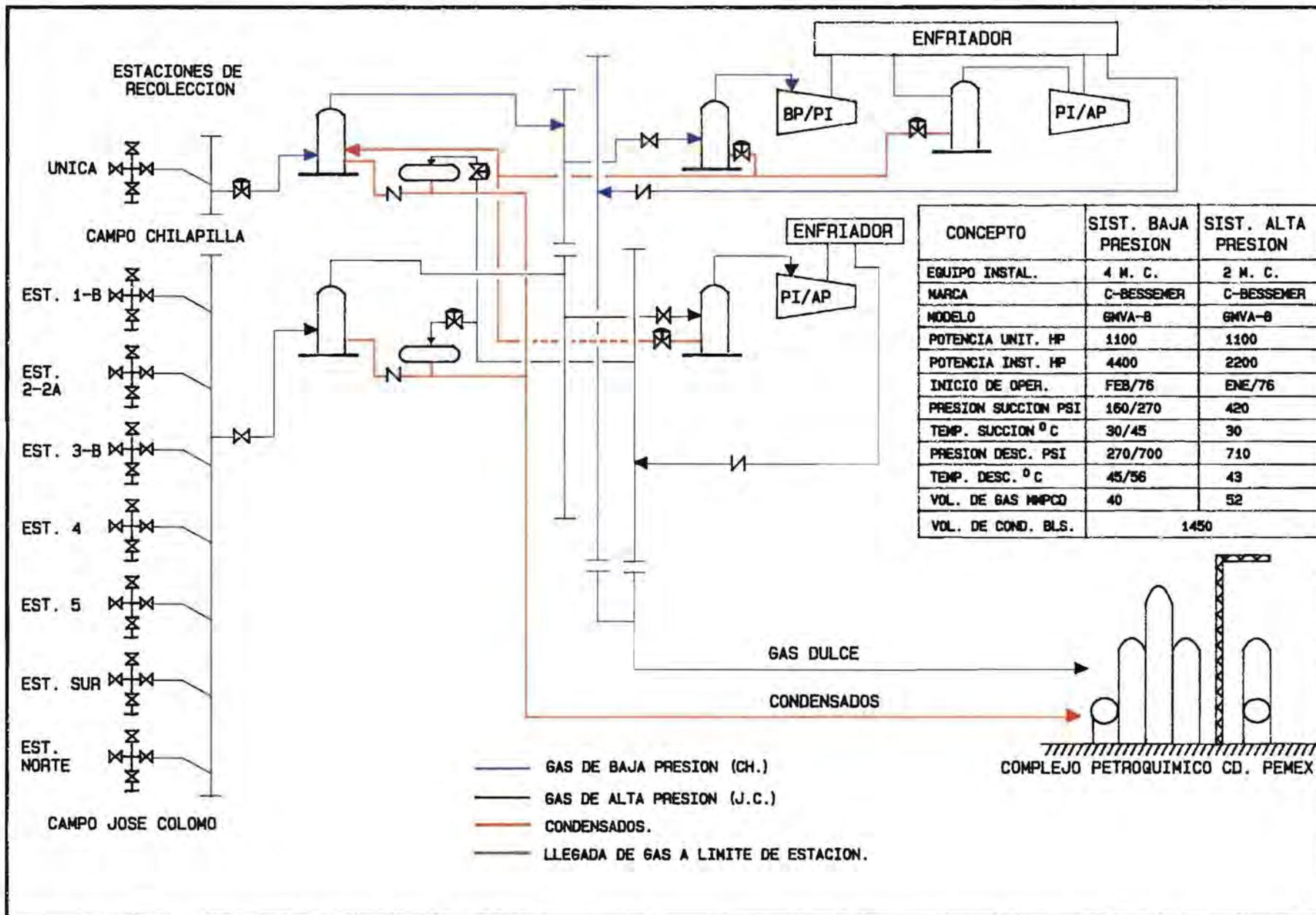


Fig. 1. Diagrama de Flujo de la Estación de Compresión Chilapilla.

## 2. IDENTIFICACION DEL RIESGO

### 2.1. DEFINICION

La identificación del riesgo está basado en la recopilación de información que interesa para el análisis preliminar de riesgos de una instalación.

Toda instalación industrial debe contar con sistemas de seguridad confiables y efectivos para la protección del personal y de las instalaciones.

Un diseño adecuado de éstos sistemas debe iniciar por el análisis de riesgos respectivo, para estar en condiciones de eliminar o minimizar las posibles causas de siniestros en la instalación.

Uno de los factores importantes en el análisis de riesgos es la identificación de los mismos, el resultado esperado de esta identificación es la localización de los puntos de riesgo del sistema, así como el conocimiento del tipo y características del riesgo, con la finalidad de eliminar o minimizar las posibles causas de siniestros.

La identificación de riesgos constituye un instrumento de información que permite evaluar las condiciones de seguridad para adoptar las medidas pertinentes para asumir, anular, disminuir o transferir el riesgo.

Las razones de la identificación se clasifican en tres grupos:

- Legales. Cumplimiento de la normatividad legal vigente.
- Sociales. Afectación de las personas, del entorno social y ambiental.
- Económicas. Exposición a pérdidas económicas y fijación de aspectos económicos en contratos de seguros, etc.

## 2.2. ASPECTOS A IDENTIFICAR

La seguridad industrial engloba todos los peligros accidentales de daño para las personas, los bienes materiales y la economía de una empresa, en consecuencia la identificación de riesgos detecta los peligros de accidentes para los distintos elementos de la empresa.

Los peligros o riesgos más importantes a considerar son:

- Incendios
- Explosiones
- Fugas
- Inundaciones
- Tormentas eléctricas
- Choques y colapsos
- Temblores
- Actos terroristas
- Huracanes
- Ciclones
- Derrames

Los elementos de la empresa o terceros que pueden ser dañados son:

- Personas ajenas o empleados
- Bienes materiales (edificios, equipos, instalaciones, productos)

Generalmente, después de un accidente y cuando se detecta un problema mayor de operación, se investigan sus causas y se establecen acciones para prevenir su repetición. Frecuentemente, una vez que la investigación finaliza, se detectan fallas en el diseño o en los métodos de operación, lo cual ocurre a pesar del cuidado que se tenga en el diseño de una planta. En gran parte se aprende de las experiencias, pero esto puede resultar muy costoso en términos de vidas humanas e inversiones.

## 2.3. DESARROLLO DE LA IDENTIFICACION.

Para el desarrollo de la identificación de los riesgos en la Estación de Compresión de gas Chilapilla, se aplicará el método HAZOP (Hazard and operability) "Estudio de Riesgos y Operabilidad", el cual es una metodología que nos permite conocer los riesgos de una planta en forma sistemática, antes de que se generen consecuencias innecesarias (Lesso y Dale, 1993).

Esta metodología funciona a través de utilizar la imaginación de los miembros de un grupo multidisciplinario para visualizar las rutas en que una planta puede operar en forma indeseable. Es lo suficientemente flexible para aplicarse a todo tipo de plantas, procesos, equipos, etc.

La metodología puede ser aplicada en el diseño de una planta o en etapas intermedias al realizar trabajos de mantenimiento mayor o reparaciones complejas y en operaciones de paro, arranque o condiciones normales de operación.

Debido a que el proceso de aplicación de la metodología es complejo y altamente estructurado, es recomendable su aplicación en forma selectiva, considerando parámetros tales como:

- Manejo de materiales altamente peligrosos
- Ubicación de la planta en zonas de asentamientos humanos y
- Posibles efectos a instalaciones industriales colindantes

### 2.3.1. CONCEPTOS BASICOS.

Para desarrollar un estudio HAZOP se requiere de una descripción completa del proceso y se cuestiona a cada una de las partes del mismo y a cada componente para descubrir qué desviaciones del propósito original para lo cual fueron diseñados pueden ocurrir y determinar cuáles de esas desviaciones pueden dar lugar a riesgos para el proceso o el personal.

Los componentes se analizan mediante el empleo de palabras claves o guías, las cuales están concebidas para asegurar que las preguntas exploren todas las posibilidades de que el funcionamiento de un componente desvíe de su intención y propósito de diseño.

Las desviaciones son estudiadas, se determinan sus causas y consecuencias, indicando cuáles son las condiciones en que se presentarían.

### Descripción de Conceptos Básicos.

<i>Propósito</i>	Describe la forma en que se espera funcione el elemento analizado.
<i>Desviaciones</i>	Son los cambios que se presentan al propósito y puestas al descubrimiento por la aplicación sistemática de las palabras clave.
<i>Causas</i>	Estos son los motivos por los que se pueden presentar las desviaciones. Cuando se demuestra que una desviación tiene una causa real, se considera como una desviación significativa.
<i>Consecuencias</i>	Son los resultados que se obtendrían en caso de que se presentaran algunas desviaciones.
<i>Riesgos</i>	Son las consecuencias que pueden causar daños, lastimaduras o pérdidas.
<i>Palabras Clave</i>	Son las palabras sencillas que se usan para calificar el propósito; guían y estimulan el proceso de pensamiento creativo para descubrir las posibles desviaciones. La siguiente tabla muestra una lista de palabras clave. Las palabras clave se aplican a la intención de diseño que indica lo que el equipo y/o sistema debe realizar.

**TABLA 1. Palabras Guia Metodo HAZOP.**

PALABRA GUIA	SIGNIFICADO	COMENTARIOS	POSIBLES DESVIACIONES (EJEMPLOS)	POSIBLES CAUSAS	POSIBLES CONSECUENCIAS
<b>NO</b> (NO OR NOT)	NEGACION DE LA INTENCION PREVISTA	NINGUNA DE LAS PREVISIONES DEL DISENO SE LOGRAN	AUSENCIA DEL FLUJO	FALLA DE VALVULAS DE CONTROL, FALLA OPERADOR, ETC.	CALENTAMIENTO DEL MOTOR DE LA BOMBA
<b>MAS</b> (MORE)	AUMENTO CUANTITATIVO DE LO PREVISTO	REFERIDO A PROPIEDADES CUANTITATIVAS COMO FLUJO, PREVISION, O ACTIVIDADES COMO TRANSMISION DE CALOR O VELOCIDAD DE UNA REACCION, ETC.	AUMENTO DE TEMPERATURA	FALLA DEL AGUA DE ENFRIAMIENTO.	PARALIZACION DE LA BOMBA
<b>MENOS</b> (LESS)	DISMINUCION CUANTITATIVA DE LO PREVISTO		DISMINUCION DE NIVEL EN UN TANQUE.	FALLA DEL CONTROLADOR DE NIVEL	PERDIDA DE SUCCION DE LA BOMBA
<b>ADEMAS DE</b> (AS WELL AS)	AUMENTO CUALITATIVO	SE LOGRAN TODAS LAS PREVISIONES DE DISENO, PERO ADEMAS OCURREN DESVIACIONES ADICIONALES.	PRESENCIA DE IMPUREZAS	FALLA EN EL CONTROL DE CALIDAD DE LAS MATERIAS PRIMAS.	ENVENENAMIENTO DEL CATALIZADOR CORROSION
<b>PARTE DE</b> (PART OF)	DISMINUCION CUALITATIVA	SOLO SE LOGRAN PARTES DE LAS PREVISIONES DE DISENO.	CAMBIO EN LA COMPOSICION DEL FLUJO	FALLO EN EL CONTROL DE INTERFASE	PRESENCIA DE AGUA EN LA REACCION
<b>INVERSO</b> (REVERSE)	LO OPUESTO A LO PREVISTO EN EL DISENO	APLICABLE BASICAMENTE O ACTIVIDADES, COMO FLUJO INVERSO, REACCION QUIMICA INVERTIDA.	FLUJO INVERSO	AUSENCIA DE VALVULAS DE RETENCION	GOLPES DE ARIETE, SIFONES.
<b>OTRO QUE</b> OTHER THAN	TODO LO QUE PUEDE OCURRIR FUERA DE LAS CONDICIONES DE OPERACION.	OCURRE ALGO TOTALMENTE DISTINTO.	MANTENIMIENTO, PARADA, ARRANQUE	FALLA DE ALGUN EQUIPO, FUGA, CAMBIO DE CATALIZADOR.	COSTOS DE PRODUCCION, TIEMPO

## 2.3.2. PROCEDIMIENTO PARA EL ESTUDIO

Para la aplicación de los procedimientos y principios se pondrán en práctica los siguientes pasos:

### 2.3.2.1. Definición del Alcance y los Objetivos

El alcance y los objetivos del proyecto se deben hacer explícitos desde el inicio del trabajo. Ejemplos de las razones para realizar el estudio.

- a) Verificar un diseño.
- b) Decidir si se va a construir y dónde.
- c) Decidir si se va a comprar un equipo o sistema.
- d) Desarrollar una lista de preguntas que desea resolver un proveedor.
- e) Verificación de los instructivos de operación y mantenimiento.
- f) Mejorar la seguridad de una planta de operación.

Este estudio se basará en los dos últimos puntos.

### 2.3.2.2. Selección del Equipo de Trabajo

La evaluación de riesgos y operabilidad se realiza por un grupo multidisciplinario. Existen dos tipos de miembros en el grupo de trabajo:

- a) Aquellos que hacen una contribución técnica.
  - Ingeniero de proceso
  - Ingeniero mecánico
  - Ingeniero de instrumentos
  - Ingeniero electricista
  - Ingeniero civil
  - Gerente de producción
  - Gerente del proyecto

b) Los miembros que actúan como soporte.

- Líder del estudio
- Secretario

Para el desarrollo del estudio se contó con la colaboración del personal de las Superintendencias de Producción, Servicios Técnicos y Seguridad Industrial y Protección Ambiental, a través de los departamentos de Compresión de gas, Mantenimiento y Prevención de Accidentes, respectivamente.

### 2.3.2.3. Preparación para el Estudio

Las actividades previas al estudio consisten en cuatro etapas:

a) Obtención de toda la información relevante.

a.1) Información de todos los materiales usados en el proceso.

- materias primas
- productos intermedios
- subproductos
- desechos
- necesidades de almacenamiento
- regulaciones de emisiones de desechos, etc.

a.2) Dibujos y Diagramas.

- Diagramas de flujo y balances
- Diagramas de tuberías e instrumentación
- Arreglos de equipos
- Isométricos, etc.

- a.3) Descripción del proceso, manual de operación, cartas de secuencias de control de instrumentos, etc.
- a.4) Materiales de construcción.
  - Matriz de interacción producto-material de construcción.
- a.5) Historias de accidentes/incidentes y sus consecuencias
- a.6) Bitácoras de mantenimiento
- b) Conversión de los datos en una forma adecuada a los propósitos del estudio.
- c) Preparación de la secuencia del estudio.
- d) Programación de los recursos necesarios y fechas de las reuniones.

#### 2.3.2.4. Desarrollo Práctico del Trabajo

- a) Las sesiones de trabajo deben estar bien estructuradas y controladas por el líder que debe seguir el plan desarrollado.
  - a.1) Seleccionar el primer elemento del sistema, generalmente un recipiente o equipo numerado en el diagrama.
  - a.2) Se obtiene una explicación del propósito y funcionamiento.
  - a.3) Se analiza la primera línea, conexión o accesorio.
  - a.4) Se utilizan las Palabras Claves.

- b) El líder deberá asegurarse de que todos han entendido perfectamente los riesgos detectados. La forma de hacerlo fluctúa entre dos posiciones extremas:
  - b.1) Se encuentra una solución para cada riesgo a medida que se encuentran, antes de pasar a examinar otro elemento.
  - b.2) No se investiga ninguna solución hasta que se hayan analizado todos los elementos y encontrado todos los riesgos.

#### 2.3.2.5. Actividades de seguimiento.

Las acciones que implican riesgos, generalmente son de cuatro tipos, a saber:

- a) Cambio en el proceso (receta, materiales, etc.)
- b) Cambio en las condiciones del proceso (temperatura, presión, etc.).
- c) Alteración en el diseño físico del sistema.
- d) Cambio en la secuencia de operación.

Cuando se selecciona una acción, se consideran dos categorías:

- a) Acciones para evitar la causa del riesgo.
- b) Acciones para reducir las consecuencias.

#### 2.3.2.6. Resultados del Estudio

En este punto se mostrarán los resultados obtenidos, así como las recomendaciones de las modificaciones o acciones requeridas que hayan sido empleadas.

## 2.4. APLICACION DEL METODO "HAZOP".

Debido a la necesidad de identificar los riesgos y problemas que pueden impedir una operación eficiente en la Estación de Compresión de Gas Chilapilla, se aplicó el Análisis de Riesgo y Operabilidad (HAZOP), a los circuitos de tuberías y equipos que conducen el gas desde su llegada a la Estación hasta concluir en la descarga, enviada al Complejo Petroquímico Ciudad Pemex. Para su estudio se dividió en los siguientes Subsistemas:

- Separadores trifásicos (Tabla 2, Fig. 2)
- Trampas neumáticas (Tabla 3, Fig. 3)
- Separadores de gas combustible o arranque (Tabla 4, Fig. 4)
- Separadores de succión 1o. y 2o. paso (Tabla 5, Fig. 5)
- Domos de descargas (Tabla 6, Fig. 5)
- Cilindros del compresor (Tabla 6, Fig. 5) y
- Enfriadores (Tabla 7, Fig. 5)

Se obtuvo los resultados que se indican en las tablas correspondientes, en las cuales se utilizó la siguiente nomenclatura para identificar la protección primaria y secundaria de cada subsistema:

IP	Indicador de presión
IN	Indicador de nivel
IT	Indicador de temperatura
CN	Controlador de nivel
VS	Valvula de seguridad
VRP	Valvula reguladora de presión
VCN	Válvula controladora de presión
CHECK	Válvula check o contraflujo
TSH	Sensor de alta temperatura
TSHL	Sensor de alta y baja temperatura
TNAP	Trampa neumática de alta presión
SVBP	Separador vertical de baja presión
SVGC	Separador vertical de gas combustible

**TABLA 2. Estacion de Compresion Chilapilla (Separadores Trifasicos).**

PALABRA GUIA	PARAMETRO	DESVIACION	POSIBLE CAUSA	POSIBLE EFECTO	RECOMENDACIONES	PROTECCION	
						PRIM.	SECUN
Más	Presión	Sobrepresión	Bloqueo u obstrucción corriente abajo. Falla del regulador de presión. Falla en válvula de control de nivel.	Falla del material y explosión	Mantenimiento periodico a válvulas de seguridad, reguladoras y controladoras de nivel	VRP CN VS IP	VRP VCN VS
Menos	Presión	Presión abajo de la normal	Bloqueo u obstrucción corriente arriba. Falla en el cierre de válvulas de seguridad, en controladora de nivel y/o reguladora de presión	Fuga, corriente arriba.	Mantenimiento periodico a válvulas de seguridad, reguladora de presión y controladora de nivel	VRP	VRP
Más	Flujo	Sobreflujo	Alta presión corriente arriba. Falla en válvula de control de nivel.	Falla de material, fuga	Instalar válvula de seguridad en cabezal de llegada de pozos	VRP CN VS IP IN	VRP VCN VS
Menos	Flujo	Flujo por debajo del normal	Bloqueo u obstrucción corriente arriba Por fuga en línea de alimentación Por cierre de pozo. Falla en válvulas de control de nivel.	Fuga, corriente arriba.	Mantenimiento en líneas y válvulas corriente arriba	CN IN	VCN

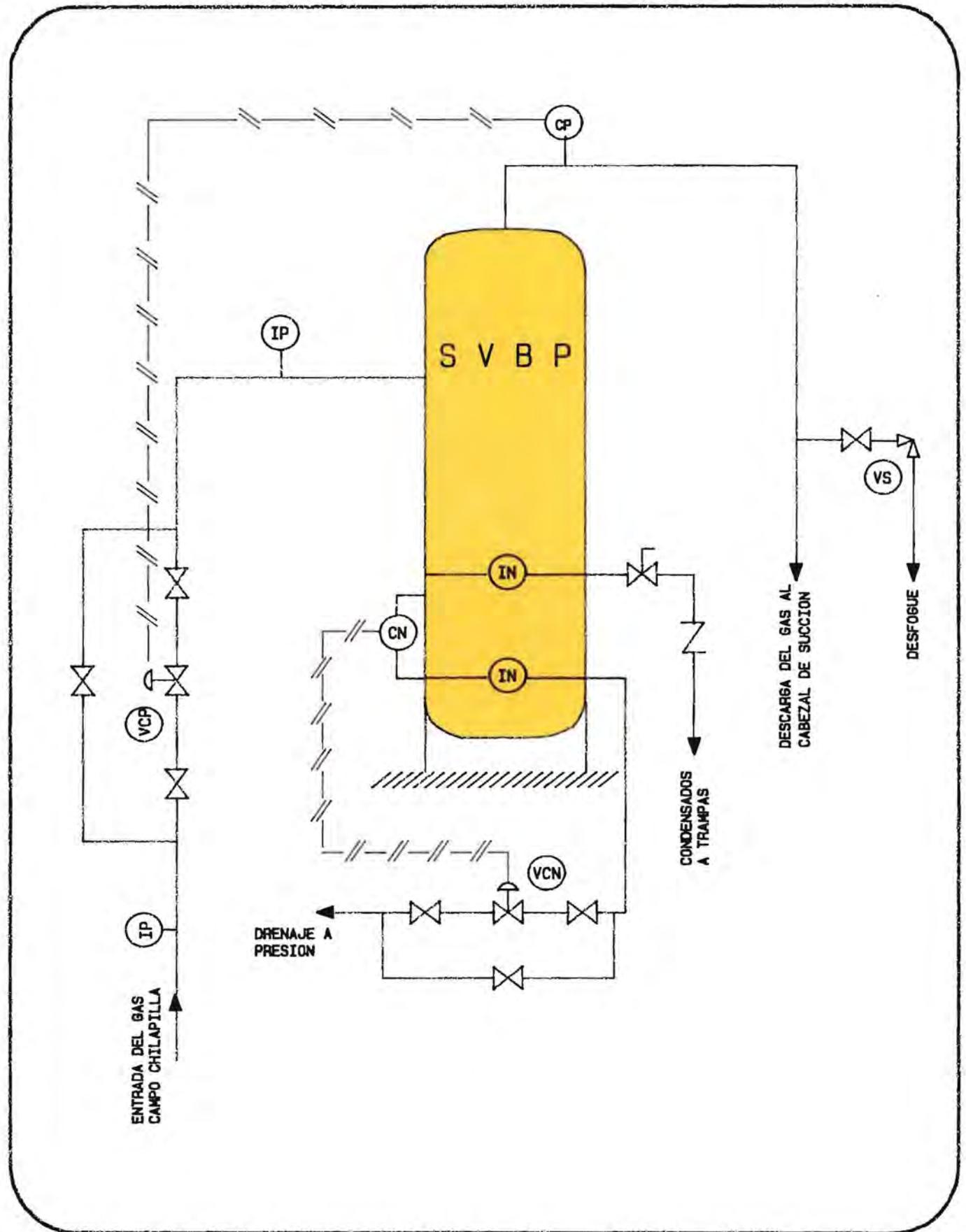


Fig. 2. Diagrama del Subsistema Separadores Trifásicos.



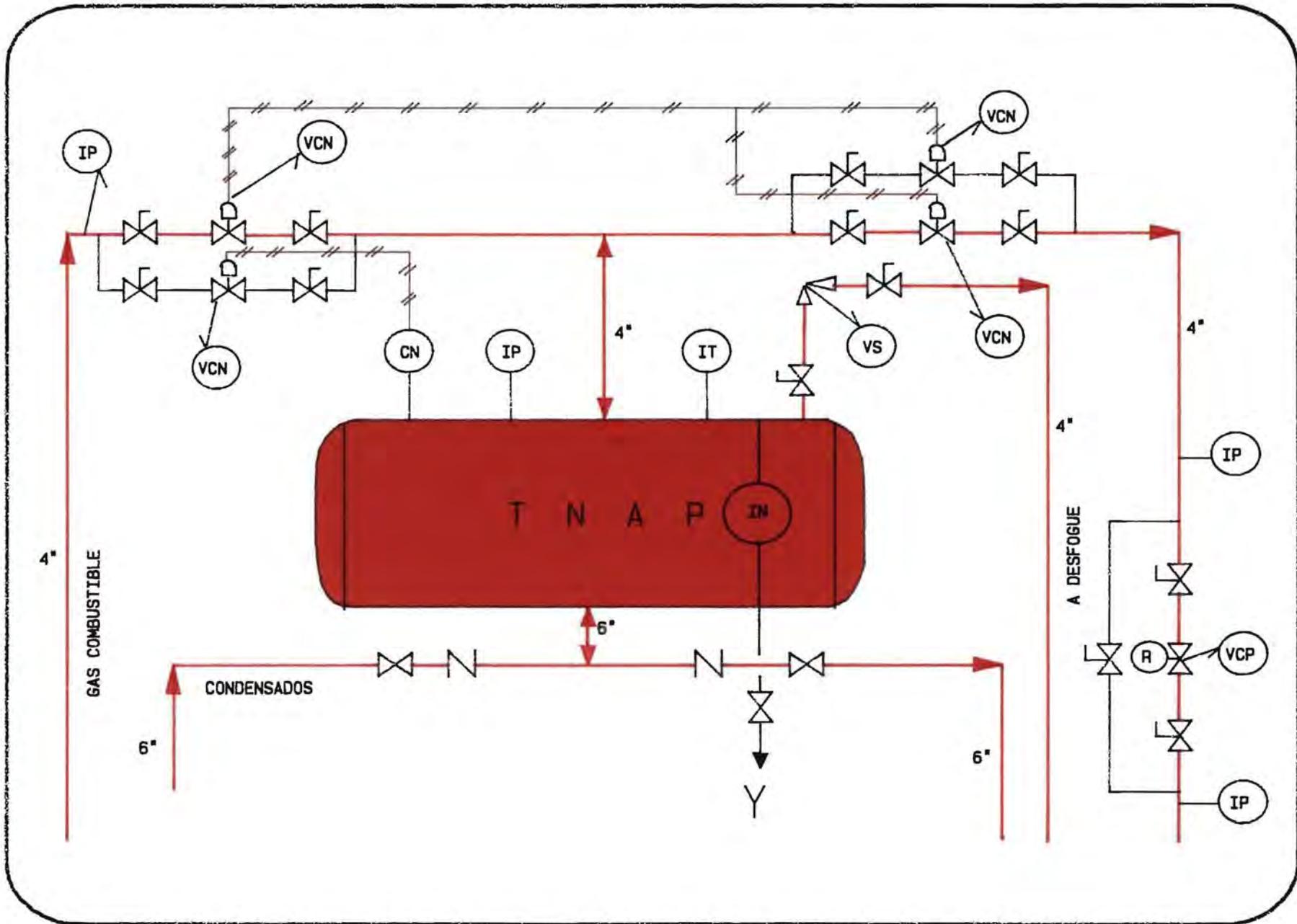


Fig. 3. Diagrama del Subsistema Trampa Neumática (Recup. de Condensados).

**TABLA 4. Estacion de Compresion Chilapilla (Separadores de Gas Combustible o Arranque).**

PALABRA GUIA	PARAMETRO	DESVIACIÓN	POSIBLE CAUSA	POSIBLE EFECTO	RECOMENDACIONES	PROTECCION	
						PRIM.	SECUN
Más	Presión	Sobrepresión	Bloqueo u obstrucción corriente abajo. Falla del regulador de presión. Falla en válvula de seguridad. alta presión corriente arriba.	Falla del material y explosión. No habra correcta combustión.	Mantenimiento periodico a válvulas de seguridad, reguladores de presión.	VRP VS IP	VRP VS
Menos	Presión	Presión abajo de la normal	Falla en válvula controladora de presión. Fuga en línea de alimentación.	No hay alimentación de gas a las moto-compresoras.	Mantenimiento periodico e inspección detallada a válvulas de presión, y líneas de mantenimiento.	VRP IP	VRP
Más	Flujo	Sobreflujo	Alta presión corriente arriba. Falla en válvula de control de nivel.	Falla de material, fuga y/o explosión.	Mantenimiento periodico a válvulas de seguridad.	CN VS IN	VCN VS
Menos	Flujo	Flujo por debajo del normal	Bloqueo u obstrucción corriente arriba. Fuga en línea de alimentación. Falla en válvula de control de nivel.	No hay alimentación de gas a las moto-compresoras.	Mantenimiento en líneas y válvulas corriente arriba	CN VS IN	VCN VS

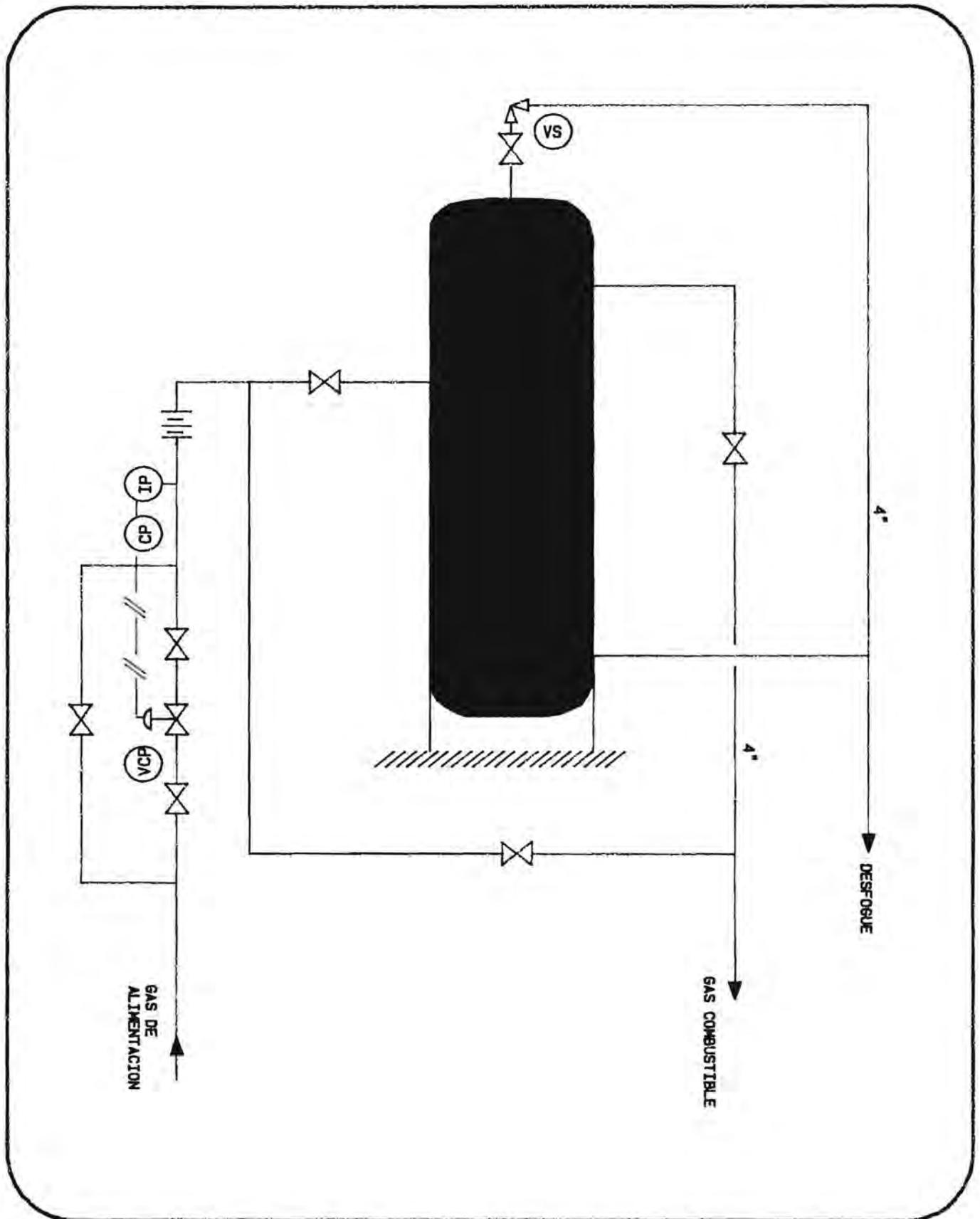


Fig. 4. Diagrama del Subsistema Separadores de Gas Combustible o Arranque.

**TABLA 5. Estacion de Compresion Chilapilla (Separadores de Succion 1ro. y 2do. paso).**

PALABRA GUIA	PARAMETRO	DESVIACION	POSIBLE CAUSA	POSIBLE EFECTO	RECOMENDACIONES	PROTECCION	
						PRIM.	SECUN
Más	Presión	Sobrepresión	Bloqueo corriente abajo. Falla en válvula de control de nivel. Falla en válvula de seguridad.	Falla del material y explosión.	Mantenimiento periodico a válvulas de seguridad, y controladoras de nivel.	CN VS IP	VCN VS
Menos	Presión	Presión abajo de la normal	Bloqueo corriente arriba. Fuga en línea de succión.	No existe ningún riesgo en el recipiente, pero provoca cavitación en el cilindro del compresor.	Mantenimiento en líneas y válvulas corriente arriba.	CN VS IP	VCN VS
Más	Flujo	Sobreflujo	Alta presión corriente arriba. Falla en válvulas de control de nivel.	Falla del material, fuga y/o explosión.	Mantenimiento periodico a válvulas de seguridad. Reguladoras y controladoras de nivel.	VRP CN VS IP IN	VRP VCN VS
Menos	Flujo	Flujo por debajo del normal	Bloqueo u obstrucción corriente arriba. Fuga en línea de alimentación. Falla en válvula de control de nivel.	No existe ningún riesgo en el recipiente, pero provoca cavitación en el cilindro del compresor.	Mantenimiento en líneas y válvulas corriente arriba	CN IN	VCN

TABLA 6. Est. de Compresion Chilapilla (Domos de Descargas y Cilindros del Compresor).

PALABRA GUIA	PARAMETRO	DESVIACION	POSIBLE CAUSA	POSIBLE EFECTO	RECOMENDACIONES	PROTECCION	
						PRIM.	SECUN.
Más	Presión	Sobrepresión	Bloqueo u obstrucción corriente abajo. Falla en válvula de seguridad. Falla en válvulas del compresor.	Falla del material. Daños en partes internas del cilindro. Ruptura y explosión.	Mantenimiento periódico en válvulas de seguridad y controladoras de presión.	VS IP	VS
Menos	Presión	Presión abajo de la normal	Bloqueo u obstrucción corriente abajo. Fuga en línea de alimentación.	Cavitación en cilindro del compresor.	Mantenimiento periodico e inspecciones constantes a líneas y válvulas en la alimentación.	VS IP	VS
Más	Flujo	Sobreflujo	Alta presión corriente arriba. Baja presión corriente abajo. Fuga en ducto corriente abajo. Falla en válvula de seguridad.	Daños en partes internas del cilindro del compresor.	Mantenimiento a válvulas y líneas de alimentación y descarga.	VS IP	VS
Menos	Flujo	Flujo por debajo del normal Retroflujo.	Bloqueo u obstrucción corriente arriba Baja presión corriente arriba. Cilindros defectuosos.	Cavitación en cilindro del compresor.	Mantenimiento periodico a líneas y válvulas de succión y descarga.	VS IP	VS



**TABLA 7. Estacion de Compresion Chilapilla (Enfriadores).**

PALABRA GUIA	PARAMETRO	DESVIACIÓN	POSIBLE CAUSA	POSIBLE EFECTO	RECOMENDACIONES	PROTECCION	
						PRIM.	SECUN
Más	Presión	Sobrepresión	Bloqueo u obstrucción corriente abajo. Falla del regulador de presión.	Ruptura de los serpentines	Mantenimiento a válvulas reguladoras de presión	VRP	VRP
Menos	Presión	Presión abajo de la normal	Bloqueo u obstrucción corriente arriba. Falla del regulador de presión.		Mantenimiento a válvula reguladora de presión.	VRP	VRP
Más	Flujo	Sobreflujo	Alta presión corriente arriba	Ruptura de los serpentines	Instalar válvula de seguridad en cabezal de alimentación a enfriadores.	VRP	VRP
Menos	Flujo	Flujo por debajo del normal	Bloqueo u obstrucción corriente arriba Por fuga en línea de alimentación			VRP	VRP



### 3. EVALUACION DE LA MAGNITUD DEL RIESGO Y CUANTIFICACION DE POSIBLES CONSECUENCIAS

#### 3.1. SIMULACION DE CONTAMINACION Y RIESGOS INDUSTRIALES (SCRI)

El aspecto de manejo, transporte o almacenamiento de sustancias peligrosas es muy importante, debido a los efectos que se pueden presentar en caso de un accidente, como puede ser la liberación en la atmósfera de un gas o vapores tóxicos provenientes de una fuga o derrame de un líquido que se evapora. A éste respecto, el factor importante a considerar es la posible exposición de gente a concentraciones de un gas o vapor que puedan afectar severamente su salud o incluso provocar su muerte. Actualmente, éste tipo de eventos ha recibido especial atención debido a un número significativo de accidentes que se han registrado.

Una situación parecida a la anterior es la relativa a la liberación masiva e instantánea de un gas tóxico, el cual forma una nube que es transportada por el viento. Aquí es importante el poder prevenir la exposición de la población a niveles de concentración peligrosos o letales.

En la industria también es frecuente el manejo de sustancias peligrosas que en determinado momento pueden provocar una explosión. En éste caso es importante el poder estimar los radios de afectación y la magnitud de los daños potenciales por la ocurrencia de un evento explosivo, considerando el personal expuesto y las características de instalaciones y procesos existentes.

Para el análisis se utilizó un paquete de modelos de dispersión atmosférica, que permite apoyar la simulación de los escenarios descritos. Este paquete, cuyo nombre es SCRI (Simulación de Contaminación y Riesgos en Industrias), está integrado por cuatro modelos:

- Modelo de Dispersión de una emisión puntual continua de gases.
- Modelo de Dispersión de una gas o vapor proveniente de una fuga o derrame de un líquido que se evapora.
- Modelo de Dispersión de un gas liberado en forma masiva e instantánea.
- Modelo de Evaluación de daños provocados por nubes explosivas.

Para efecto del presente trabajo se consideraron los tres últimos modelos para el propano, ya que presenta una concentración inmediatamente peligrosa para la vida o la salud de 20,000 mg/m<sup>3</sup> (SCRI, 1989), mientras que para el metano solo se consideró el Modelo de evaluación de daños, DMP (Daño Máximo probable) y el DMC (Daño Máximo Catastrófico), provocados por nubes explosivas, debido a que éste gas no representa ningún riesgo a la salud en un lugar abierto.

Para la aplicación de los Modelos de dispersión atmosféricos se tomaron en cuenta los siguientes factores:

- Frecuentemente, en las líneas y equipos de las instalaciones de Pemex, estadísticamente los orificios de una fuga son en promedio de 3/8" de diámetro ubicados en la parte inferior del ducto o del equipo.
- Las fugas son originadas principalmente por corrosión interna
- La clase de estabilidad atmosférica y el ángulo de fluctuación (θ) están basados en el siguiente cuadro obtenido del "Manual de Operación del Sistema para simulación de contaminación y riesgos en industrias" (SCRI, 1989).

Categoría de Estabilidad	0
A - B	80 grados
C - D	30 grados
E - F	15 grados

- La altura de la capa de inversión se consideró igual a cero por no existir problemas de inversión térmica en el Estado de Tabasco.
- La trampa neumática de alta presión tiene un diámetro de 24 pulgadas por lo que su radio es de 0.30 metros.
- El peso molecular del metano es de 16 lb/lb-mol (Perry, 1990)
- El calor de combustión del metano es 21,502 BTU/lb (Perry, 1990)
- El límite inferior de explosividad para el metano es de 5% y para el propano de 2.2% (SCRI, 1989)
- El límite superior de explosividad para el metano es de 15% y para el propano de 9.5% (SCRI, 1989)
- Velocidad del viento es 5.70 m/seg (Cartas de INEGI, 1990)

El modelo de dispersión de un gas o vapor proveniente de una fuga o derrame de un líquido que se evapora, se realiza bajo las siguientes consideraciones: sí se produce una fuga de propano por un orificio de 3/8" de diámetro a una altura de un metro en la Trampa Neumática de alta presión, originado por corrosión interna, con un gasto de 4,775.80 G/S, producida en la noche con nubosidad baja (estabilidad neutra; SCRI, 1989), la velocidad del viento es 5.7 m/seg, con un ángulo de fluctuación de 30 grados. ¿Qué efectos causaría a la casa-habitación más próxima a la Estación de Compresión de gas Chilapilla ubicada a 700 metros de distancia?

## RESULTADOS:

Concentración de interés:	20,000.000 mg/m <sup>3</sup> (SCRI, 1989)
Distancia final:	0.044 km
Amplitud (máx):	15.267 metros
Localizada a:	0.042 km

Como se podrá observar en la figura 6, la nube contaminante solamente alcanza una distancia de 44 metros, lo cual no representa ningún riesgo para la casa-habitación que se encuentra a 700 metros de la instalación. Sin embargo, el personal de operación debe utilizar el equipo de respiración en caso de emergencia y despejar el área inmediatamente para evitar mayores daños al personal, así como a la instalación.

Para el caso de que la fuga se origine durante el día con una radiación solar moderada (estabilidad C - D, SCRI, 1989); se obtiene el siguiente resultado:

Concentración de interés:	20,000.000 mg/m <sup>3</sup>
Distancia final:	0.034 km
Amplitud (máx):	12.901 metros
Localizada a:	0.033 km

Como se puede apreciar en la figura 7, la nube contaminante solo alcanza una distancia de 34 metros, lo cual no representa ningún riesgo para la casa-habitación más próxima a la instalación, ubicada a 700 metros de la misma. Por lo tanto se recomienda la misma indicación anterior.

Para el modelo de dispersión de gas liberado en forma masiva e instantánea, se consideró que se produce una fuga de propano en la Trampa Neumática de alta presión de la Estación de Compresión, con una masa emitida de 4,297.50 kg en la unión frangible del tanque, provocada por una sobrepresión, donde las válvulas de seguridad no desfogan por

# PROPANO

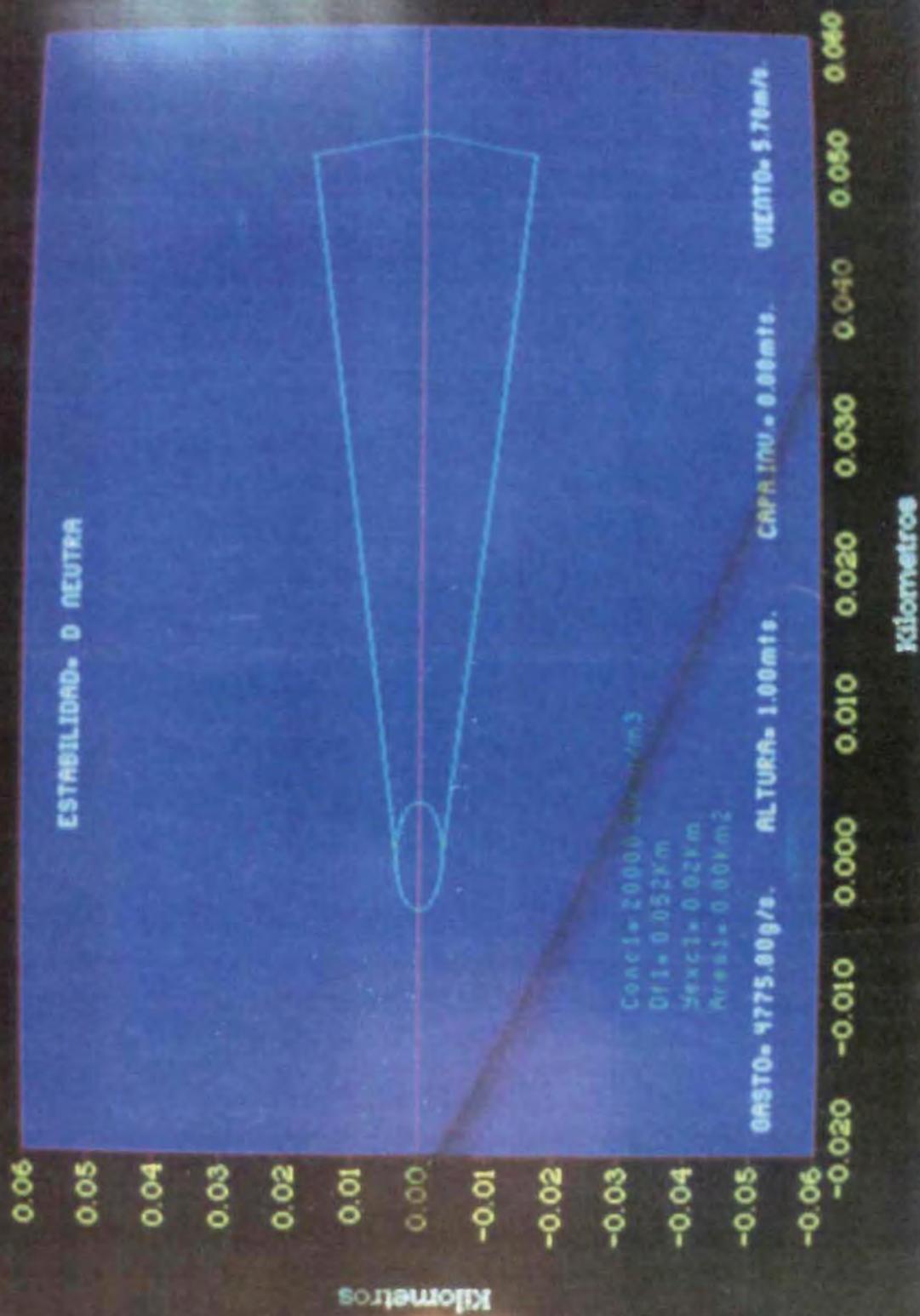


Figura - 6 Modelo de fuga y derrame originada por el propano en la noche

# PROPANO

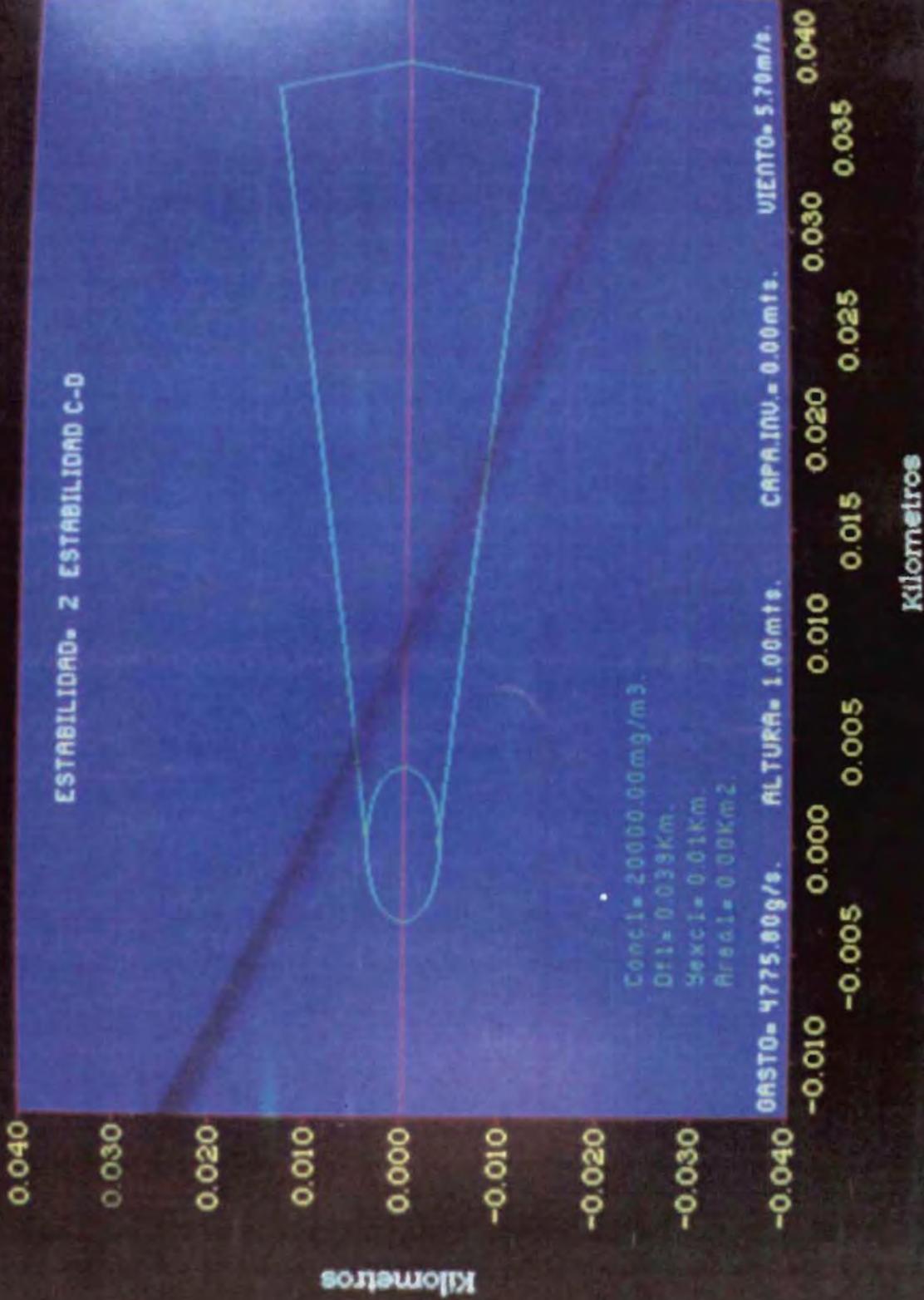


Figura - 7 Modelo de fuga y derrame originada por el propano en la noche

estar calzadas. La altura del recipiente a nivel del piso es de 1.20 metros, el radio del recipiente es 0.30 metros, con una velocidad del viento de 5.70 m/seg; la fuga es producida en la noche con nubosidad baja (estabilidad Neutra, SCRI, 1989). El resultado es el siguiente:

Radio de isoconcentración máxima:	39.240 metros
Para la concentración de interés:	20,000.000 mg/m <sup>3</sup>
Su posición en X es:	0.528 km
En un tiempo de:	00:01:34 (hh:mm:ss)

Para la distancia de interés:	0.700 km
Tiene una concentración de:	9,503.059 mg/m <sup>3</sup>
En un tiempo de:	00:02:05 (hh:mm:ss)

En la figura 8 se observa la forma de la nube contaminante con una amplitud inicial de 12 metros, alcanzando una máxima de 39 metros. La concentración en la casa-habitación, ubicada a 700 metros de la instalación, es de 9500 mg/m<sup>3</sup>, no representando ningún riesgo para la salud; sin embargo, como medida de seguridad es necesario evacuar a las personas que habitan dicha casa.

Para el caso de que la fuga se origine durante el día con una radiación solar moderada (estabilidad C-D, SCRI, 1989); se obtiene el siguiente resultado:

Radio de isoconcentración máxima:	37.630 metros
Para la concentración de interés:	20,000.000 mg/m <sup>3</sup>
Su posición en X es:	0.380 km
En un tiempo de:	00:01:08 (hh:mm:ss)

Para la distancia de interés:	0.700 km
Tiene una concentración de:	3,883.649 mg/m <sup>3</sup>
En un tiempo de:	00:02:05 (hh:mm:ss)

# PROPANO

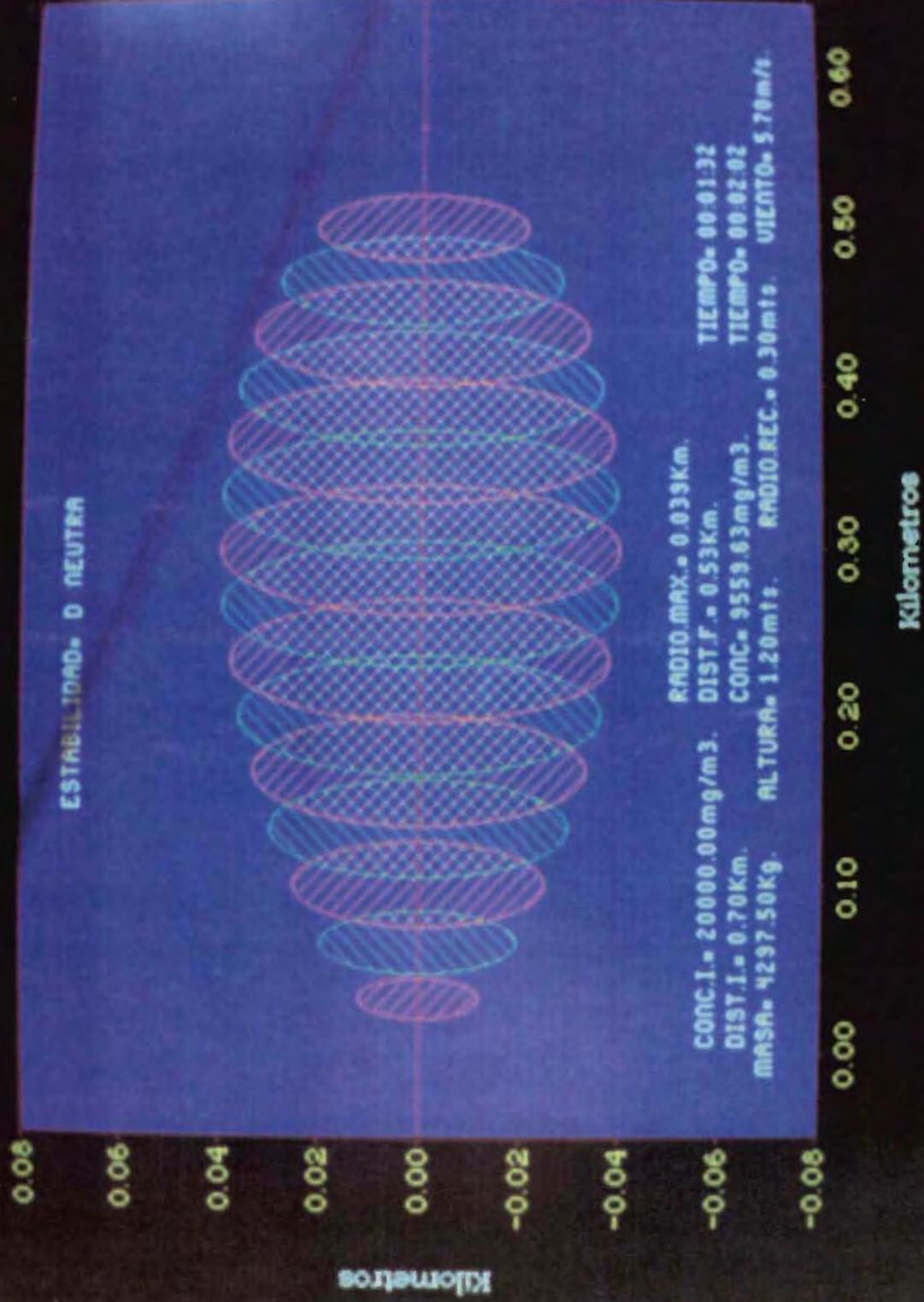


Figura-8 Modelo de fuga masivo originada por el propano en el dia

Se observa en la figura 9, que la forma de la nube contaminante inicia con una amplitud de 12 metros, alcanzando una máxima de 37 metros, con una concentración de 106,487 mg/m<sup>3</sup>, a una distancia de 200 metros. Esta representa el mayor Índice de Riesgo; la concentración que se obtiene en la casa-habitación ubicada a 700 metros de la instalación es de 3,382 mg/m<sup>3</sup>, no representando ningún riesgo para la salud.

Para el modelo de evaluación de daños de nubes explosivas, se considera al tanque separador de alta presión, manejando un volumen de gas metano a TPN de 137,303.60 ft<sup>3</sup>, con una presión mayor de 500 PSI, con una altura de la nube aproximada de 10 ft. Para determinar la magnitud de la fuga de material explosivo en una planta, se pueden considerar dos criterios o tipos de daños probables: el daño máximo probable y el daño máximo catastrófico.

#### Datos del gas metano

Peso molecular (lb/lbs.mol):	16.00
Calor de combustión (BTU/lb):	21,502.00
Límite inferior explosividad (%):	5.00
Límite superior explosividad (%):	15.00

Después de introducir los datos en el programa se obtuvo el siguiente resultado:

Peso del gas en la nube:	6,122.640 lbs
Fracción de material en la nube:	0.100 %
Diámetro de la nube:	434.07 ft
Energía desprendida (DMP):	0.658245 Ton de TNT
Energía desprendida (DMC):	3.291226 Ton de TNT

	PSI		metros		metros
para	0.5	Diámetro (DMP)	342.20	Diámetro (DMC)	585.32
	1.0		212.11		362.70
	2.0		128.59		219.89
	3.0		106.05		181.35

# PROPANO

ESTABILIDAD: 2 ESTABILIDAD C-0

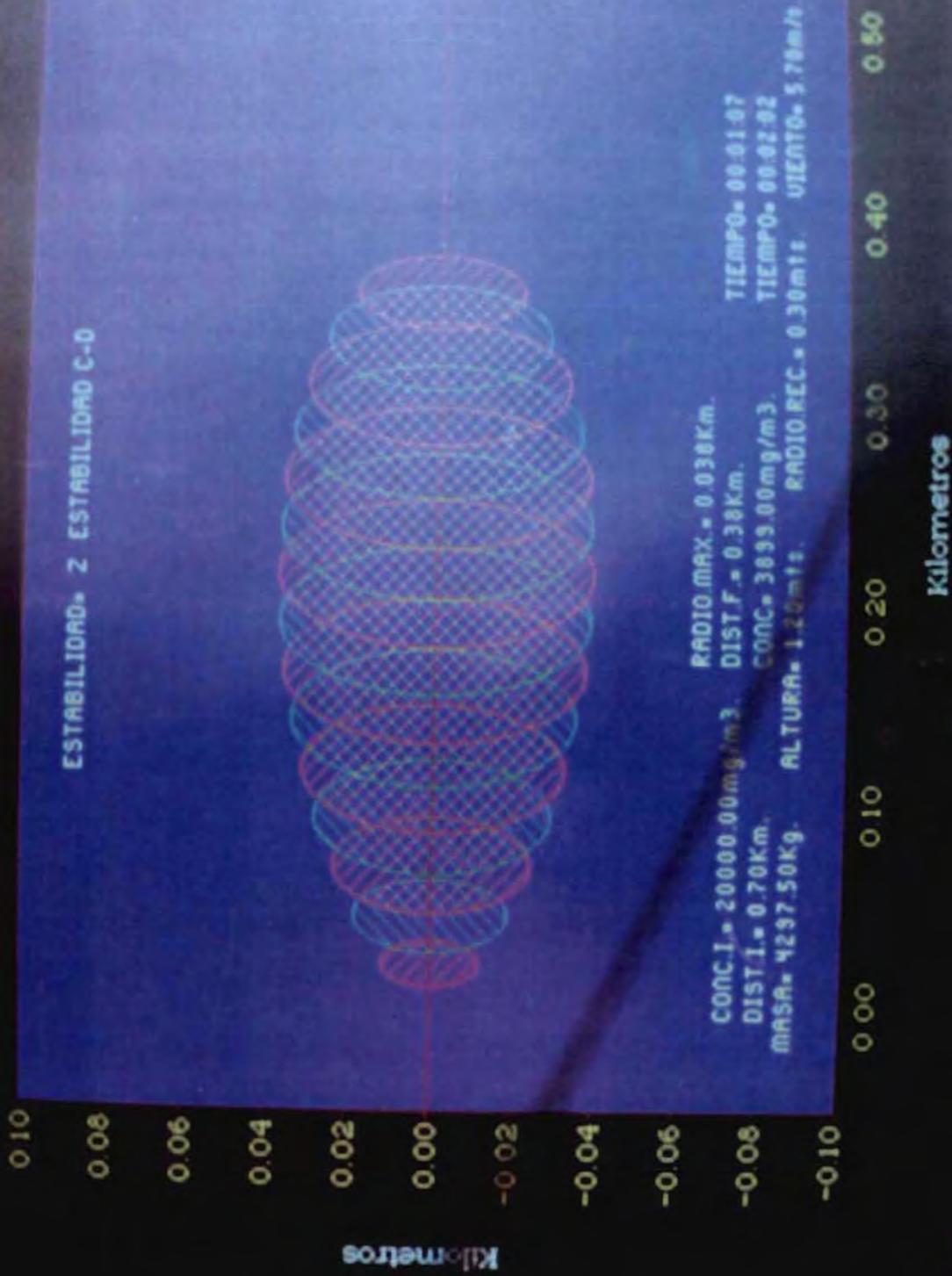


Figura-9 Modelo de fuga masiva originada por el propano en la noche

5.0	77.42	132.38
7.0	63.63	108.81
10.0	53.02	90.67
20.0	42.68	72.99
30.0	31.81	54.40

Como se observa en la figura 10, una vez que se produce la explosión, se generan una serie de ondas expansivas circulares, de tal forma que las ondas de mayor presión están situadas formando una circunferencia cercana al centro de la nube como el primer círculo interior que tiene una presión de 30 PSI que causa colapso al techo de un tanque de almacenamiento y las de menor presión se sitúan en circunferencias de diámetros mayores. Como la última circunferencia en la figura que tiene una presión de 0.5 PSI que causaría rotura de ventanas en cuarto de control, el daño máximo probable alcanzaría un diámetro de 342 metros, mientras que para el daño máximo catastrófico tendría un diámetro de 585 metros, de manera que no causaría ningún daño a la casa-habitación ubicada a 700 metros.

Si el accidente ocurriera en la Trampa neumática de alta presión manejando un volumen de gas propano de 632.40 galones, con una temperatura de 25 grados centígrados y una altura de la nube de 8 ft.

Datos del gas propano

Peso molecular (lb/lb.mol):	44.00
Calor de combustión (BTU/lb):	19750.00
Límite inferior explosividad (%):	2.20
Límite superior explosividad (%):	9.50
Densidad a temp. proceso (g/ml):	0.50
Temperatura de ebullición (grados centígrados):	-42.20

El resultado que se obtuvo después de introducir los datos al programa fué el siguiente:

Peso del material líquido fugado:	2,637.100 lb
Peso del material vaporizado:	2,637.100 lb
Fracción de material en la nube:	0.050 %
Diámetro de la nube:	224.600 ft
Energía desprendida (DMP):	0.260414 Ton de TNT
Energía desprendida (DMC):	1.302072 Ton de TNT

# METANO

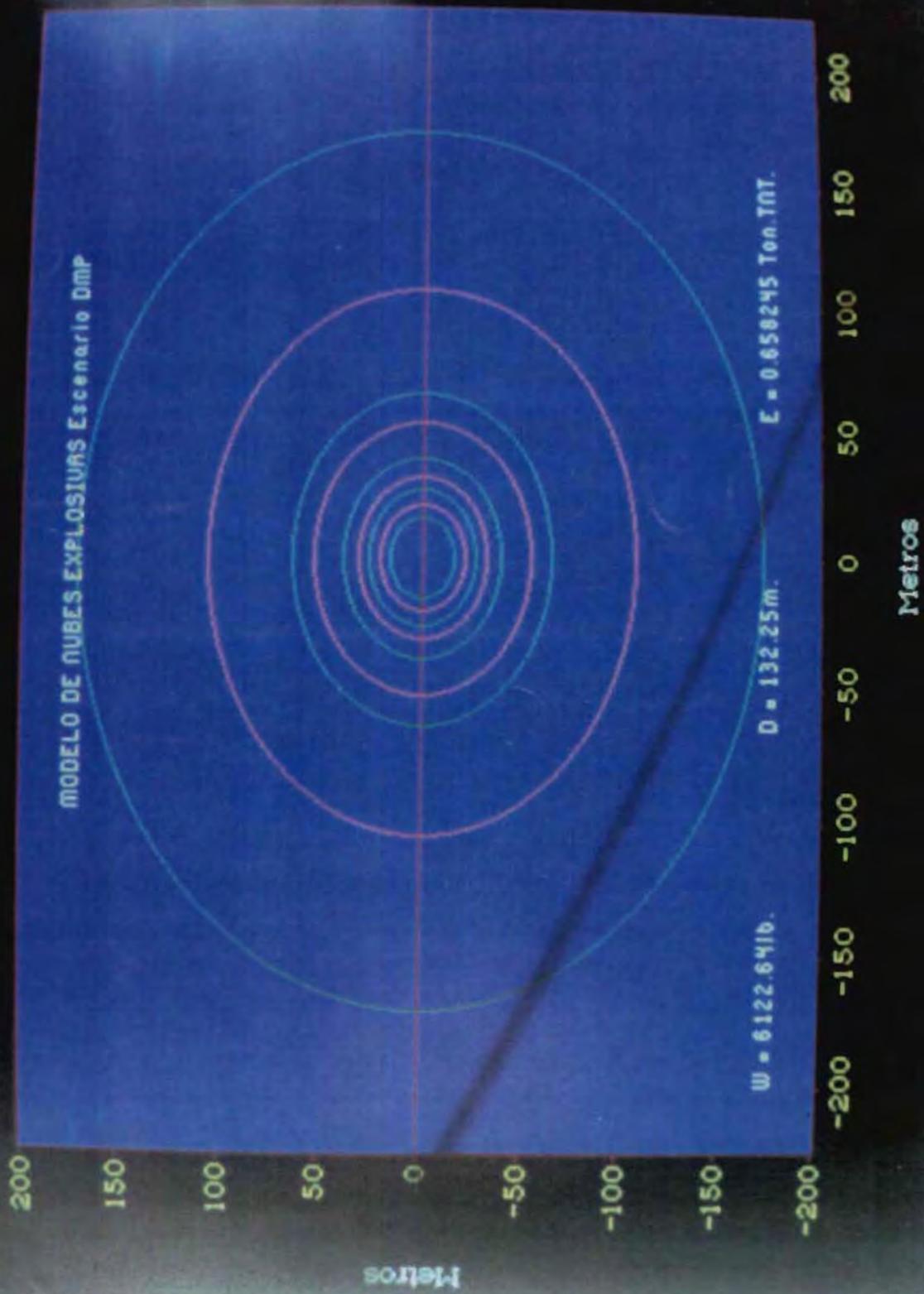


Figura-10 Modelo de la nube explosiva producida por el metano

	PSI		metros		metros
para	0.5	Diámetro (DMP)	251.28	Diámetro (DMC)	429.68
	1.0		155.71		266.26
	2.0		94.40		161.42
	3.0		77.85		133.13
	5.0		56.83		97.18
	7.0		46.71		79.88
	10.0		38.92		66.56
	20.0		31.33		53.58
	30.0		23.35		39.94

En la figura 11, el primer círculo interior, el cual posee una presión de 30 PSI, alcanza un diámetro de 23 metros para el daño máximo probable y para la presión de 0.5 PSI, la cual está representada por la última circunferencia, alcanza un diámetro de 251 metros, no ocasionando daños para la casa-habitación ubicada a 700 metros de la instalación.



# PROPANO

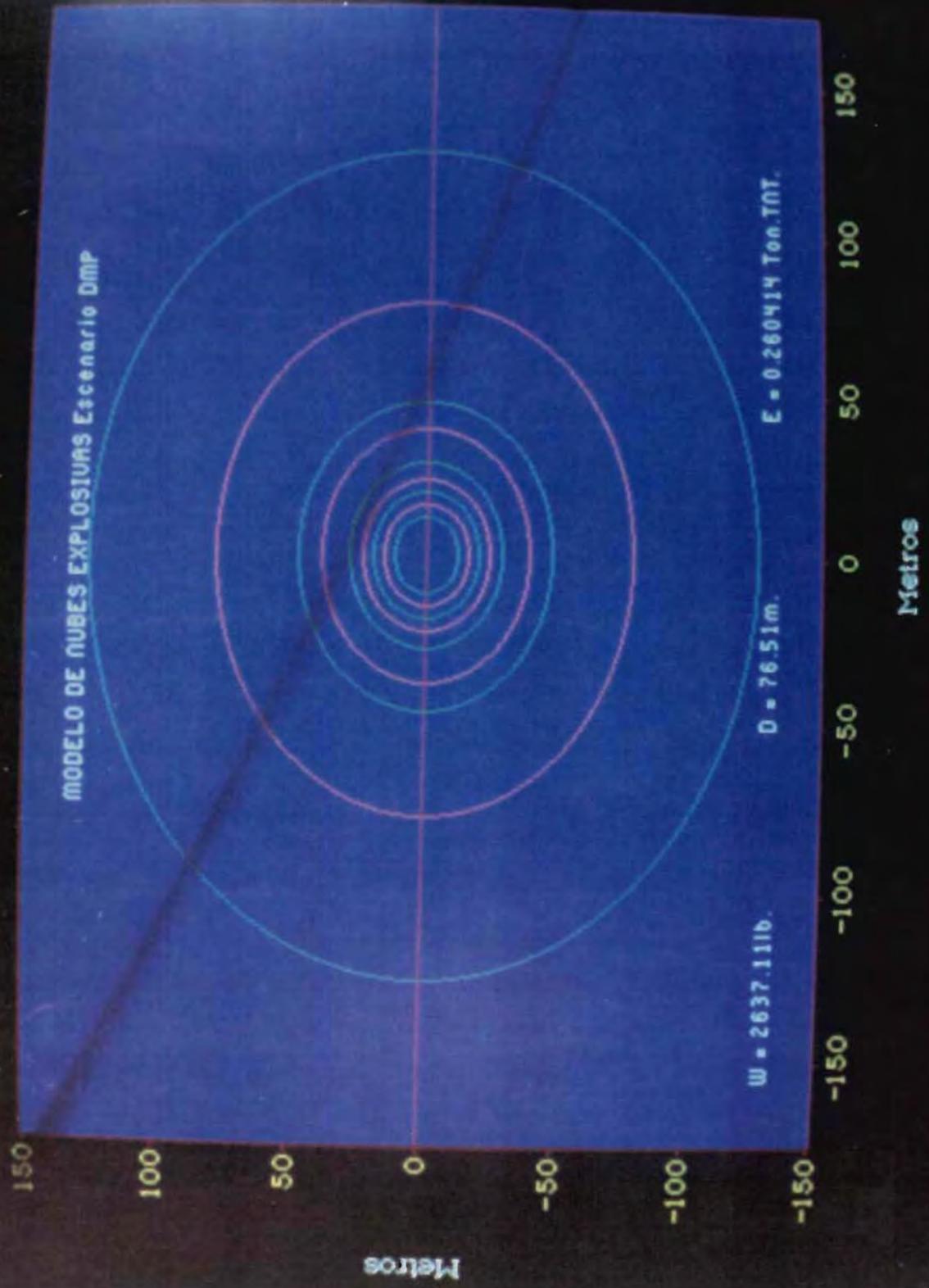


Figura - 11 Modelo de la nube explosiva producida por el propano

### 3.2. APLICACION DEL INDICE DOW.

El Índice de Incendio y Explosión Dow, es un método útil que proporciona una clasificación relativa de los riesgos relacionados a la planta en estudio. Este método está basado en la idea de asignar penalizaciones y bonificaciones de acuerdo a las características de la planta. (Dow Chemical Cía., 1980)

Las penalizaciones se aplican a las condiciones de la instalación que pueden propiciar la aparición de un accidente: características de la reacción, severidad de parámetros de operación (como la presión y temperatura, cantidad de producto involucrado, etc.)

Las bonificaciones se asignan a las características de la instalación que puedan mitigar los posibles accidentes, como las condiciones de seguridad de la instalación, sistemas de emergencia (control, contención, protección contra incendios, etc.).

Este método es aplicable en etapas de diseño (para identificar áreas vulnerables y medidas de protección) y en la fase de operación.

Una "Unidad de Proceso" se define como un componente del equipo del proceso. Como ejemplos se podrían incluir bombas, compresores, torres de absorción, separadores, hornos, evaporadores, tanques de almacenamiento, etc.

El Factor del Material (FM) es una medida de la Intensidad de Liberación de Energía de un compuesto químico, de una mezcla de compuestos o sustancias y es el punto de partida para el cálculo del Índice de Incendio y Explosión (IIE). Se determina el FM considerando dos riesgos del material: Flamabilidad (Ni) y Reactividad (Nr) y se representa por un número de 1 a 40, o por el AHc, en  $\text{BTU/lb} \times 10^{-3}$ .

Los componentes indicados en los riesgos generales del proceso aumentan la magnitud de un incidente probable, mientras que los

componentes indicados en los riesgos especiales del proceso contribuyen a los incidentes que aumentan la probabilidad de un incendio o explosión.

El cálculo del Índice de Incendio y Explosión es un procedimiento para la medida del Daño Probable que puede producirse en una planta de proceso. Los factores que contribuyen, tales como el tipo de reacción, temperatura del proceso, presión y cantidad de combustible, indican la magnitud y probabilidad de una liberación de combustible o energía debida a fallas de control, fallas o vibración de los equipos, o a otra fatiga por tensión.

Los efectos de un incendio y/o explosión de una mezcla combustible/aire posteriores a un escape e ignición se clasifican en:

- a) onda explosiva o deflagración
- b) exposición al fuego producido por el escape inicial
- c) fuga de combustibles secundarios.

### 3.2.1. Procedimiento para el cálculo del Índice Dow.

Requisitos para el desarrollo de un resumen del análisis de riesgos:

- a) Plano parcelado exacto de la planta
- b) Compresión del flujo del proceso y las condiciones de éste
- c) Hoja de trabajo del Índice de Incendio y Explosión
- d) Hoja de trabajo del análisis de riesgos
- e) Hoja de trabajo de recapitulación
- f) Calculadora y compás de dibujo
- g) Guía IIE (Índice de Incendio y Explosión). Ver figura 12
- h) Datos de costo para los equipos de proceso instalados en la planta

Identificación sobre el plano parcelado de las "Unidades de Proceso" que presenten un mayor impacto o contribuyan al riesgo de incendio o explosión. Ellas serán las que se usarán al calcular el Índice de Incendio y Explosión.

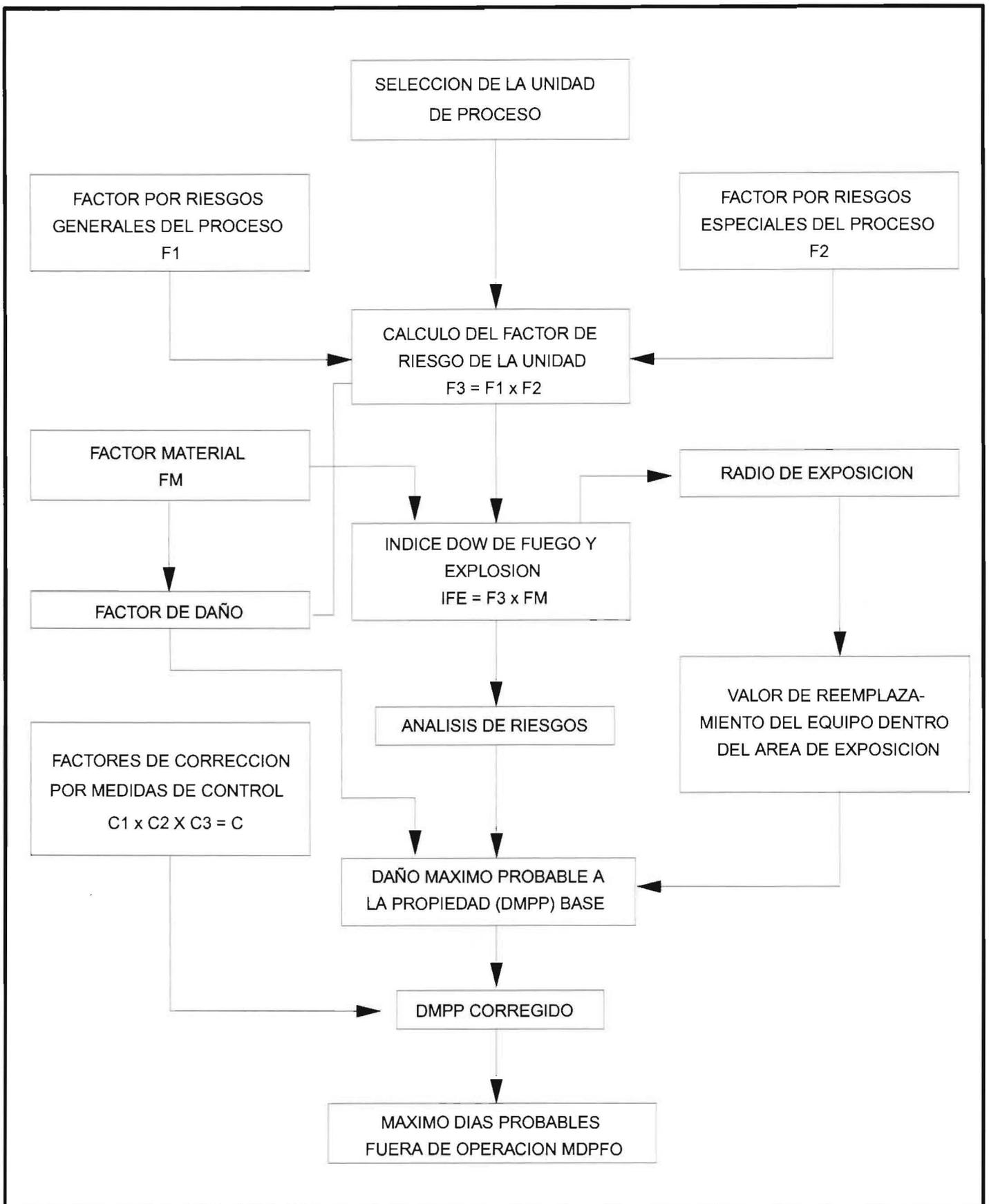


Fig. 12. Procedimiento de Aplicación del Índice DOW (Fuego y Explosión).

Determinación del Factor Material (FM) para cada una de las "Unidades de Proceso".

Evaluación de cada uno de los Factores que contribuyan al Riesgo relacionados en la hoja de trabajo de IIE tanto bajo el epígrafe de Riesgos Generales del Proceso como en el de Riesgos Especiales del proceso; se aplica la penalización adecuada para todos aquellos a los que se deba aplicar.

El producto del Factor General de Riesgo por el Factor Especial del Riesgo, representa el "Factor de Riesgo de la Unidad". Este mide el grado de exposición al riesgo de la "Unidad de Proceso" y se usa conjuntamente con el FM para determinar el "Factor de Daño" que representa el grado de exposición a pérdidas ( fig. 13).

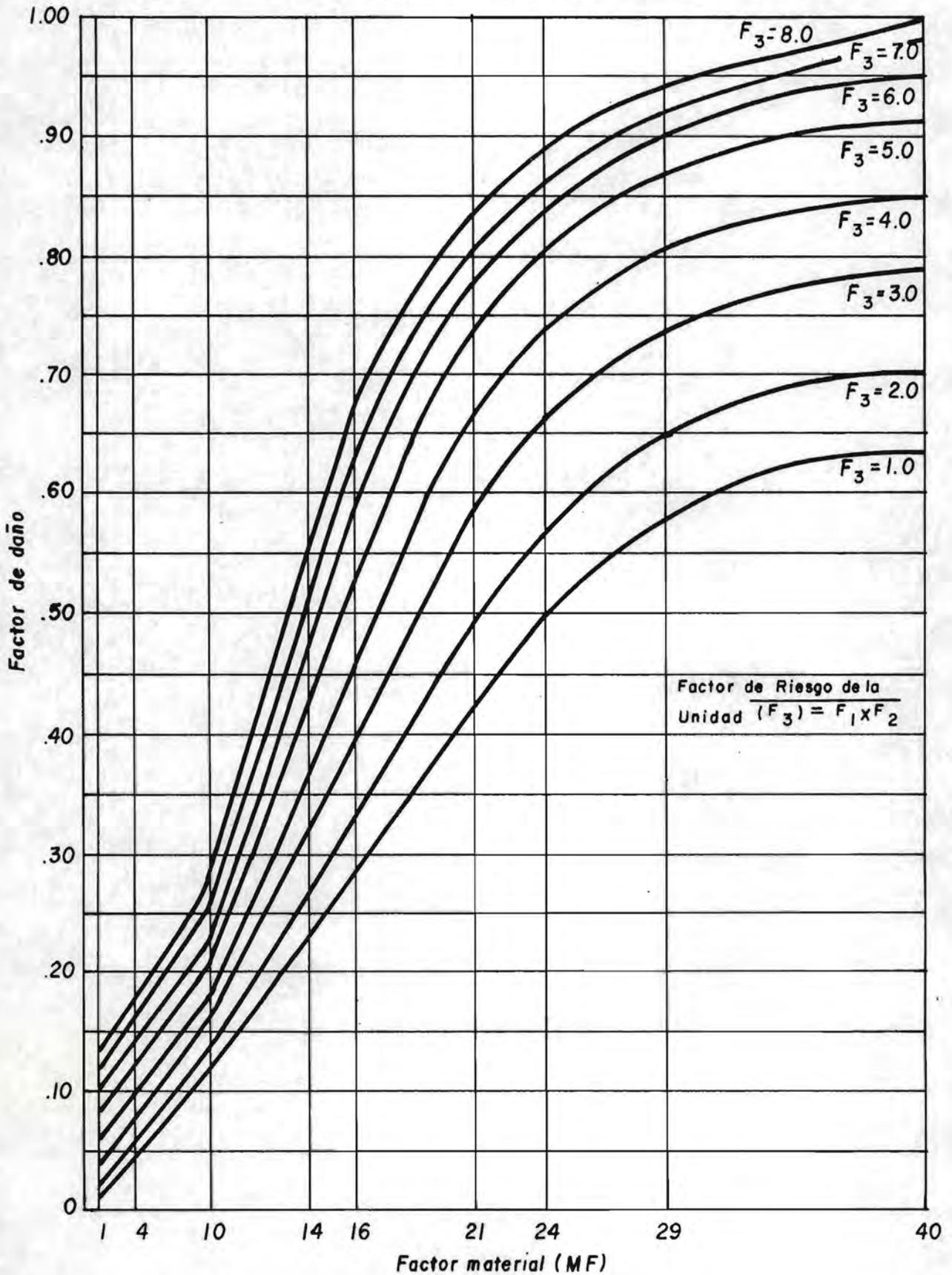
El producto del "Factor de Riesgo de la Unidad" por el "Factor Material" dá el IIE. Este se usa para determinar el "Area de Exposición" que rodea a la Unidad de Proceso que se evalúa ( fig. 14 ).

Calculo del valor en dólares de todos los equipos dentro del "Area de Exposición". Este valor se usa para obtener el Daño Básico Máximo Probable de la Propiedad (DMPP básico). El valor del área de exposición es el producto del costo original de la instalación por 0.82, donde el 0.82 es un valor de origen estadístico para los elementos no sometidos a pérdida o sustitución, tales como preparación del lugar, carreteras, líneas subterráneas y cimientos, ingeniería, etc.

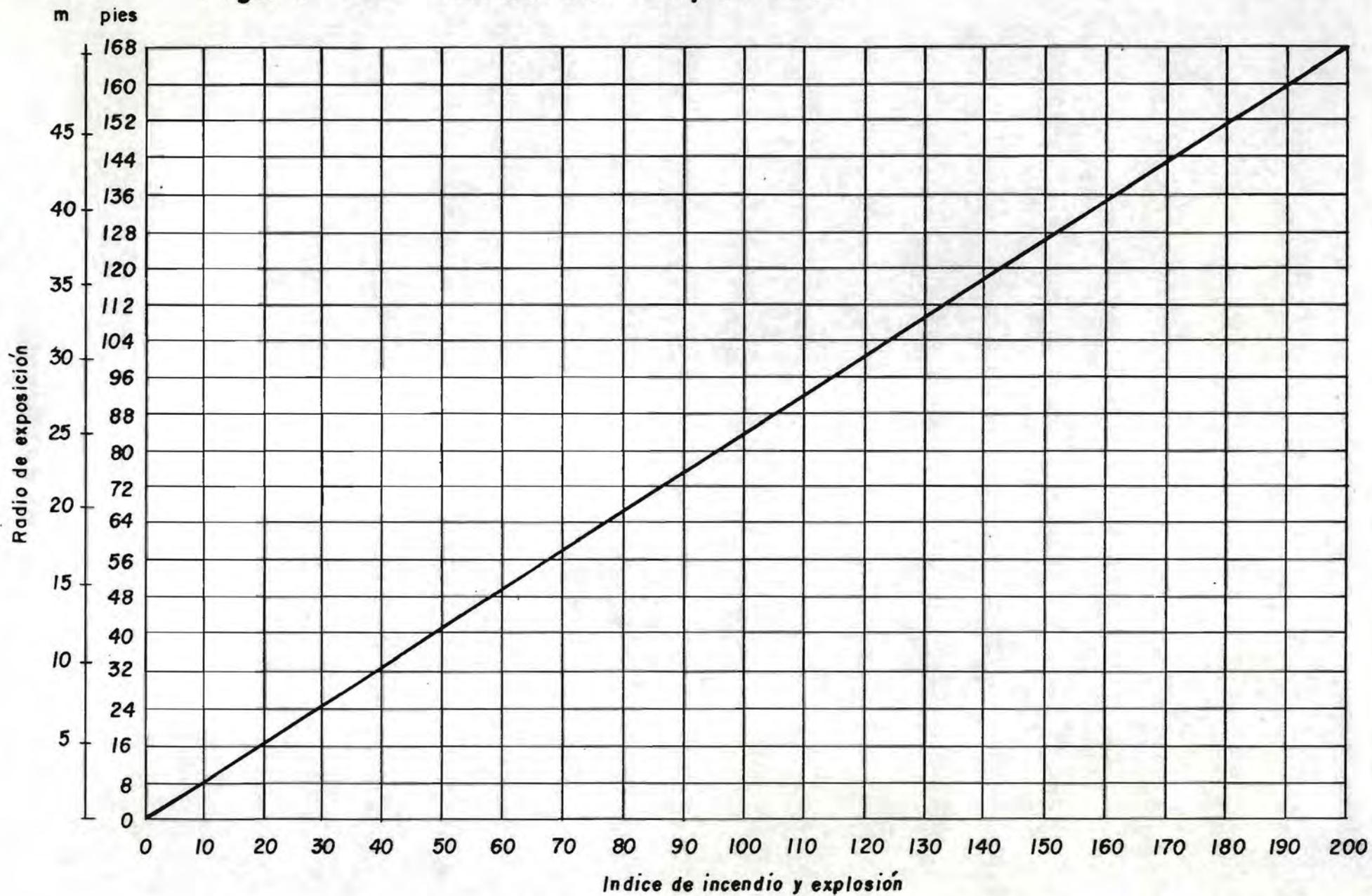
El DMPP Básico se puede reducir al Daño Efectivo Máximo Probable de la Propiedad mediante la aplicación de factores de Bonificación y/o la relocalización de ciertos equipos de valor alto en áreas exteriores al "Area de Exposición".

El DMPP Efectivo se usa para obtener los Máximos Días Probables Perdidos (MDPFO). La Interrupción de la Fabricación se puede evaluar a partir de éstos datos ( fig. 15 ).

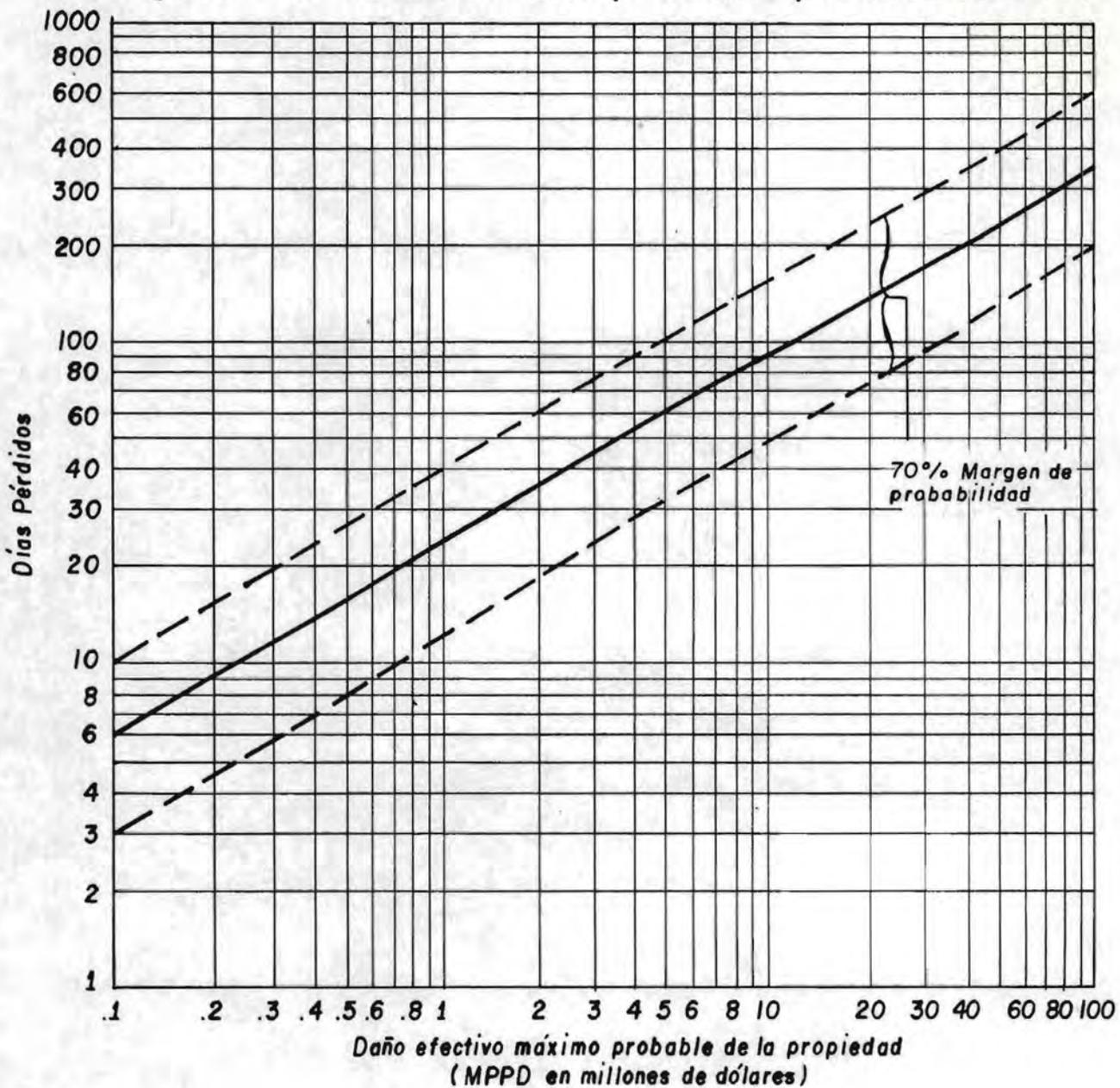
**Figura - 13 Factor de Riesgo de la Unidad**



# Figura - 14 Area de Exposición



**Figura - 15 Máximos días probables perdidos (MPDO)**



El DMPP Efectivo representa la pérdida probable que puede ocurrir si un incidente de magnitud razonable aconteciera y funcionaran los distintos equipos de protección. El fallo de funcionamiento de alguno de los equipos protectores revertiría el problema de la pérdida probable al DMPP Básico.

Para este estudio se consideró como área de mayor riesgo, la ubicación de los separadores de alta presión de la Estación de Compresión, obteniéndose el siguiente Índice de Incendio y Explosión, según datos de la Tabla 8, los cuales se describen a continuación. (Dow Chemical Cía., 1980).

Los riesgos generales del proceso que se consideraron en el estudio son:

ACCESO. La penalización por acceso inadecuado es de 0.35, debido a que existe una sola entrada a la estación.

DRENAJES. Cuando el diseño del dique dirige el vertido lejos de la unidad de proceso a un recipiente, la penalización es de 0.25, la presa API está ubicada en el exterior de la instalación.

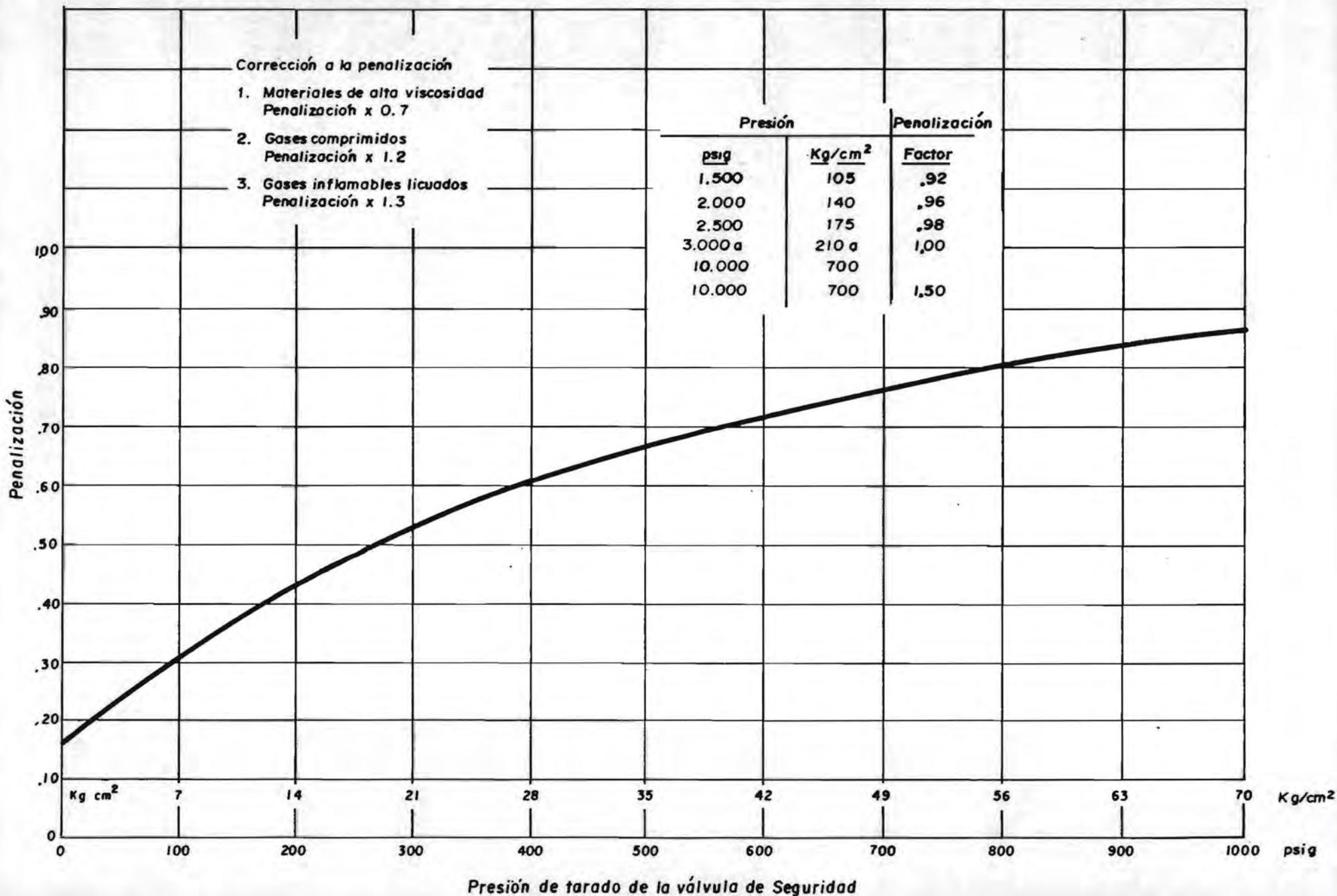
Para el caso de los riesgos especiales del proceso se consideró:

TEMPERATURA DEL PROCESO. Si la temperatura del proceso o las condiciones de manejo son las del punto de inflamación del material o superior, se aplica una penalización de 0.30.

OPERACION CERCA O EN RANGO INFLAMABLE. Los procesos u operaciones que pueden hallarse en condiciones de inflamabilidad o cercanas a ella, sólo en caso de fallo de instrumentos o equipos de purgas, la penalización es de 0.30.

PRESION. Para determinar el coeficiente de penalización en la fig. 16, se parte de la presión de tarado de las válvulas de alivio para nuestro caso es de 460 PSI obteniéndose la penalización que se multiplica por 1.2, el cual es el Factor de Corrección.

**Figura 16 Presión de tarado de la válvula de seguridad para líquidos inflamables o combustibles**



CANTIDAD DE MATERIAL. Para líquidos o gases en proceso, la penalización se obtiene al multiplicar las libras de material por AHc (en BTU/lbs), usando la fig. 17, se buscan los BTU y se obtiene la penalización en el punto de intersección con la curva.

CORROSION Y EROSION. Si la velocidad de corrosión es inferior a 0.5 mm/año, con riesgo de picadura o erosión local, la penalización es 0.10.

FUGAS EN JUNTAS. Las bombas y prensaestopas pueden dar lugar a fugas de pequeña importancia, la penalización es 0.10.

EQUIPO ROTATORIO. Se aplica una penalización de 0.50 a aquellas unidades de proceso que forman parte o utilizan compresores de 600 C.U. o más.

Los factores que intervienen en la bonificación (fig. 18) para el Control de pérdidas son tres:

#### 1. CONTROL DE PROCESO.

ENERGIA DE EMERGENCIA. La provisión de energía de emergencia para los servicios esenciales (aire para los instrumentos, instrumentos de control, agitadores, bombas, etc.), la bonificación es 0.97.

CONTROL DE EXPLOSIONES. Con sistemas de alivio de sobrepresión o de venteo diseñados para proteger el equipo de posibles condiciones anormales puede usarse un factor de 0.96.

PARADA DE EMERGENCIA. Para equipos rotativos críticos, tales como compresores, turbinas, ventiladores, etc., que se hallen provistos con un equipo de detección de vibraciones se usa un factor de 0.98 y un factor de 0.94, si es capaz de desencadenar la parada.

**Figura-17 Líquidos o gases en proceso**

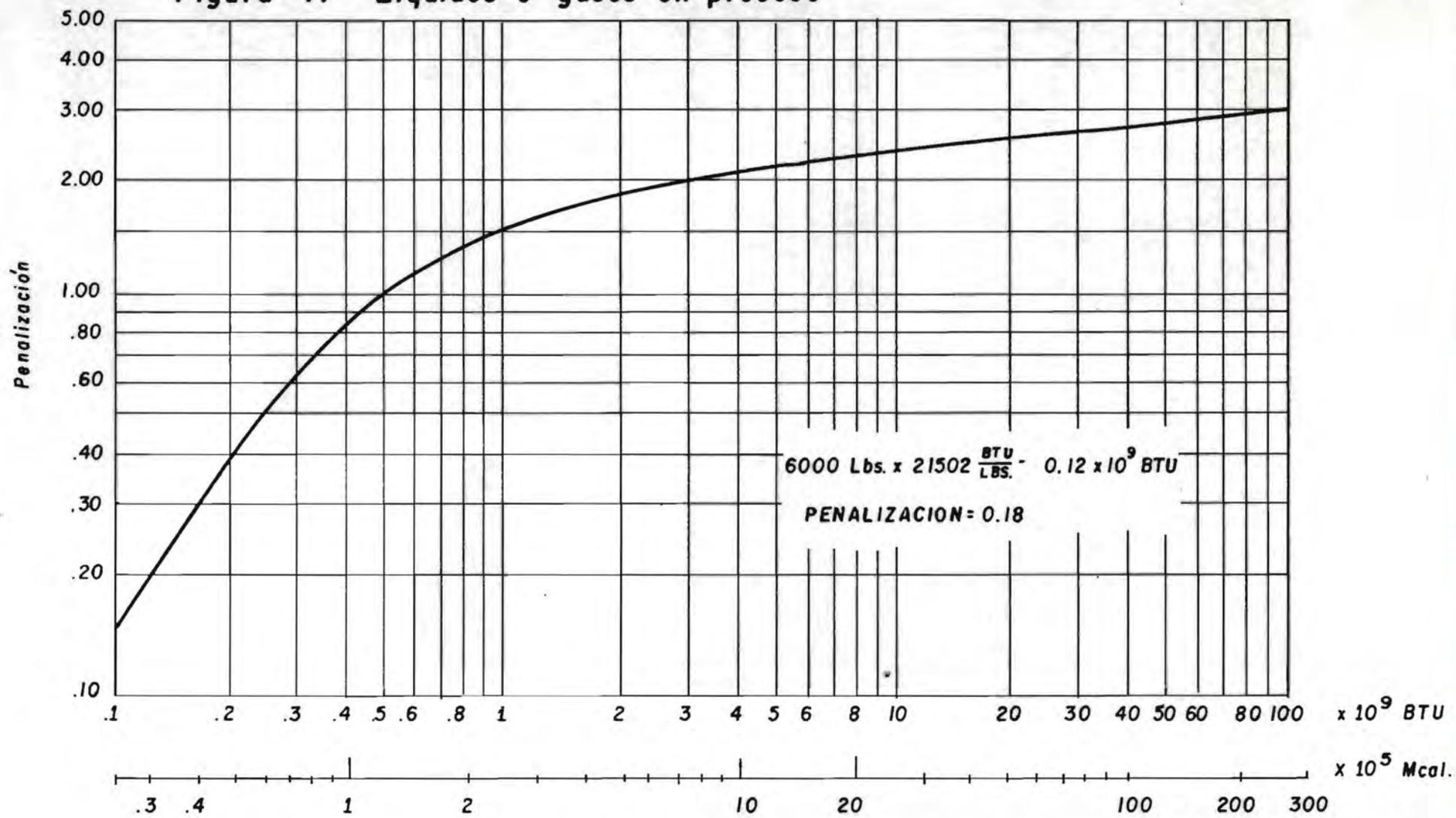
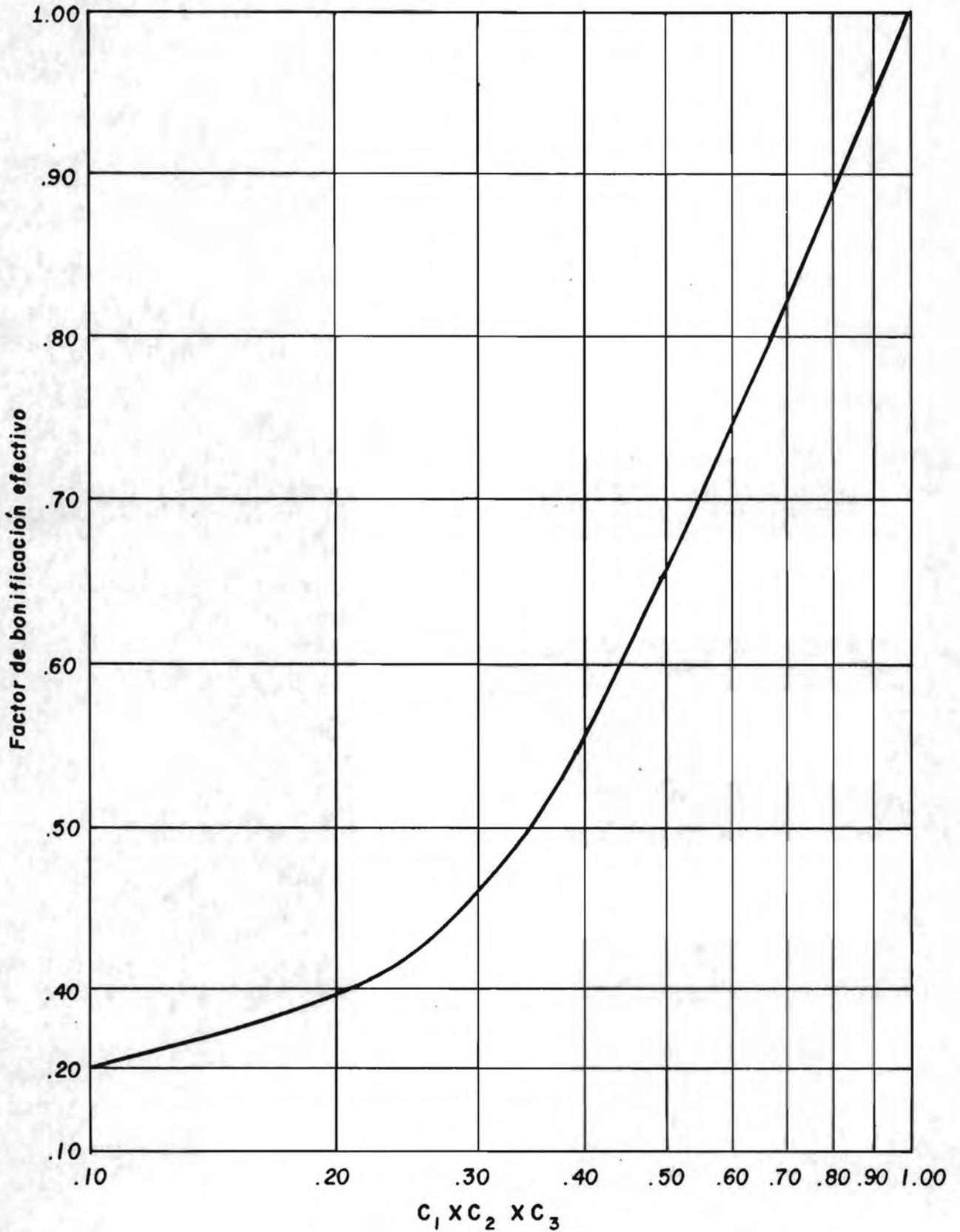


Figura-18 Factor de Bonificación



INSTRUCCIONES DE OPERACION. Las instrucciones de operación escritas adecuadamente son una parte importante para mantener el control satisfactorio de una unidad. La bonificación está basada en la cantidad de documentos en la instalación.

## 2. AISLAMIENTO DE MATERIALES.

VALVULAS DE CONTROL REMOTO. Si la unidad está provista con válvulas de aislamiento operadas a distancia de tal manera que los recipientes de los procesos o las secciones más importantes de la línea de transferencia puedan aislarse rápidamente en caso de emergencia, se usa el factor 0.94.

DEPOSITOS DE DESCARGA. Si el gas evacuado por los venteadores de emergencia se conduce por tubería a un sistema de quemado, se usa el factor 0.94.

## 3. PROTECCION CONTRA INCENDIOS.

SUMINISTRO DE AGUA. El suministro de agua para incendios de una planta debería ser capaz de proporcionar la demanda calculada para un período de 4 horas. Si la presión de suministro es de 7 kg/cm o superior, se usa un factor de 0.90.

CORTINAS DE AGUA. Cuando exista una sola hilera de boquillas, a una elevación máxima de 5 m, se le asignará un factor de 0.97.

ESPUMA. Si la aplicación de espuma es por operación manual de monitores o mediante mangueras se le asigna un factor de 0.95.

EXTINTORES. Se otorga un factor de 0.97 cuando hay una dotación adecuada de extintores manuales y portátiles contra el Riesgo de Incendio. Cuando se hallan también instalados monitores se usa un factor de 0.95.

El resumen del Análisis de Riesgo representa el impacto probable de las pérdidas tanto por Daño a la propiedad como por interrupción de la fabricación de la planta. El Índice de Incendio y Explosión obtenido es de 109 clasificando a la instalación como de Riesgo Intermedio (GONZALEZ, 1986). Las condiciones en la unidad de proceso presentan un 74% (Factor de daño) de probabilidad de daño a una área alrededor de 2,463 m<sup>2</sup>, el Daño Máximo Probable de la Propiedad corregido es de 1.6 millones de dólares (MM US), que representa la pérdida por Daño a la propiedad resultante del peor incidente que pudiere presentarse considerando que los sistemas de protección funcionen según diseño. En caso de falla, la pérdida podría alcanzar el DMPP Base (2.36 MM US) con una pérdida probable de 38 días fuera de operación.

# ESTUDIO DE SEGURIDAD EN PROCESOS - ESP

## INDICE DOW PARA FUEGO Y EXPLOSION

DEPARTAMENTO:  
COMPRESION DE GAS

UNIDAD O SECCION DE PROCESO:  
ESTACION DE COMPRESION DE GAS CHILAPILLA

FECHA  
30/08/94

### MATERIALES Y PROCESO

MATERIALES: SEPARADORES

CATALIZADORES:

SOLVENTES:

MATERIAL CLAVE: METANO

FACTOR MATERIAL ( FM ): 21

1. RIESGOS DEL PROCESO	VALOR	C) OPERACION CERCA O EN RANGO INFLAMABLE	
BASE DEL FACTOR	1.00	1. PATIO DE TANQUES DE ALMTO. ( 0.50 ) 2. DERRAMES Y FALLA DE PURGA ( 0.30 ) 3. OPERACION EN RANGO INFLAMABLE ( 0.80 ) 4. DESCARGA DE PIPAS Y CARRO-TANQUES ( 0.40 )	0.30
A) REACCION EXOTERMICA ( 0.30 A 1.25 )	--		
B) REACCION ENDOTERMICA ( 0.20 A 0.40 )	--	D) POLVOS EXPLOSIVOS ( 0.25 A 2.00 )	--
C) MANEJO DE MATERIALES ( 0.25 A 0.85 )	--	E) PRESION ( VER FIG. 16 )	0.78
D) UNIDAD DE PROCESO CERRADA ( 0.30 A 0.90 )	--	F) BAJA TEMPERATURA ( 0.20 A 0.50 )	--
E) ACCESO A EQUIPO DE EMERGENCIA ( 0.35 )	0.35	G) CANTIDAD DE MATERIAL	
F) DRENAJES ( 0.25 A 0.50 )	0.25	1. LIQUIDOS O GASES EN PROCESO ( VER FIG. 17 ) 2. LIQUIDOS O GASES EN ALMACENAMIENTO 3. SOLIDOS ALMACENADOS	0.18
SUMA DE FACTORES POR R.G.P. F1 =	1.60	H) CORROSION Y EROSION ( 0.10 A 0.75 )	0.10
2. RIESGOS ESPECIALES DEL PROCESO		I) FUGAS EN JUNTAS Y EMPAQUES ( 0.10 A 1.50 )	0.10
BASE DEL FACTOR	1.00	J) EQUIPO CALENTADO CON FUEGO DIRECTO	--
A) TEMPERATURA DE PROCESO ( USE SOLO UNA )		K) INTERCAMBIO CON ACEITE CALIENTE ( 0.15 A 1.15 )	--
1. SOBRE PUNTO DE FLAMA ( 0.30 ) 2. SOBRE PUNTO DE EBULLICION ( 0.60 ) 3. SOBRE PUNTO DE AUTOIGNICION ( 0.75 )	0.30	L) EQUIPO ROTATORIO ( 0.50 )	0.50
B) BAJA PRESION ( SUBATMOSFERICA ) ( 0.50 )	--	SUMA DE FACTORES POR R.E.P. F2 =	3.26
FACTOR DE RIESGO DE LA UNIDAD F1x F2 = F3 =	5.21	INDICE DOW DE INCENDIO Y EXPLOSION FWx F3 = IFE =	109

TABLA 8. Continuación...  
ESTUDIO DE SEGURIDAD EN PROCESOS - INDICE DOW

CORRECCION POR MEDIDAS DE SEGURIDAD			
1. CONTROL DE PROCESO	VALOR	PRODUCTO DE FACTORES	C2= 0.94
A) ENERGIA DE EMERGENCIA (0.97)	0.97	3. PROTECCION CONTRA INCENDIOS	0.88
B) ENFRIAMIENTO (0.95 A 0.98)	-	A) DETECCION DE FUGAS (0.90 A 0.97)	-
C) CONTROL DE EXPLOSIONES (0.75 A 0.96)	0.96	B) ACERO ESTRUCTURAL (0.92 A 0.97)	-
D) PARO DE EMERGENCIA (0.94 A 0.98)	0.94	C) TANQUES SUBTERRANEOS (0.75 A 0.85)	-
E) CONTROL POR COMPUTADORA (0.89 A 0.98)	-	D) SUMINISTRO DE AGUA (0.90 A 0.95)	0.90
F) GAS INERTE (0.90 A 0.94)	-	E) SISTEMAS ESPECIALES (0.85)	-
G) PROCEDIMIENTOS DE OPERACION (0.86 A 0.99)	0.91	F) SISTEMAS DE ROCIADORES (0.60 A 0.96)	-
H) REVISION DE REACTIVOS QUIMICOS (0.85 A 0.96)	-	G) CORTINAS DE AGUA (0.95 A 0.97)	0.97
PRODUCTO DE FACTORES POR C.P. C1=	0.79	H) ESPUMA (0.87 A 0.98)	0.95
2. AISLAMIENTO DE MATERIALES		I) EXTINGUIDORES (0.92 A 0.97)	0.95
A) VALVULAS DE CONTROL REMOTO (0.94)	0.94	J) PROTECCION A LINEAS ELECTRICAS (0.90 A 0.96)	-
B) DESCARGA A VERTEDEROS (0.85 A 0.95)	0.94	PRODUCTO DE FACTORES POR P.C.I. C3=	0.78
C) SISTEMA DE DRENAJES (0.85 A 0.95)	-	PROD. DE FACTORES DE SEG. C1 x C2 X C3=C	0.54
D) INTERLOCK	-	FACTOR DE SEGURIDAD DEFINITIVO (VER FIG.18) D=	0.89
RESUMEN DEL ESTUDIO DE RIESGOS			
A1) INDICE DOW DE FUEGO Y EXPLOSION	FM x F3= 109	C) DMPP BASE (A3 x B)	2.36 MM US
A2) RADIO DE EXPOSICION (VER FIG. 14)	28 m.	E) DMPP CORREGIDO (C x D)	1.62 MM US
A3) VALOR DEL AREA DE EXPOSICION	3.2 MM US	F) MDPFO (VER FIG. 15)	38 DIAS
B) FACTOR DE DAÑO (VER FIG. 13)	0.74	FACTOR DE RIESGO DE LA UNIDAD =	5.21

#### 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

De los diversos aspectos analizados en el presente estudio cabe destacar como principales conclusiones las siguientes:

- En la etapa de operación, el mayor impacto potencial que se puede presentar sería una fuga o derrame de un líquido con posible incendio o explosión asociada; sin embargo, estos eventos tienen carácter probabilístico, por lo cual su impacto puede no presentarse a lo largo de toda la vida de la Estación.
- Del Análisis de Riesgo y Operabilidad, se observó que no existe un Sistema Automático de Paro de Emergencia mediante el cual se pueda impedir la entrada de gas a la Estación. Por lo tanto, se requiere que para en caso de alguna fuga masiva se impida inmediatamente el paso del gas, para reducir el riesgo y proteger al personal y la instalación de un siniestro mayor. Sin embargo, la operación se lleva a cabo de una forma manual a través de una válvula de bloqueo en el límite de la Estación.
- Es necesario inspeccionar periódicamente los Sistemas de Seguridad, tales como limitadores de presión o temperatura, reguladores, instrumentos de control, válvulas de alivio y de seguridad, etc. Para determinar si:
  - a) Están debidamente instaladas y protegidas de materias extrañas o de otras condiciones que pudieran impedir su operación apropiada.
  - b) Están ajustados para funcionar a la presión o temperatura correcta.
  - c) Están en buenas condiciones mecánicas, eléctricas y/o electrónicas.

- Se observó que no existe válvula controladora de presión en la entrada o salida del separador trifásico de alta presión, así como válvulas de seguridad sobre el mismo, que sirvan para regular la presión y desfogar en caso de emergencia.
- Con base en la Simulación de Contaminación y Riesgos Industriales, se determinó que no existe ningún riesgo para la casa habitación más próxima, que se encuentra a 700 metros de distancia en dirección noroeste de la Estación de Compresión, debido a que la nube tóxica solo alcanza una distancia máxima de 529 metros por la fuga masiva del propano ocasionada en la noche (donde estadísticamente suceden más los accidentes) con nubosidad baja; sin embargo, para el punto de interés solo llega una concentración de 9,559 mg/m<sup>3</sup>, siempre y cuando el viento se encuentre soplando en la dirección noroeste, debiéndose evacuar a las personas de la casa habitación como medida de seguridad.  
La nube explosiva del metano alcanza una distancia para el daño máximo probable de 342 metros y para el daño máximo catastrófico de 585 metros para una sobrepresión de 0.5 PSI, por lo que no provocaría ningún daño a la casa habitación; no obstante, para el personal de operación representa un peligro latente.
- De acuerdo al Índice de Fuego y Explosión (DOW), la instalación se encuentra clasificada como de Riesgo Intermedio (GONZALEZ, 1986), con un posible radio de exposición de 28 metros, además de un daño máximo probable a la propiedad base corregido de 1.6 MM US, con 38 días máximos probables fuera de operación.

De acuerdo a los resultados obtenidos, se recomienda que:

- Toda Estación de Compresión, debe tener un Sistema de Paro de Emergencia, mediante el cual se pueda impedir la entrada de gas a la estación. El Sistema de Paro de Emergencia debe ser operable desde cuando menos dos localizaciones, preferiblemente cerca de las

puertas de salida de los límites de la estación de acuerdo a la Norma de Petróleos Mexicanos NSPM-07.3.13.

- Deben de inspeccionarse de acuerdo a las Normas NSPM-09.0.03 y 09.0.04 los Sistemas de seguridad, tales como los reguladores de presión o temperatura, instrumentos de control, válvula de alivio, válvula de seguridad, etc., de manera que se tenga un funcionamiento continuo y eficiente de los mismos para que en cualquier momento que el sistema lo requiera estén en condiciones de efectuar sus funciones.
- Se debe de contar con instrumentos o sistemas (válvulas reguladoras de presión, válvulas de seguridad) capaces de actuar automáticamente para proteger al personal, al equipo, a los asentamientos humanos y al medio ecológico, cuando por descontrol u otras causas se pueda originar un daño. Con referencia en la Norma NSPM-09.1.06.
- Se corrijan las diversas fugas de aceite por el contrapeso y tapas laterales en las máquinas, para evitar algún punto de ignición que pudiera originar un incendio y poner en riesgo a la instalación y áreas externas, con base en el Reglamento de Seguridad e Higiene de Petróleos Mexicanos.
- Las Instrucciones de Operación: arranque, rutina de paro, operación normal, arranque después de paro por mantenimiento, paro de emergencia, etc., deben de permanecer en un lugar visible de la instalación, para tener una información oportuna y completa en la toma de decisiones y atención de emergencias.

## BIBLIOGRAFIA

1. Brown, David B., (1976) "Systems analysis and design for safety". Prentice Hall, inc., series, E.U.A.
2. Dow Chemical Company, (1980) "Fire & explosion index hazard clasification guide", 5a. Edición, Midland, Michigan.
3. Francia González, L., (1986) "Aplicaciones y técnicas de análisis de riesgos en el campo industrial", ITSEMAP, España.
4. Inegi, (1990) "Cartas topográficas, temperaturas anuales y precipitación pluvial"
5. Less, Frank P., (1974) "Prevention in the process industries", Hazard Identification, Vol. I, cap. II, VIII, IX, XVII.
6. Lesso, William G. y Dale Zinn C. (1993) "Hazop study methodology", College of engineering the university of Texas at Austin, E. U. A.
7. Lesso, William G. y Dale Zinn C. (1993), "Hazard assessment and risk analysis techniques for process industries", College of engineering the university of Texas at Austin, E.U.A.
8. Pemex, (1990) "Manual de procedimientos de ingeniería de diseño", Gerencia de Ingeniería de Proyectos, Sección 8, México, D. F.
9. Perry, Robert H./ Cecil H. Chilton, (1990) "Manual del Ingeniero Químico", Mc Graw-Hill Book, Co., U.S.A.
10. Rodgers, William P., (1971) "Introduction to system safety", Redondo Beach, California, E.U.A.
11. SCRI (1989), "Manual de operación del sistema para simulación de contaminación y riesgos en industrias". Sistemas Heurísticos, S.A. de C.V.